

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ARGOS-3 ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ МОРСКИХ ДРЕЙФУЮЩИХ БУЕВ

С.Р. Литвиненко<sup>1</sup>, А.А. Безгин<sup>1, 2</sup>, Е.Г. Лунев<sup>1</sup>,  
С.В. Мотыжев<sup>1</sup>, А.П. Толстошеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Морской гидрофизический институт, г. Севастополь;

<sup>2</sup> Севастопольский государственный университет, г. Севастополь

Исследованы технические характеристики новой спутниковой системы связи *Argos-3* применительно к особенностям проведения дрейфтерных экспериментов в Мировом океане и Черном море. Проведено сравнение двух стандартов спутниковых систем связи *Argos-2* и *Argos-3*. Отличительными особенностями *Argos-3* от предыдущих поколений этой системы являются существенно возросшая пропускная способность и значительное уменьшение энергопотребления аппаратуры передачи данных за счет использования обратного канала связи для обеспечения прогнозирования пролетов спутников и квитирования при передаче сообщений. В рамках международного пилотного проекта «*Argos-3 Pilot Project*» произведена оценка качества работы приемопередающей аппаратуры, определена ее конфигурация с учетом условий реальной эксплуатации в составе автономных морских дрейфующих буев (дрейфтеров). Приведены результаты сравнительного анализа эффективности применения системы *Argos-3* и традиционной системы *Argos-2*, обслуживающих глобальную дрейфтерную сеть. Даны рекомендации по оптимальному конфигурированию оборудования *Argos-3* в составе дрейфующих буев. Результаты лабораторных и долговременных натурных экспериментов показали эффективность разработанных в МГИ и ООО «НПФ Марлин-Юг» решений по адаптации поверхностных дрейфующих буев к спутниковой системе *Argos-3*, которые в настоящее время широко используются для совершенствования глобальной дрейфтерной наблюдательной сети.

*Ключевые слова:* *Argos-3*, трансивер, спутниковая связь, дрейфующий буй, дрейфтер.

### Введение

В последние два десятилетия основным источником систематической оперативной контактной информации о состоянии верхнего слоя океана и приземной атмосферы стали автономные дрейфующие платформы сбора и передачи данных по каналам спутниковой связи – поверхностные дрейфтеры. Начиная с 2008 г. в Мировом океане постоянно действует наблюдательная сеть из 1250 дрейфтеров, что обеспечивает среднее пространственное разрешение 500×500 км. Решение задачи поддержания и развития сети в последнее десятилетие тесно связано с инновационной деятельностью Морского гидрофизического института (МГИ) и ООО «НПФ Марлин-Юг». Обе организации расположены в г. Севастополь.

В статье рассматриваются полученные в этих организациях результаты адаптирования дрейфтеров к новой системе спутниковой связи.

### 1. Изучение технических характеристик спутниковой системы связи *Argos-3* применительно к особенностям проведения дрейфтерных экспериментов

Одним из основных компонентов дрейфтерной технологии является канал передачи данных. Традиционно с момента начала систематических дрейфтерных исследований использовалась спутниковая система сбора данных и определения координат платформ *Argos* с бортовым оборудованием *Argos-2*. Космический сегмент системы *Argos* представлен системой полярно-орби-

тальных ИСЗ, оснащенных аппаратурой связи, позволяющей одновременно передавать данные измерений на наземные приемные центры и определять координаты платформы доплеровским методом.

*Argos-2* обеспечивает пользователей односторонней связью со скоростью 400 бит/с и объемом единовременно передаваемых данных до 1,2 кбит за пролет. Поскольку система работает в режиме свободного доступа, платформы осуществляют передачу данных непрерывно с небольшим интервалом, что негативно сказывается на времени жизни буев.

Начиная с 2006 г. поэтапно вводились в эксплуатацию спутники и сопутствующая инфраструктура следующего поколения системы *Argos* – *Argos-3* с существенно лучшими характеристиками: частота передачи данных – до 4,8 кбит/с; пропускная способность выросла более чем в десять раз; возможность двухсторонней коммуникации позволяет удаленно управлять платформами и дистанционно их программировать; сообщения с дрейфтера передаются только в зоне радиовидимости спутника, что увеличивает время жизни буя; относительно недорогие и малопотребляющие терминалы связи.

Принципиальным отличием системы *Argos-3* от систем предыдущих поколений с точки зрения разработчика платформ сбора данных, в том числе дрейфующих буев, является применение приемопередатчиков (трансиверов) *PMT* (*Platform Message Transceiver*) (рис. 1, б) вместо применявшихся ранее передатчиков *PTT* (*Platform Transmitter Terminal*) (рис. 1, а) [1].



Рис. 1. Передатчик системы *Argos-2* (а) и трансивер системы *Argos-3* (б)

Функционально в состав трансивера *PMT* входят высокостабильный опорный генератор, многочастотный передатчик, приемник, система часов реального времени, цифровой сигнальный и центральный процессоры со специализированным программным обеспечением (ПО), модуль памяти. Передатчик трансивера осуществляет модуляцию несущей частоты (401,630...401,656) МГц в двух режимах: низкоскоростная передача данных (*Low data rate*, 400 Гц) с модуляцией *BPSK* и высокоскоростная передача данных (*High data rate*, 4800 Гц) с модуляцией *GMSK*. Приемник трансивера работает на частоте 466 МГц и осуществляет прием *GMSK*-модулированных сигналов с частотой 4800 Гц. ПО трансивера содержит в своем составе реализацию алгоритма составления расписания пролета спутников *Prepass* и обеспечивает широкие возможности настройки и управления режимами работы *PMT*. Основные технические характеристики трансивера *PMT* приведены в таблице.

В составе спутниковой системы трансиверы *PMT* могут работать как со спутниками *Argos-2*, так и со спутниками *Argos-3*. Они поддерживают четыре режима передачи данных: *A*, *B*, *C* и *D* [1].

Режим *A* соответствует режиму непрерывной передачи пользовательских посылок с заранее заданным периодом повторения (как правило, 90 с) и низкоскоростной модуляцией *BPSK*. В этом режиме функционирование трансивера *PMT* аналогично работе передатчика *PTT* в системе *Argos-2*.

Режим *B* отличается от режима *A* наличием возможности задать расписание работы *PMT*, в соответствии с которым последний работает в импульсном режиме с заранее заданной скважностью.

Режим передачи *C* является основным для *PMT* и реализует все возможности системы *Argos-3*. Так, трансивер осуществляет передачу только в моменты пролета спутников *Argos*, что существенно снижает общее энергопотребление аппаратуры связи. Пользователь имеет возможность задать тип модуляции сообщений и протокол их передачи (интерактивный или неинтерактивный). Для каждого типа протокола передачи может быть задан свой период повторения посылок. Возможна реализация различных механизмов останова передачи данных.

Режим *D* отличается от режима *C* наличием возможности задать расписание работы *PMT*, в соответствии с которым последний работает в импульсном режиме с заранее заданной скважностью.

Основные технические характеристики трансивера *PMT Argos-3*

Параметр	Описание
Несущая частота передатчика	Устанавливается пользователем из диапазона разрешенных в системе <i>Argos</i> каналов (401 620...401 680) кГц
Напряжение питания	От 7 до 14 В
Диапазон рабочих температур	От -20 до +50 °С
Выходная мощность передатчика	Устанавливается пользователем из ряда 0,5; 1; 2 Вт
Тип модуляции несущей передатчика	<i>BPSK</i> , <i>GMSK</i>
Скорость передачи сообщений	400 бит/с ( <i>BPSK</i> ), 4800 бит/с ( <i>GMSK</i> )
Минимальная принимаемая мощность	-125 dBm при скорости приема 400 бит/с
Тип модуляции принимаемого сигнала	<i>PSK</i>
Тип антенны	Двухчастотная типа <i>Satimo Argos TX/RX</i> (50 Ом)
Скорость приема сообщений	200 бит/с или 400 бит/с
Интерфейс пользователя	Последовательный, 9600 бит/с
Объем буферной памяти	8192 байт
Габаритные размеры	(80 × 60 × 25) мм
Вес	160 г.

Трансмиттер *PMT* поддерживает возможность передачи так называемых «пустых» посылок (*House Keeping (HK) messages*) – коротких сообщений, не несущих полезную информацию. Их назначение – обеспечение определения местоположений доплеровским способом в случае отсутствия пользовательских данных для передачи.

Передача пользовательских данных осуществляется блоками, записываемыми в буферную память трансивера посредством последовательного интерфейса. При этом передача блоков данных из буфера на спутник может происходить по неинтерактивному протоколу аналогично существующим *Argos-2 PTT* или по интерактивному протоколу с подтверждением по обратному каналу связи. Интерактивный протокол поддерживается только спутниками *Argos-3*. Неинтерактивный протокол возможен только для передачи данных с низкоскоростной *BPSK*-модуляцией, в то время как интерактивный протокол поддерживается при обоих видах модуляции. Оба протокола передачи блоков данных, также как и тип модуляции, можно совмещать между собой в процессе работы *PMT*.

Как было обозначено выше, трансивер *PMT* поддерживает различные механизмы останова передачи данных. Последний необходим для сокращения числа посылок, отправляемых на спутник, при обеспечении безошибочной передачи блоков данных в полном объеме, что приводит к существенной экономии энергии и увеличению пропускной способности системы. Трансивер прекращает передачу блока пользовательских данных при достижении одного из двух условий: условия псевдоподтверждения или условия интерактивного подтверждения.

Условие псевдоподтверждения предполагает контроль над числом последовательных одинаковых посылок ( $N$ ) в процессе пролета спутника. Так, полагая вероятность получения спутником достоверной посылки равной  $P$ , вероятность получения безошибочной посылки после  $N$  попыток составит  $1 - (1 - P)^N$ . Например, принимая вероятность  $P$  равной 80 %, после передачи трех посылок вероятность получения спутником безошибочной информации возрастет до 99,2 %. Таким образом, ограничивая число попыток  $N$ , можно существенно ограничить число передаваемых на спутник посылок при обеспечении высокой вероятности передачи достоверной информации.

Пользователь может устанавливать значение параметра  $N$  в широких пределах в зависимости от внешних факторов, воздействующих на платформу с установленным *PMT* (например, частота и характер погружений поплавка, его колебания относительно вертикальной оси, вносящие фазовый шум в передаваемый радиосигнал, погодные условия и т. д.).

Условие интерактивного подтверждения для останова передачи данных предполагает автоматическое квитирование переданных посылок по обратному каналу связи. Это условие выполняется только во время пролета спутников *Argos-3*.

Обратный канал связи в системе *Argos-3* может использоваться не только для подтверждения передачи посылок, но и для передачи пользовательских данных платформе с установленным *PMT* и конфигурирования последнего в процессе работы. Процесс управления *PMT* осуществляется удаленно через специальный интернет-сервер с пользовательским интерфейсом.

Для обеспечения прозрачности передачи пользовательских данных система *Argos-3* поддерживает специальный механизм менеджмента данными. Он заключается в разделении информационных стандартов для пользователя и для системы передачи данных. В отличие от системы *Argos-2*, в которой для восстановления непрерывного ряда пользовательских данных необходимо применять специальные форматы кодирования и декодирования как на этапе отправки сообщений, так и на этапе их приема, в системе *Argos-3* функции, реализующие отправку и прием пользовательских данных, выполняются автоматически и скрыты для пользователя. Например, при отправке большого объема данных информация автоматически сегментируется на ряд «элементарных» сообщений, после чего на приемной стороне последние автоматически объединяются для получения исходной информации. Кроме того, каждый блок данных сопровождается меткой точного времени, что позволяет системе обеспечивать синхронизацию измерений.

Немаловажной особенностью работы трансивера в составе системы *Argos-3* является процесс инициализации *PMT* при первом включении. Этот процесс заключается в определении системой *Argos* местоположения *PMT*, передаче на *PMT* данных его местоположения и сигналов точного времени для обеспечения работы алгоритма прогнозирования пролетов спутников, а также регистрации в системе. Во время инициализации передача пользовательских данных невозможна, трансивер транслирует фиксированное системное сообщение. Режим инициализации меняется на рабочий режим сразу после получения со спутника *Argos-3* всей необходимой системной информации. При отсутствии обратной связи процесс инициализации ограничивается промежуток времени, равным 72 ч, по истечении которого трансивер *PMT* переходит в режим функционирования в качестве передатчика *PTT*.

Конфигурирование трансивера (изменение режимов работы, типов модуляции, протокола и условий останова передачи и пр.) производится через последовательный интерфейс как с помощью внешнего управляющего контроллера в процессе эксплуатации, так и предварительно с помощью персонального компьютера. В последнем случае разработчикам предоставляется специализированное ПО, позволяющее гибко управлять всеми настройками *PMT*. Все изменяемые пользователем параметры сохраняются в энергонезависимой памяти трансивера.

С целью популяризации нового поколения системы *Argos-3* среди потенциальных пользователей с 2007 г. проводилась специальная международная тестовая программа «*Argos-3 Pilot Project*» (пилотный проект *Argos-3*), в ходе которой участники на выгодных условиях имели возможность оценить преимущества системы и определить наиболее важные для них функции и сервисы. МГИ совместно с ООО «НПФ Марлин-Юг» являлся участником этой программы.

### **2. Разработка экспериментального *SVP-B* дрейфующего буя, оснащенного аппаратурой *Argos-3*. Сравнительный анализ эффективности применения систем *Argos-3* и *Argos-2***

В рамках международного пилотного проекта *Argos-3* в МГИ и ООО «НПФ Марлин-Юг» были проведены работы по разработке нового поколения *SVP-B* дрейфтеров, оснащенных аппаратурой передачи данных через спутниковую систему *Argos* третьего поколения [2]. Как отмечалось выше, отличительными особенностями *Argos-3* от предыдущих поколений этой системы являются существенно возросшая пропускная способность и значительное уменьшение энергопотребления аппаратуры передачи данных за счет использования обратного канала связи для обеспечения прогнозирования пролетов спутников и квитирования при передаче сообщений.

С помощью поставляемого фирмой-производителем ПО для настройки трансиверов *Argos-3* бы-

ла произведена оценка их режимов работы, определены оптимальные настройки для обеспечения устойчивой передачи дрейфтерной информации в реальных условиях эксплуатации буев. Разработан малопотребляющий контроллер и оригинальное программное обеспечение *Argos-3 SVP-B* дрейфтеров.

На основании опыта предыдущих разработок с использованием системы *Argos-2* и с учетом рекомендаций экспертов по внедрению со стороны *CLS Argos* была определена следующая конфигурация работы трансиверов *PMT* в составе аппаратуры *SVP-B* дрейфтеров: режим передачи *C*; неинтерактивный протокол с остановом передачи по условию псевдоподтверждения при  $N=7$ ; опция передачи «пустых» *НК*-сообщений включена; период повторения посылок 90 с; выходная мощность передатчика 2,0 Вт; канал несущей частоты *S8* (401 644 кГц); модуляция типа *BPSK*; скорость передачи данных 400 бит/с. Период работы измерительной аппаратуры дрейфтера 1 ч; измерения синхронизированы со шкалой *UTC* на моменты времени, соответствующие началу каждого часа (00 ч 00 мин, 01 ч 00 мин, 02 ч 00 мин и т. д.). В алгоритм работы буя введен тестовый режим, предназначенный для экспресс-тестирования измерительных каналов дрейфтера. В этом режиме трансивер работает в качестве передатчика *PTT*, позволяя с каждой посылкой передавать информацию с датчиков. Режим тестирования активен в течение первых 20 мин после включения буя, затем дрейфтер переходит в режим инициализации трансивера в системе *Argos-3* и последующей штатной работе с часовым интервалом [3].

Работоспособность трансиверов *Argos-3* в реальных условиях эксплуатации оценивалась по данным, полученным в долговременных натурных экспериментах в различных регионах Мирового океана. Методика оценивания состояла в сопоставлении дрейфтеров, работающих в системах связи *Argos-3* и *Argos-2*, по количеству пропусков в принятых данных и по плотности траекторных измерений.

Для сопоставления выбирались временные ряды данных, разбитые на два блока. Каждый блок объединял данные по пяти дрейфтерам с одинаковыми типами спутниковой связи. Продолжительности рядов данных каждого дрейфтера составляли не менее 100 суток. Все данные были получены в широком диапазоне влияющих факторов, в частности, поверхностных волнений.

При сравнении оценивались средние в пределах каждого блока плотности распределения интервалов времени между последовательными принятыми сообщениями и последовательными определениями координат – локализациями. Результаты оценивания показаны графически на рис. 2, где приведены гистограммы распределений интервалов времени между двумя последовательными результатами измерений (а) и локализациями (б) для каждого типа спутниковой связи. Из графиков следует, что для дрейфтеров с каналами связи *Argos-2* около 90 % сообщений об измеряемых параметрах доставляются пользователю с номинальным интервалом 1 ч. Для дрейфтеров с каналами связи *Argos-3* этот показатель составляет 93,3 %. Существенно большие различия наблюдаются в оценках потерь данных траекторных измерений. Для буев с каналами связи *Argos-3* около 95 % обсерваций следуют с интервалами не более 2 ч. В системе *Argos-2* только 8,3 % данных о координатах дрейфтеров следуют с интервалом 1 ч, а остальные обсервации приблизительно равномерно распределены на интервале от 2 до 6 ч.

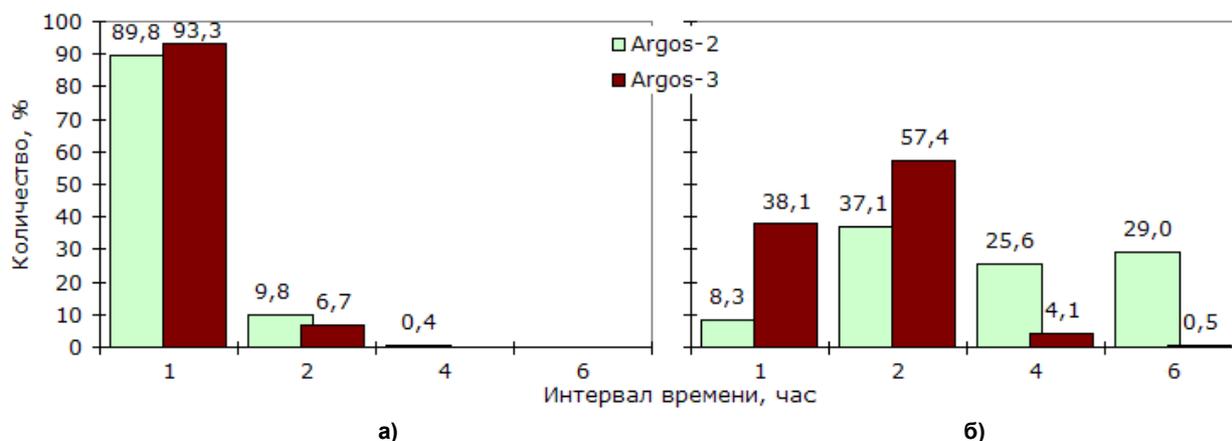


Рис. 2. Распределение временных интервалов между измерениями (а) и локализациями (б) по данным дрейфтеров, работающих в системах связи *Argos-2* и *Argos-3*

### Заключение

Результаты лабораторных и долговременных натурных экспериментов показали эффективность разработанных в МГИ и ООО «НПФ Марлин-Юг» решений по адаптации поверхностных дрейфующих буев к спутниковой системе *Argos-3*. В настоящее время буи широко используются в качестве компонента глобальной дрейфтерной наблюдательной сети.

### Литература

1. Guige M. *PMT RFM – YTR-3000 User Manual* / M. Guige // *CLS technical document ref. CLS-DT-NT-08-182, rel. 1.9. – 2010. – 144 p.*

2. Юркевич, Н.Ю. *Применение спутниковой системы Argos-3 для передачи информации с морских дрейфующих буев* / Н.Ю. Юркевич, Е.Г. Лунев, С.П. Литвиненко // *Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций: материалы 10-й междунар. молодеж. науч.-техн. конф. РТ-2014, 12–17 мая 2014 г. – Севастополь: СевНТУ, 2014. – С. 75.*

3. Мотыжев, С.В. *Развитие дрейфтерных технологий и их внедрение в практику океанографических наблюдений в Черном море и Мировом океане* / С.В. Мотыжев, Е.Г. Лунев, А.П. Толстошеев // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2011. – Вып. 24. – С. 259–272.*

**Литвиненко Сергей Ростиславович**, ведущий инженер, Морской гидрофизический институт, г. Севастополь; [litvinenko@marlin-yug.com](mailto:litvinenko@marlin-yug.com).

**Безгин Александр Александрович**, аспирант, Севастопольский государственного университета; инженер-технолог, Морской гидрофизический институт, г. Севастополь; [bezghinaa@gmail.ru](mailto:bezghinaa@gmail.ru).

**Лунев Евгений Геннадьевич**, канд. техн. наук, научный сотрудник, Морской гидрофизический институт, г. Севастополь; [marlin@marlin-yug.com](mailto:marlin@marlin-yug.com).

**Мотыжев Сергей Владимирович**, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник, Морской гидрофизический институт, г. Севастополь; [marlin@marlin-yug.com](mailto:marlin@marlin-yug.com).

**Толстошеев Алексей Петрович**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт, г. Севастополь; [tolstosheev@marlin-yug.com](mailto:tolstosheev@marlin-yug.com).

*Поступила в редакцию 3 марта 2015 г.*

---

DOI: 10.14529/ctcr150201

## EXPERIENCE WITH AN ARGOS-3 SATELLITE SYSTEM TO TRACKING AND DATA COLLECTION FROM MARINE DRIFTING BUOYS

**S.R. Litvinenko**, *Marine Hydrophysical Institute, Sevastopol', Russian Federation*, [litvinenko@marlin-yug.com](mailto:litvinenko@marlin-yug.com),

**A.A. Bezgin**, *Sevastopol State University, Marine Hydrophysical Institute, Sevastopol', Russian Federation*, [bezghinaa@gmail.ru](mailto:bezghinaa@gmail.ru),

**E.G. Lunev**, *Marine Hydrophysical Institute, Sevastopol', Russian Federation*, [marlin@marlin-yug.com](mailto:marlin@marlin-yug.com),

**S.V. Motyzhev**, *Marine Hydrophysical Institute, Sevastopol', Russian Federation*, [marlin@marlin-yug.com](mailto:marlin@marlin-yug.com),

**A.P. Tolstosheev**, *Marine Hydrophysical Institute, Sevastopol', Russian Federation*, [tolstosheev@marlin-yug.com](mailto:tolstosheev@marlin-yug.com)

The technical characteristics of the new satellite communication system Argos-3 are investigated with reference to the drifter experiments in the World Ocean and the Black Sea. A comparison of the standards of satellite communication systems Argos-2 and Argos-3 is carried out. The distinctive features of the Argos-3 from the previous generations of the system are greatly increased band-

width and a significant reduction of the data equipment power consumption through the use of the reverse link for the guarantee of prediction of the satellite transmission and acknowledgment during the message transferring. In the context of the international pilot project “Argos-3 Pilot Project” the Argos-3 equipment performance is evaluated and its configuration is determined according to the in-situ operation as a part of the marine drifting buoys (drifters). The results of in-situ experiments with new Argos-3 drifters and traditional Argos-2 drifters are compared and the performances of both systems are analyzed. The recommendations on the optimum configuration of the equipment Argos-3 as part of drifting buoys are given. The results of the laboratory and long-term field experiments have shown the efficacy of the solutions to adapt the surface drifting buoys to the satellite system Argos-3, developed in МНИ и “Marlin-Yug Ltd” and which is now widely used to improve the global drift-monitoring network.

*Keywords: Argos-3, transceiver, satellite communication, drifting buoy, drifter.*

#### References

1. Guige M. PMT RFM – YTR-3000 User Manual. CLS technical document ref. CLS-DT-NT-08-182, rel. 1.9, 2010. 144 p.
2. Jurkevich N.U., Lunev E.G., Litvinenko S.R. [Adaptation of Argos-3 Satellite System for Data Transfer from Ocean Drifting Buoys]. *Sovremennyye problemy radiotekhniki i telekommunikatsiy: materialy 10-y mezhduar. molodezh. nauch.-tekhn. konf. RT-2014* [Proc. of the 10-th International Young Scientist Conference RT-2014], 2014, p. 75. (in Russ.)
3. Motyzhev S.V., Lunev E.G., Tolstosheev A.P. [The Development of the Drift-technologies and Their Implementation in Practice Oceanographic Observations in the Black Sea and the World Ocean]. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Complex Use of Shelf Resources*, 2011, no 24, pp. 259–272. (in Russ.)

*Received 3 March 2015*

---

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Опыт использования возможностей спутниковой системы Argos-3 для передачи информации и определения координат морских дрейфующих буюв / С.Р. Литвиненко, А.А. Безгин, Е.Г. Лунев и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 5–11. DOI: 10.14529/ctcr150201

#### REFERENCE TO ARTICLE

Litvinenko S.R., Bezgin A.A., Lunev E.G., Motyzhev S.V., Tolstosheev A.P. Experience with an Argos-3 Satellite System to Tracking and Data Collection from Marine Drifting Buoys. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2015, vol. 15, no. 2, pp. 5–11. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr150201