

**МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ
ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МЧС РОССИИ**

**СЕРВИС БЕЗОПАСНОСТИ В РОССИИ:
ОПЫТ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ**

**МОНИТОРИНГ, ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ
ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА**

**Материалы международной
научно-практической конференции**

28 октября 2021 года



**Санкт-Петербург
2021**

Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий

Санкт-Петербургский университет
Государственной противопожарной службы МЧС России



**СЕРВИС БЕЗОПАСНОСТИ В РОССИИ:
ОПЫТ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ**

**МОНИТОРИНГ, ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ
ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА**

Материалы международной научно-практической конференции

28 октября 2021 года

Санкт-Петербург
2021

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕТЕРОГЕННОЙ ГРУППЫ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В КАЧЕСТВЕ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ И ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА МОРСКОЙ АКВАТОРИИ

Маевский А.М.,¹

руководитель отдела морской робототехники, младший научный сотрудник;

Смирнов А.С.,²

доктор технических наук, профессор;

Турсенев С.А.,²

кандидат технических наук, доцент.

¹ Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, АО «НПП ПТ «Океанос»

² ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Аннотация

В работе рассматривается задача обеспечения мониторинга подводных потенциально-опасных объектов и загрязнений на морской акватории. Актуальность данной проблемы обусловлена реальными рисками возникновения ЧС, которые могут привести к экологической катастрофе. Решение задачи основано на использовании гетерогенной группы морских робототехнических комплексов, обеспечивающих быстрое развёртывание в районе, широкий охват акватории и оперативное выполнение поставленной задачи. Методом решения является организация группового применения морских робототехнических комплексов в виде волнового и подводных глайдеров в областях потенциальных возникновения ЧС, с выбросом опасных веществ в акваторию и местах захоронения радиоактивных объектов. Такие группы необитаемых аппаратов могут собирать данные в автоматическом режиме, обрабатывать их на аппаратах и в группе аппаратов с помощью нейросетей, с возможностью децентрализации, а также оперативно передавать данные и/или результаты их обработки на исследовательские станции. Реализация на практике данного метода позволит иметь актуализированные в режиме близком к реальному времени данные о состоянии акваторий, а также поможет спрогнозировать распространение загрязнений при их выявлении и обеспечить оптимизацию решений по борьбе с загрязнениями.

Ключевые слова: МРТК, глайдер, гетерогенная группа, мониторинг акватории, групповое управление, подводный потенциально-опасный объект, радиоактивные загрязнения, АНПА, химические загрязнения, нейросети.

USING OF GROUPS OF MARINE ROBOTIC COMPLEXES AS SYSTEMS FOR DETECTION AND MONITORING OF UNDERWATER POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS AND POLLUTION IN THE SEA AREA

Maevskiy A.M.¹, Smirnov A.S.², Tursenev S.A.²

¹ Saint-Petersburg State Marine Technical University, JSC Oceanos

² FSBEE HE «Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia»

Abstract

The paper considers the task of monitoring underwater potentially dangerous objects and pollution in the marine area. The urgency of this problem is due to the real risks of an emergency that can lead to an environmental catastrophe. The solution of the problem is based on the use of a heterogeneous group of marine robotic systems that ensure rapid deployment in the area, wide coverage of the water area and prompt execution of the task. The method of solution is the organization of group application of marine robotic complexes in the form of wave and underwater gliders in areas of potential emergencies, with the release of hazardous substances into the water

area and places of disposal of radioactive objects. Such groups of uninhabited vehicles can collect data in automatic mode, process them on vehicles and in a group of vehicles, using neural networks, with the possibility of decentralization, as well as promptly transmit data and/or the results of their processing to research stations. The implementation of this method in practice will allow you to have up-to-date data on the state of water areas in close to real time, as well as help predict the spread of pollution when they are detected and ensure the optimization of pollution control solutions.

Key words: *MRC, glider, heterogeneous group, monitoring of the water area, group management, underwater potentially dangerous object, radioactive contamination, AUV, chemical contamination, neural networks.*

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2003 г. № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» в 2013 году было утверждено Положение о функциональной подсистеме предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на подводных потенциально опасных объектах во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (приказ МЧС России от 22 июля 2013 г. № 479). Одной из основных задач функциональной подсистемы является обследование и оперативный контроль состояния подводных потенциально опасных объектов (ППОО) на водных объектах с целью прогнозирования и оценки последствий возможных чрезвычайных ситуаций. ППОО - суда, иные плавсредства, космические и летательные аппараты, в том числе их элементы, и другие технические средства, а также боеприпасы, элементы оборудования и установки, полностью или частично затопленные во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации в результате аварийных происшествий или захоронений, содержащие ядерные материалы, радиоактивные, химические отравляющие, взрывчатые и другие опасные вещества, создающие угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций [1].

С целью выполнения поставленных задач МЧС России ежегодно проводит обследования захоронений радиоактивных отходов в северных и дальневосточных морях. Помимо этого, ежегодно планируются НИР и ОКР по созданию специализированных технических средств для обеспечения выполнения обследований. К таким средствам относятся подводный [9-10, 13-16] и волновой глайдеры [11]. Соответственно, необходимо также разрабатывать и/или адаптировать модели и методики их применения [12, 17-21] для достижения наилучшего результата.

По опубликованным к настоящему времени данным на дне морей Российской Федерации находятся три атомные подводные лодки (АПЛ), пять реакторных отсеков с корабельными и судовыми ядерными энергетическими установками, 19 судов, в том числе баржа с реактором, выгруженным из АПЛ, более 700 радиоактивных конструкций и блоков, затопленных без герметичной упаковки, и более 17 тыс. контейнеров с радиоактивными отходами (РАО) [22].

По степени потенциальной радиационной опасности для населения и окружающей среды затопленные объекты разделяют на две группы, к которым относятся объекты с ядерным топливом и радиоактивные отходы. Наибольшей опасностью отличаются объекты, содержащие делящиеся вещества (ядерное топливо) с массой больше критической, что теоретически не исключает возможности возникновения самопроизвольной цепной реакции (СЦР) и выброса большого количества радионуклидов в окружающую среду. К таким ядерно опасным объектам из перечисленных выше относятся: три АПЛ и два реакторных отсека с невыгруженным из корабельных реакторов ОЯТ, реактор АПЛ заказ № 421 и специальный контейнер с ОЯТ из реактора № 2 первой ядерной энергетической установки (ЯЭУ) ОК-150 атомного ледокола «Ленин».

Безопасность подводного потенциально опасного объекта— это состояние подводного потенциально опасного объекта, характеризующееся определенными уровнями воздействия

опасных и вредных факторов на население и окружающую среду в обычных условиях (без вмешательства) и при вмешательстве (проведении подводных работ специального назначения).

Для радиационно и химически опасных подводных объектов характерна следующая ситуация. Вследствие коррозии и/или механического повреждения упавшими в воду объектами [29] или таранными ударами орудий лова [30] или иных подводных объектов [31], опасные вещества выходят в воду и по пищевым цепям или при прямом контакте могут попасть в организм человека. Приходится отметить, что вероятность таких событий далека от нулевой, учитывая объёмы и площади расположения ППОО [32] и всё возрастающий уровень техногенной активности.

Контроль загрязнений воды радионуклидами и отравляющими веществами позволяет на ранней стадии зафиксировать начало развития возможной чрезвычайной ситуации, принять меры по минимизации попадания опасных веществ в организм человека и таким образом контролировать безопасность ППОО. Одним из основных условий возможности предупреждения развития чрезвычайной ситуации является оперативность получения данных о загрязнении.

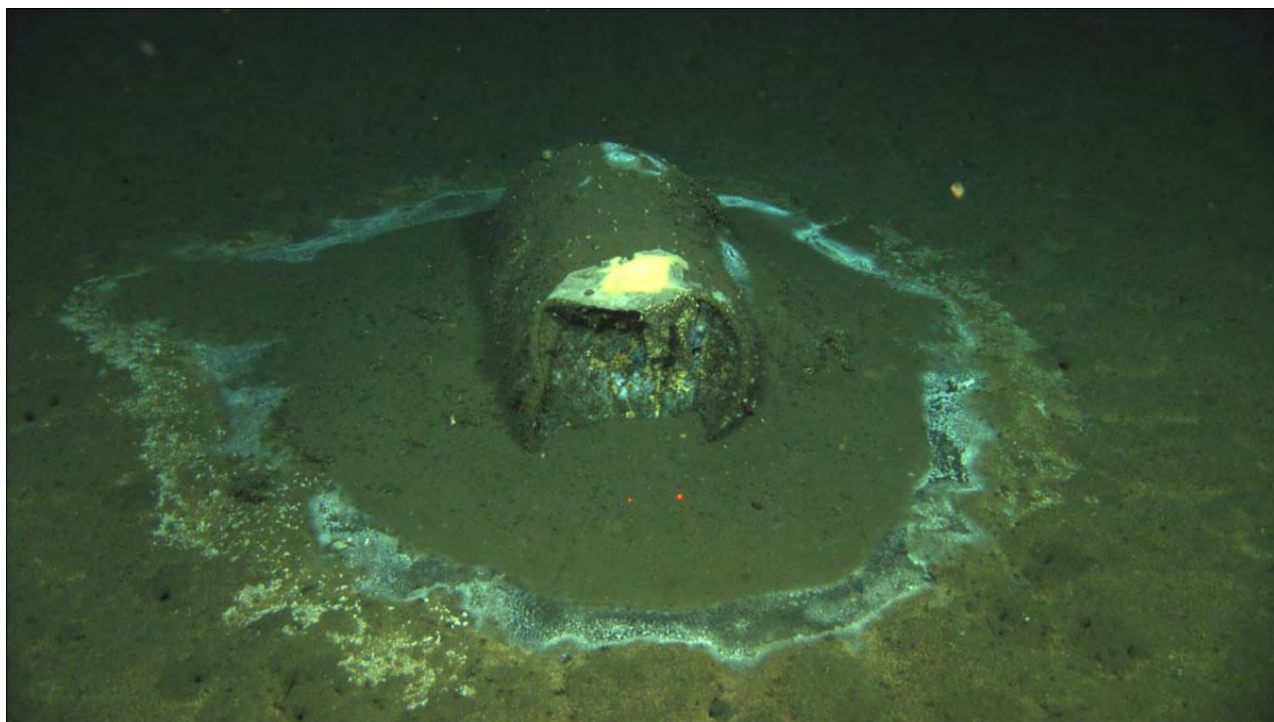


Рисунок 1 – Одна из найденных у побережья Калифорнии повреждённых бочек. Голубое свечение вокруг — ДДТ. Фото сделано глубоководным ТНПА: David Valentine / ROV Jason для www.latimes.com

Поэтому предлагается использовать разнородную группу морских робототехнических комплексов (МРТК) для контроля безопасности ППОО. Плюсами использования данного метода являются: продолжительная автономность выполнения задачи мониторинга, оперативное получения данных, достаточное покрытие зоны исследования и высокое качество выполнения работы.

В качестве полезной нагрузки на аппараты могут быть установлены:

- СТД зонды и датчики скорости звука для определения параметров температуры, плотности, солёности и скорости жидкости [2-4];
- лазерные датчики метана (LMS) для определения концентрации метана в жидкости [5]
- датчики различного исполнения для определения уровня нефтяного загрязнения (к примеру, SeaOWL);

- датчики измерения фотосинтетического активного излучения в воде (PAR), включая датчики наблюдения параметров фитопланктона (FIRe) [6-7];
- датчики химических веществ, радионуклидов и т.д. [8]



Рисунок 2-3 – Отечественные ходовые стенды подводного и волнового глайдеров в натурных экспериментах

В качестве примера модели применения гетерогенной группы МРТК рассмотрим задачи, связанные с мониторингом нескольких ППОО, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, и наблюдением за распространением загрязнения от одного ППОО. В состав гетерогенной группы МРТК входят волновой (см. рисунок 3) и несколько подводных глайдеров (см. рисунок 2). Аппараты способны в автоматическом режиме выполнять заданные миссии по сбору данных о загрязнении воды.

Рассмотрим задачу, есть несколько ППОО затопленных на дне (см. рисунок 4). У каждого из объектов есть область распространения загрязнений. В зависимости от того, известна ли эта область или нет, можно использовать различные способы покрытия этой зоны. Если область распространения неизвестна, аппарат может двигаться от точки затопления объекта по спирали, постепенно получая данные о распространении загрязнений. Для исследования известной области загрязнений система выбирает траекторию покрытия, опираясь на эвристики, заложенные в нее до начала миссии. Также возможна реализация выбора траектории с помощью алгоритма RRT [23] и интеллектуальной системы планирования [24]. Собранные данные могут быть отправлены на исследовательские станции для последующей обработки, за это, как правило, отвечает волновой глайдер. Либо данные обрабатываются непосредственно группой аппаратов с использованием нейросетевых технологий и децентрализации вычислений.

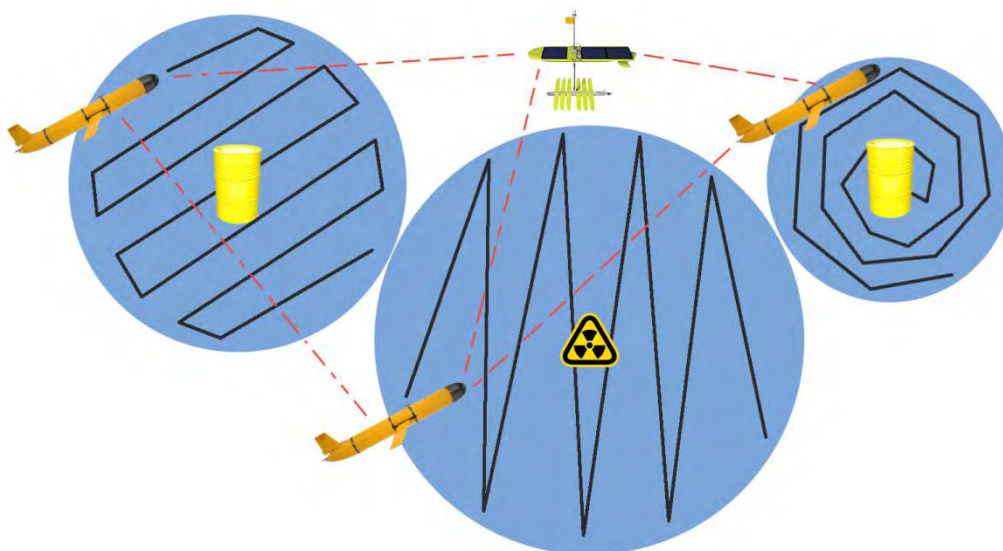


Рисунок 4 – Пример модели использования гетерогенной группы МРТК для мониторинга области загрязнения. Сплошные линии обозначают траектории движения, пунктирные линии обозначают информационную сеть

В случае с наблюдением за загрязнением от одного ППОО также может быть использована гетерогенная группа МРТК (см. рисунок 5). Как видно на рисунке два подводных глайдера совершают обход зоны, с целью определения границы загрязнения, оставшийся подводный глайдер исследует внутреннюю область. Волновой глайдер осуществляет связь между ними и исследовательской станцией. Такой метод использования аппаратов позволяет проводить мониторинг в короткие сроки и с повышенным качеством.

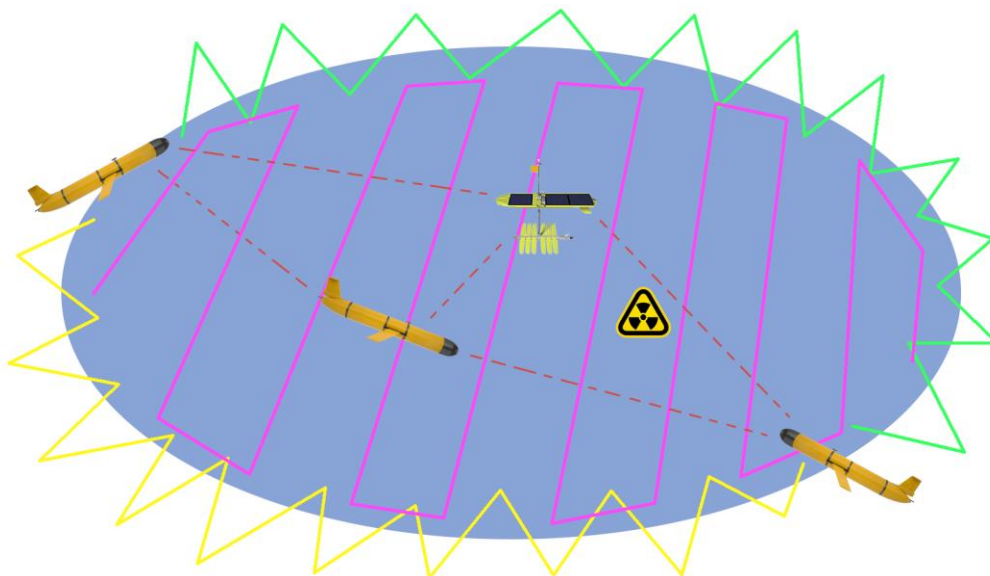


Рисунок 5 – Пример модели использования гетерогенной группы МРТК для мониторинга области загрязнения. Сплошные линии обозначают траектории движения, пунктирные линии обозначают информационную сеть

Использованный в работе подход к анализу и мониторингу загрязнений акватории основан на применении гетерогенных групп морских робототехнических систем, что потенциально позволяет осуществить оперативное пространственное 3D обследование области загрязнения, сформировать уточненные пространственные контуры загрязнения в

режиме реального времени, обеспечить построение прогностических моделей большой достоверности. На приведённых примерах обеспечения эффективности выполнения работ по мониторингу ППО с групповым применением подводных и волновых глайдеров обосновывается целесообразность применения подводных глайдеров как таковых и рекомендация по их групповому применению в целях мониторинга ППО [25-28, 33], а также обеспечивается потенциальная увязка с робототехническими технологиями резидентного базирования в составе морских мониторинговых обсерваторий [34, 35], что позволяет существенно сократить время и стоимость работ с одновременным повышением эффективности.

Литература

1. Вялышев А.Н. МЧС России и подводные потенциально опасные объекты // Технологии гражданской безопасности. 2017. № 1 (51). Т. 14. С. 4–10.
2. T. Howatt(1) T. Ross(2), S. Waterman(1); 1: University of British Columbia, 2: Institute of Ocean Sciences Ocean Gliders to Study Baleen Whale Habitat in Roseway Basin.
3. Fuchs, H. L. and G. P. Gerbi, 2016: Seascape-level variation in turbulence- and wave-generated hydrodynamic signals experienced by plankton. *Prog. Oceanogr.*, 141, 109–129.
4. Moore, D., 2017: Is Emerald Basin, Scotian Shelf, Canada, a North Atlantic right whale (*Eubalaena glacialis*) feeding habitat? Honours Thesis, Dalhousie University. 1-63.
5. Russell-Cargill Louise M., Craddock Bradley S., Dinsdale Ross B., Doran Jacqueline G., Hunt Ben N., Hollings Ben (2018) Using autonomous underwater gliders for geochemical exploration surveys. *The APPEA Journal* 58, 367-380.
6. Thomas J. Ryan-Keogh, Walker O. Smith, Temporal patterns of iron limitation in the Ross Sea as determined from chlorophyll fluorescence, *Journal of Marine Systems*, 10.1016/j.jmarsys.2020.103500, 215, (103500), (2021).
7. Carvalho, F., Gorbunov, M.Y., Oliver, M.J., Haskins, C., Aragon, D., Kohut, J.T. and Schofield, O. (2020), FIRE glider: Mapping in situ chlorophyll variable fluorescence with autonomous underwater gliders. *Limnol Oceanogr Methods*, 18: 531-545. URL: <https://doi.org/10.1002/lom3.10380> (дата обращения: 16.06.2021).
8. Электронный каталог оборудования ООО «СИТИКРИМ» на вэб-ресурсе URL: http://seatechrim.ru/levre_menyu/oborudovanie1/analiz_morskoj_vody/datchiki/ (дата обращения 14.10.2021)
9. Кожемякин И. В., Рождественский К. В., Рыжов В. А., Смольников А. В. Разработка автономных необитаемых подводных глайдеров. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*, (3 (140)), 2013. – С. 31-39.
10. Гайкович Б.А., Занин В.Ю. Вопросы создания семейства морских глайдеров как элементов глобальной системы морской безопасности // *Материалы 9 научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления»*, 2014. С.211-218.
11. И.В. Кожемякин, Ю.П. Потехин, К.В. Рождественский, В.А. Рыжов. Волновой глайдер, как элемент морской глобальной информационно-измерительной системы // *Известия ЮФУ. Технические науки* 2015 59-71
12. Гайкович Б.А., Занин В. Ю., Кожемякин И. В. Аспекты практического применения подводных глайдеров на базе опытной эксплуатации // *Новый оборонный заказ* № 4 (41) 2016 С.78-81
13. Маевский А.М, Назаркин А.С, Суров К.А. Исследование движения глайдера за счет управляемого изменения плавучести Информационные технологии, системный анализ и управление. – ИТСАУ – 2016 Сборник трудов XIV Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Т.2. – С. 63-68.
14. Маевский А.М, Назаркин А.С (2016). Реализация автономного необитаемого подводного аппарата типа глайдер. *Технические науки – от теории к практике*, (9 (57)). – С. 119-124.

15. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка гибридных автономных необитаемых аппаратов для исследования месторождений углеводородов. Вести газовой науки, (2 (39)), 2019. – С. 29-40.
16. Гуренко Б.В., Маевский А.М., Суров К.А., Назаркин А.С. «Разработка и исследование позиционно-траекторного регулятора для управления движением подводного глайдера» Инженерный вестник Дона, № 6 (57), 2019, pp. 20.
17. В.Ю. Занин, А.М. Маевский, И.В. Кожемякин и др. Использование морской робототехники в задачах оперативной океанографии. Отечественный и зарубежный опыт. Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2019 года- С.-14-22
18. В.Г. Аковецкий, Ю.Н. Бурвикова, Б.А. Гайкович, В.Ю. Занин, А.М. Зубалий, Н.Е. Рязанова, О.И. Шокина «Методы экологических исследований», учебник, МГИМО, Москва 2019 года.
19. А.М. Маевский, В.Ю. Занин, И.В. Кожемякин, В.А. Рыжов «Разработка схем применения и систем управления гетерогенными группами морских роботов», доклад, Сборник материалов 30-ой международной научно-технической конференции "Экстремальная робототехника", ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, сентябрь 2020 года.
20. Волошин С. Б., Драгомощенко Ф. О., Занин В. Ю., Маевский А. М. «Аспекты применения гетерогенных групп робототехнических комплексов повышенной автономности, в том числе из состава обсерваторий, с целью получения океанографических данных и их дальнейшего использования для освоения Арктической зоны». Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2020 года- С.-62-75
21. Применение подводных глайдеров для геолого-разведки // RoboTrends [электрон. ресурс]. –<http://robotrends.ru/pub/1837/primenenie-podvodnyh-glayderov-dlya-geologorazvedki> (дата обращения: 10.08.20).
22. А.А. Саркисов, В.Л. Высоцкий, Ю.В. Сивинцев, В.С. Никитин Проблемы радиационной реабилитации арктических морей, способы и пути их решения // Арктика. Экология и экономика №1, 2011 (70-81)
23. Andrey Maevskiy, Artem Gorelyi, Roman Morozov Development of a Hybrid Method for Planning the Movement of a Group of Marine Robotic Complexes in a Priori Unknown Environment with Obstacles // 2021 IEEE 22nd INTERNATIONAL CONFERENCE OF YOUNG PROFESSIONALS IN ELECTRON DEVICES AND MATERIALS (EDM)
24. В. Х. Пшихопов Д. А. Белоглазов и др. Интеллектуальное планирование траекторий подвижных объектов в средах с препятствиями // ФИЗМАТЛИТ, 2014 595
25. А.М. Маевский, И.А. Печайко, С.А. Турсенев Применение морских робототехнических комплексов для мониторинга и анализа потенциально опасных подводных объектов «Проблемы управления рисками в техносфере» № 2. 2021. – С 32-39
26. Вялышев А.И. МЧС России и подводные потенциально опасные объекты // Технологии гражданской безопасности. 2017. №1 (51).
27. Вялышев А.И., Большагин А.Ю. Гибридным контроль загрязнении акватории, обусловленных подводными потенциально опасными объектами // Технологии гражданской безопасности. 2018. №3 (57).
28. Большагин А.Ю., Вялышев А.И., Долгов А.А. и др. Оценка вероятности чрезвычайных ситуаций с подводными радиационно опасными объектами Карского моря // Технологии гражданской безопасности. 2020. №1 (63).
29. Taghizadeh, P. Edalat «Failure Probability Based Analysis of Dropped Object on Submarine Pipelines» 19th Marine Industries Conference (MIC2017) 11-13 December 2017 – Kish Island
URL: https://www.researchgate.net/publication/322741334_Failure_Probability_Based_Analysis_of_Dropped_Object_on_Submarine_Pipelines (дата обращения 14.10.2021)

30. INTERFERENCE BETWEEN TRAWL GEAR AND PIPELINES Recommended Practice DNV-RP-F111, October 2010 URL: <https://rules.dnv.com/docs/pdf/dnvpmp/codes/docs/2010-10/RP-F111.pdf> (дата обращения 14.10.2021)

31. А.Э. Яшлавский «Американская атомная подлодка наткнулась на неопознанный объект: названы подробности» Московский Комсомолец 08.10.2021 г. URL: <https://www.mk.ru/politics/2021/10/08/amerikanskaya-atomnaya-podlodka-natknulas-na-neopoznannyy-obekt-nazvany-podrobnosti.html> (дата обращения 14.10.2021)

32. R. Xia «L.A.'s coast was once a DDT dumping ground.» Los Angeles Times 25 october 2020 URL: <https://www.latimes.com/projects/la-coast-ddt-dumping-ground/> (дата обращения 14.10.2021)

33. А.М. Маевский, В.Ю. Занин, С.А. Турсенев Применение групп автономных необитаемых подводных аппаратов планерного типа в качестве систем мониторинга подводных потенциально-опасных объектов на примере мониторинга экологического состояния акватории при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с аварийными разливами нефти и нефтепродуктов «Научно-аналитический журнал вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС РОССИИ» № 2. 2021. – С 25-32

34. В.Ю. Занин, И.В. Кожемякин, А.М. Маевский «Использование морской робототехники в задачах оперативной океанографии: отечественный и зарубежный опыт» // Морские информационно-управляющие системы. № 1 (17) 2020. – С 94 – 102

35. В.Ю. Занин, А.М. Маевский и др. «Разработка элементов подводных робототехнических резидентных систем на примере отечественного автономного необитаемого подводного аппарата интервенционного класса и сопутствующих технологий.» Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2019 года. -2019. – С.14-22.