

УДК 551.46.077(261.24)

ГРУППОВОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПОДВОДНЫХ ПЛАНЕРОВ В ЗАДАЧЕ МОНИТОРИНГА ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ

А.М. Маевский.**Санкт-Петербургский государственный морской технический университет.****В.Ю. Занин.****АО «НПП ПТ «Океанос».****С.А. Турсенев, кандидат технических наук, доцент.****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрена задача обеспечения оперативного мониторинга экологического состояния акватории с подводными потенциально-опасными объектами на примере мониторинга экологического состояния акватории при ликвидации последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. В качестве решения указанной задачи авторы предлагают использовать группы автономных необитаемых подводных аппаратов планерного типа (глайдеров), обеспечивающих быстрое развёртывание в районе, широкий охват акватории и в целом оперативное выполнение поставленной задачи. Методом решения является организация группового применения аппаратов в области возникновения чрезвычайных ситуаций с целью вскрытия реальной обстановки с загрязнением и составления оперативной модели распространения загрязнения.

Ключевые слова: автономные необитаемые подводные аппараты, глайдер, групповое управление, мониторинг акватории, ликвидация аварийных разливов нефти, подводный потенциально-опасный объект

GROUP APPLICATION OF UNDERWATER GLIDERS IN THE TASK OF MONITORING OF UNDERWATER POTENTIALLY HAZARDOUS OBJECTS ON THE EXAMPLE OF EMERGENCY OIL SPILL RESPONSE

A.M. Maevskiy. Saint-Petersburg state marine technical university.**V. Yu. Zanin. CEO's counselor. JSC «Oceanos».****S.A. Tursenev. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**

The paper considers the task of ensuring operational monitoring of the ecological state of the water area with underwater potentially hazardous objects on the example of monitoring the ecological state of the water area during the elimination of the consequences of emergency situations such as oil spill response. The solution to the problem is based on the use of groups of autonomous unmanned underwater vehicles of the glider type (gliders), which ensure rapid deployment in the area, wide coverage of the water area and, in general, the prompt implementation of the task. The method of solution is the organization of group use of devices in the area of emergencies with the aim of revealing the real situation with pollution and drawing up an operational model of the spread of pollution.

Keywords: autonomous unmanned underwater vehicles, glider, group control, water area monitoring, oil spill response, underwater potentially hazardous objects

К чрезвычайным ситуациям (ЧС), возникающим на морских акваториях, относят такие явления как: формирование тропических циклонов и тайфунов, вызывающих наводнения; напор или интенсивный дрейф льдов в Арктическом регионе; разливы химических веществ, нефти и нефтепродуктов, в результате столкновения судов, а также ЧС, возникающих на объектах нефтегазодобывающей и транспортной инфраструктуры. В среднем только на морских акваториях Арктической зоны Российской Федерации ежегодно происходит свыше 100 ЧС, среди которых с каждым годом растет доля ЧС техногенного характера, включая транспортные аварии (30 %), взрывы и пожары технологического оборудования (24 %) [1, 2].

ПАО «Газпром» в рамках программы развития до 2030 г. планирует увеличение добычи полезных ископаемых на дальнем шельфе, в том числе увеличение количества подводных добывающих комплексов углеводородов (рис. 1) [3]. Развитие нефтегазового сектора для экономики страны несомненно необходимо, однако одновременно с этим повышается потенциальная опасность возникновения ЧС на добывающих комплексах. Примером тому является авария, произошедшая на добывающей платформе Deepwater Horizon в апреле 2010 г. Выбросы нефти в океан происходили более 80 дней, что повлекло развитие одной из крупнейших экологических катастроф за всю историю цивилизации. С целью ликвидации катастрофы был сформирован кластер, объединивший как ученых, так и службы экстренного реагирования. Основной задачей являлось не только предотвращение распространения образовавшегося разлива нефти, но и мониторинг и прогнозирование последствий произошедшей катастрофы. Через несколько недель после начала разлива нефти в Мексиканском заливе ученые из океанографического института Вудс-Хоул (WHOI) и их коллеги развернули группу автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) планерного типа Spray Glider для картирования течений в заливе в период с июня по август [4]. Эти измерения помогли спрогнозировать распространение нефти на поверхности и в толще воды и развеять опасения, что нефть распространится далеко за пределы Мексиканского залива. Параллельно с этим ученые из морской лаборатории Моте во Флориде развернули группу подводных планеров типа Slocum для наблюдения за водами у побережья Мексиканского залива Флориды на предмет признаков приближения нефти из аварийной Deepwater Horizon к берегу. Групповое применение морских робототехнических комплексов с АНПА планерного типа позволило ученым и специалистам по ликвидации ЧС сформировать необходимые массивы данных в различных горизонтах глубин во временной развёртке. Полученные сведения обеспечили возможность в оперативном режиме отслеживать изменение структуры нефтяного пятна и его перемещение (рис. 2), а также накапливать материал для прогностических моделей, основанных на методе «больших данных».

Как отметили специалисты по ликвидации ЧС на Deepwater Horizon, практическая тенденция распространения разливов нефти в донных слоях акватории или в приповерхностном слое очень отличается от существовавших ранее теоретических расчетных моделей. Разрабатываемые прогностические методы и модели построения последующего состояния и распространения нефтяного загрязнения не всегда могут дать точное представление о происходящих изменениях в морской среде ввиду неоднородности среды и сложности протекающих процессов в градиентах глубин акватории. Тысячи отдельных углеводородных соединений, входящих в состав нефти (а также потенциальные загрязнения, связанные с авариями на ППО), по-разному ведут себя на различных глубинах под воздействием течений, различного состава водной среды, ее плотности, повышенного давления и перепадов температур. Дополнительные сложности накладывают многочисленные процессы, связанные с разложением загрязнений их растворением, рассеиванием, осаждением, испарением, эмульсификацией, выветриванием и т.д. (рис. 3).

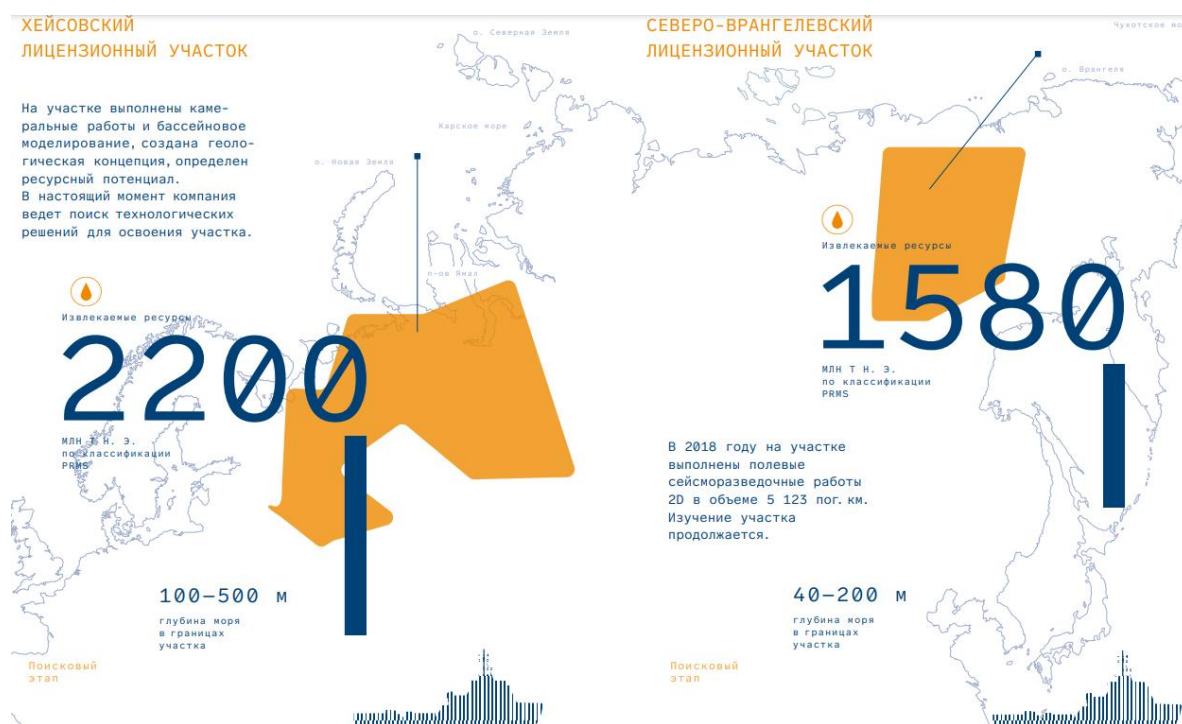


Рис. 1. Информация ПАО «Газпром» по планируемым работам на месторождениях

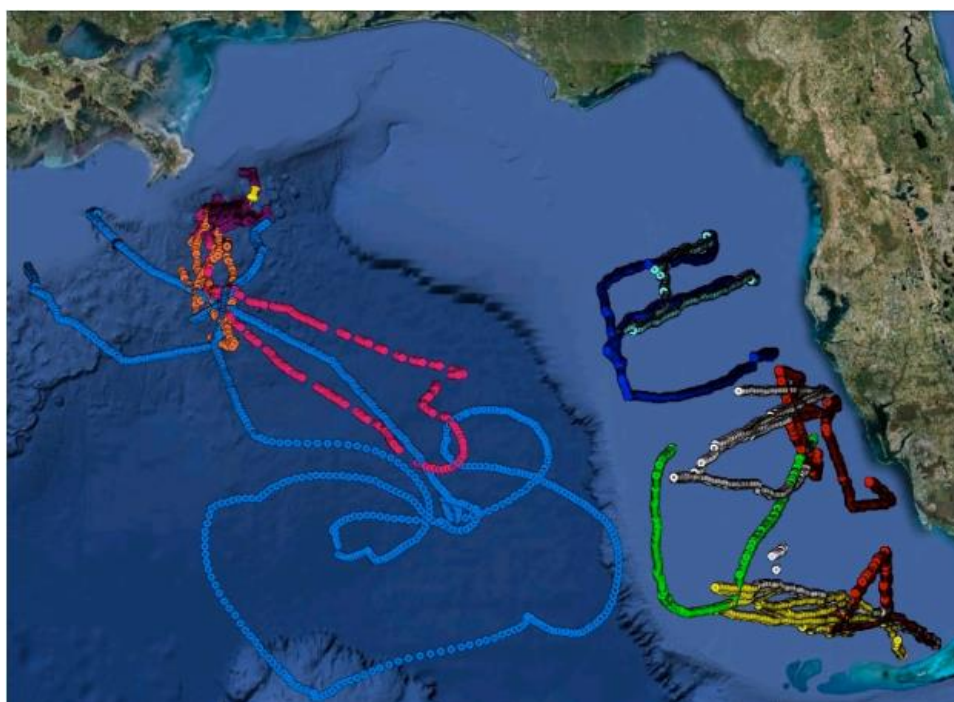


Рис. 2. Траектории движения глайдеров в окрестности аварийной платформы Deepwater Horizon в Мексиканском заливе [4]

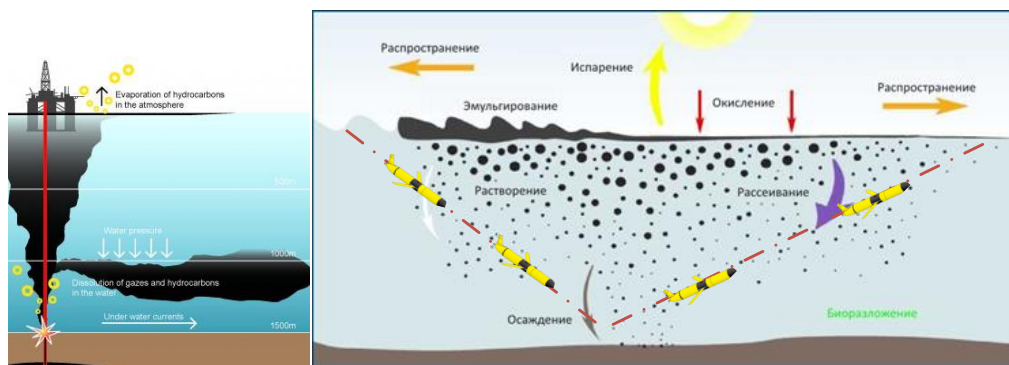


Рис. 3. Процессы взаимодействия загрязнений и морской среды на наиболее наглядном примере нефти и преимущество применения глайдеров

Снимки последствий ЧС на Deepwater Horizon, полученные со спутника в 2D, принципиально не давали полной картины происходящего в 3D пространстве (рис. 4) [5], и являются показательными в части ошибочности моделирования ЧС, основанного на 2D данных спутниковых или поверхностных сенсорных баз и отсутствия временного накопления 3D данных.

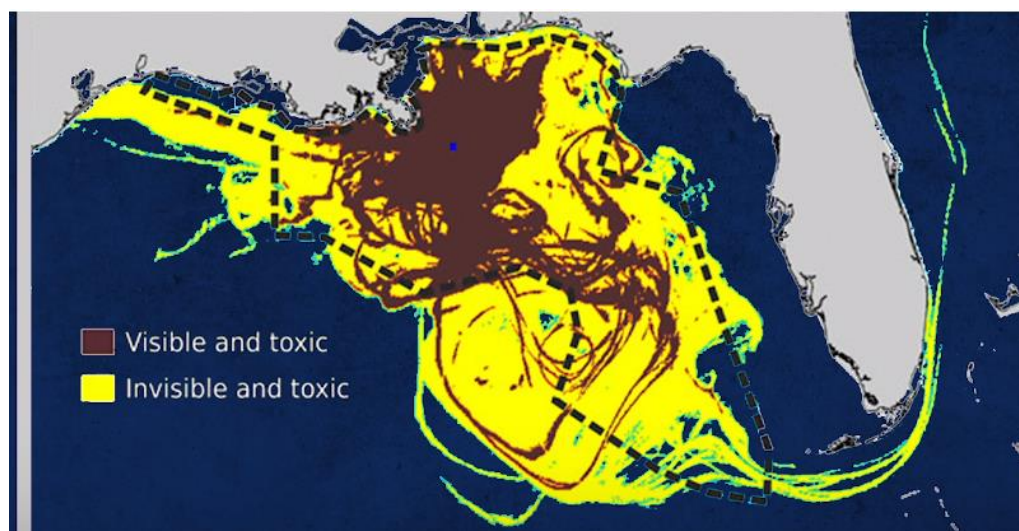


Рис. 4. Спутниковые снимки, отражающие видимые и невидимые разливы токсичных элементов в результате аварии на Deepwater Horizon

Пример произошедшей экологической катастрофы показывает, насколько необходимо иметь возможность применения морских робототехнических комплексов (МРТК) для оперативной мобилизации и мониторинга. В частности, применение групп подводных глайдеров помогает обеспечить не просто более эффективный анализ и мониторинг морского пространства в зоне ЧС, решая позиционные задачи (задачи, связанные с выходом в определенные позиции и обследования обозначенных акваторий), а во многом благодаря своему принципу перемещения глайдеры могут исследовать область акватории в широком диапазоне глубин, что позволяет собрать большие массивы данных с временной развёрткой для построения реально достоверной модели распространения загрязнения.

В качестве полезной нагрузки на аппараты могут быть установлены (рис. 5):

– СТД зонды и датчики скорости звука для определения параметров температуры, плотности, солёности и скорости жидкости [6–8];

- лазерные датчики метана (LMS) для определения концентрации метана в жидкости [9];
- 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) [10, 11];
- датчики химических веществ, радионуклидов и т.д.

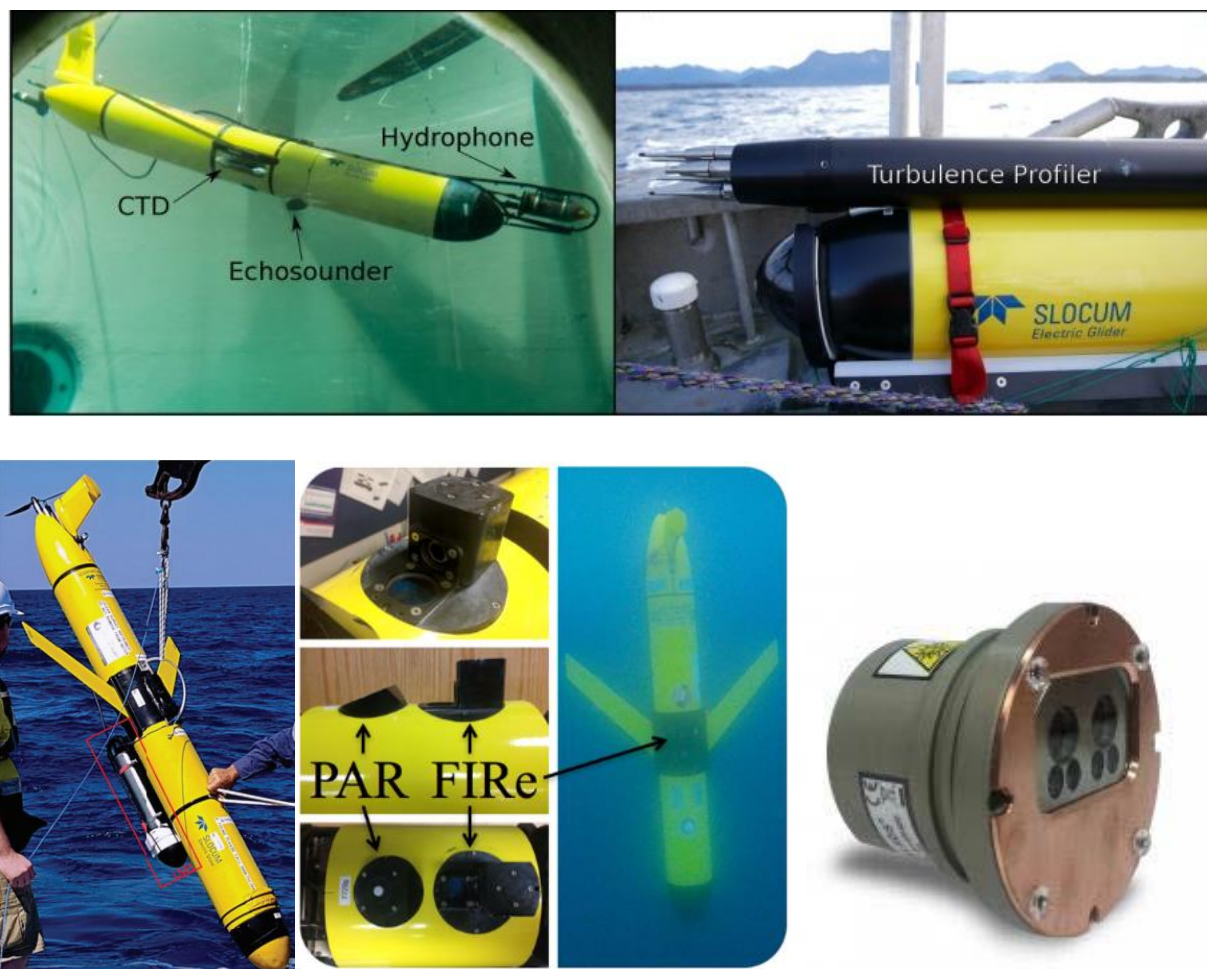


Рис. 5. Примеры полезной нагрузки на глайдере типа Slocum

В качестве примера модели группового применения АНПА планерного типа рассмотрим задачу, связанную с ЧС, в результате которой произошел разлив нефтяной жидкости на открытой акватории. Для того, чтобы предотвратить распространение нефтяного пятна, необходимо определить его границы. Размеры и интенсивность распространения зачастую зависят от параметров скорости ветра и подводных течений на акватории. Исходя из этого, авторами рассматривается два метода использования группы глайдеров: когда ветровое воздействие (или течение) смещает нефтяную область и случай, когда нефтяное пятно не подвергается сильным перемещениям в пределах акватории.

Допустим, что в акватории пространства R в точке $K \in R$ произошло столкновение двух нефтяных танкеров (рис. 8) или утечка с нефтяной платформы (рис. 9), в результате чего в акваторию было разлито определенное количество нефти, образующей нефтяное пятно $N \in R$. Со спутника или средств воздушного патрулирования имеется информация о видимых границах пятна N . Используя методы определения контура изображения, составим массив данных:

$$P(U, V, t) = \{Pn_1, Pn_2 \dots Pn_n\},$$

где n – количество точек контура; $Pn_n = [x_n, y_n]$ – двухмерная координата точки контура.

С учетом имеющихся данных о величине скорости ветра U и силы подводных течений V необходимо определить реальные 3D границы $H(U, V, t) = \{Ph_1, Ph_2 \dots Ph_n\}$ области нефтяного пятна N . Для этого введем величину, оценивающую общий потенциал загрязнения $\beta(t)$, с учетом того что $\beta(t) = 1$ означает, и глайдер в момент времени t находится в границе области нефтяного пятна, а $\beta(t) < \text{const}$ (допустим $\text{const} = 0,1$) описывает, что параметр загрязнения в момент времени t находится в норме (const).

Метод покрытия обнаружения контура нефтяного пятна основывается на работе следующего алгоритма (рис. 6):

1. Движение глайдера из точки старта в первую точку Pn_1 на основании ее координат и относительного курсового угла θ .

2. При достижении глайдером точки Pn_1 с определенным значением параметра $\beta(t) = 1$ система планирования глайдера формирует дополнительную точку Pe_1 с курсовым углом $\alpha = 45$ градусов, в результате чего глайдер начинает движение к точке Pe_1 .

3. В случае достижения глайдером позиции Pe_1 с учетом $\beta(t) \neq 0,1$ планировщик глайдера формирует следующую точку Pe_1 с соблюдением курсового угла α .

4. Если в процессе перемещения датчики полезной нагрузки определяют значение $\beta(t) = 0,1$, то система планирования движения глайдера оценивает, возможно ли вернуться в следующую позицию (к примеру, Pn_2), если это невозможно ввиду динамических характеристик глайдера, то в качестве целевой точки выбирается следующая Pn_3 . При $\beta(t) > 0,1$ алгоритм повторяется с п. 3.

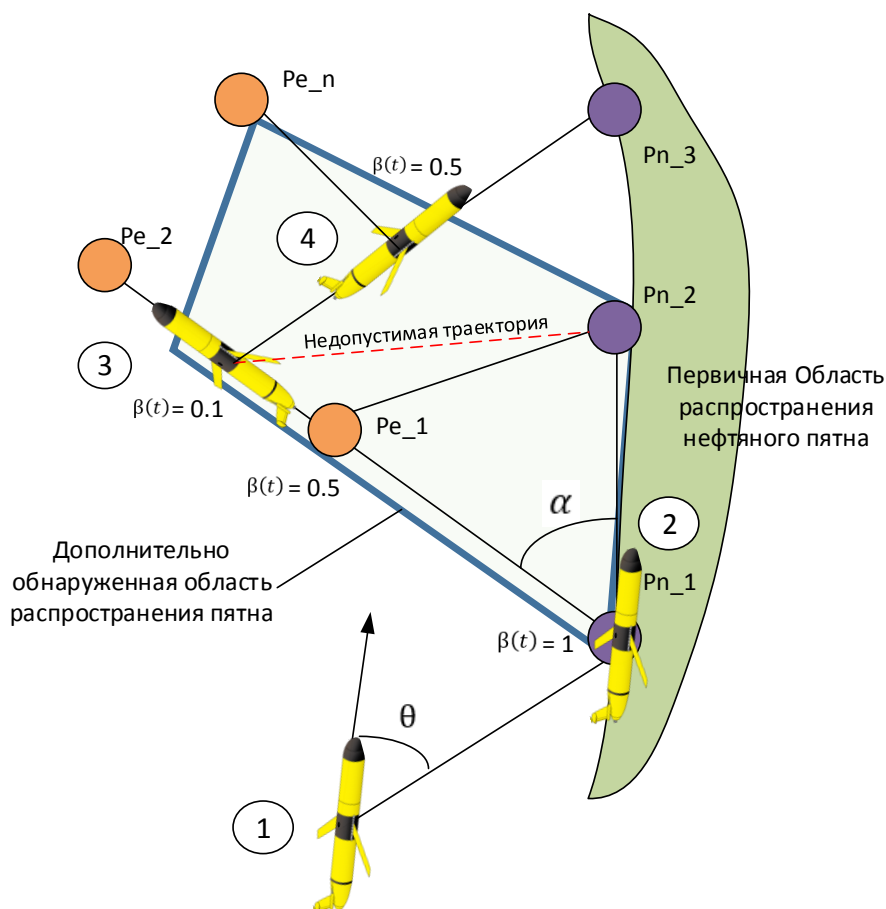


Рис. 6. Схематичное отображение работы адаптивного алгоритма планирования движения глайдера

Применение такого алгоритма покрытия контура области нефтяного пятна позволяет использовать группу подводных глайдеров для составления точных координат границы 3D области загрязнения.

После того как зона области пятна точно установлена или известно, что она не выходит за пределы территории $S=N+E_1+E_2$, то возможно применить сегментарное разделение области на J регионов равному количеству работающих в группе глайдеров. Таким образом, можно покрыть загрязненную территорию группой аппаратов и составить подробную 3D картину загрязненной области.

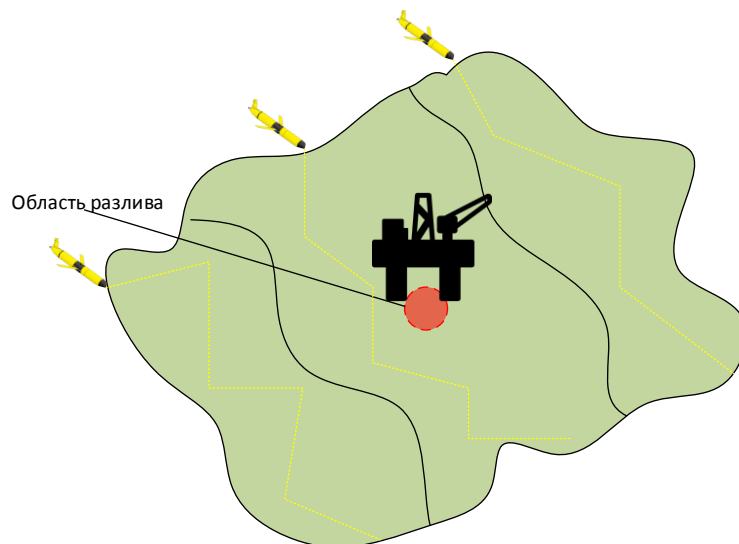


Рис. 9. Покрытие нефтяной области группой из трех глайдеров

В рамках инициативных работ, проведенных АО «НПП ПТ «Океанос» и Санкт-Петербургским государственным морским техническим университетом в 2020 г. в целях формирования первичного массива данных для обеспечения прогностического моделирования совместно с Санкт-Петербургским университетом ГПС МЧС России, была проведена серия испытаний подводного глайдера «Морская тень» [12–18].

В одной из заданных миссий перед аппаратом ставилась задача прохождения контура трех областей с последующим возвратом в начальную точку старта миссии. Данные о позиции аппарата в пространстве снимались с помощью системы гидроакустической навигации с длинной базой RedWave на борту аппарата и буям, расположенным в области проведения эксперимента. Результаты эксперимента изображены на рис. 10.

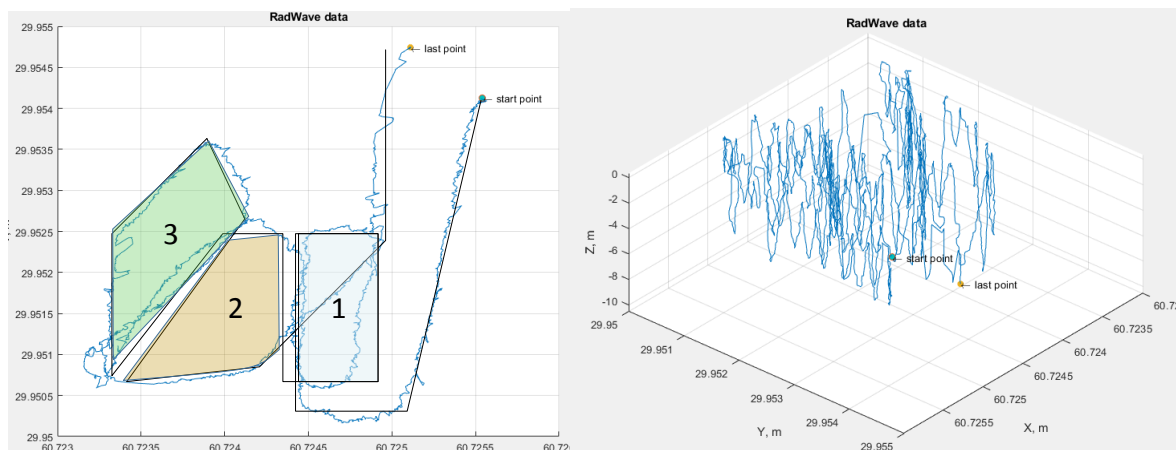


Рис. 10. Траектория перемещения подводного глайдера в ходе выполнения миссии по покрытию границ трех заданных территорий

В результате эксперимента видно, что аппарат прошёл заданные области с небольшим отклонением от целевой траектории. Максимальная глубина погружения составила 10 м, время выполнения миссии – 1,5 часа, пройденная дистанция во время эксперимента – 2 км.

Использованный в работе подход к анализу и мониторингу загрязнений акватории основан на групповом применении морских робототехнических систем АНПА планерного типа, 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 ликвидации аварийных разливов нефти с групповым применением глайдеров обосновывается целесообразность применения подводных глайдеров как таковых и рекомендация по их групповому применению в целях мониторинга ППОО [19–24], что позволяет существенно сократить время и стоимость работ с одновременным повышением эффективности.

Литература

1. Владимиров В.А. Разливы нефти: причины, масштабы, последствия // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2014.
2. Соромотин А.В. Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов, ликвидация последствий разливов // IACJ. 2021. № 1.
3. Паспорт программы инновационного развития ПАО «Газпром» до 2025 года // ГАЗПРОМ. URL: <https://www.gazprom.ru/f/posts/97/653302/prir-passport-2018-2025.pdf> (дата обращения: 11.06.2021).
4. Lonny Lippsett Gliders Tracked Potential for Oil to Reach the East Coast March 23, 2011. URL: <https://www.whoi.edu/oceanus/feature/gliders-tracked-potential-for-oil-to-reach-the-east-coast/> (дата обращения: 16.06.2021).
5. Berenshtein I., Paris C.B., Perlin N., Alloy M.M., Joye S.B., Murawski S. Invisible oil beyond the Deepwater Horizon satellite footprint. *Sci Adv.* 2020 Feb 12;6(7):eaaw8863. doi: 10.1126/sciadv.aaw8863. PMID: 32095516; PMCID: PMC7015680.
6. Howatt T. (1), Ross T. (2), Waterman S. (1). 1: University of British Columbia. 2: Institute of Ocean Sciences Ocean Gliders to Study Baleen Whale Habitat in Roseway Basin.
7. Fuchs H.L., Gerbi G.P. Seascape-level variation in turbulence- and wave- generated hydrodynamic signals experienced by plankton. *Prog. Oceanogr.* 2016. 141, 109–129.
8. Moore D. Is Emerald Basin, Scotian Shelf, Canada, a North Atlantic right whale (*Eubalaena glacialis*) feeding habitat? Honours Thesis, Dalhousie University. 2017. 1–63.
9. Russell-Cargill Louise M., Craddock Bradley S., Dinsdale Ross B., Doran Jacqueline G., Hunt Ben N., Hollings Ben. Using autonomous underwater gliders for geochemical exploration surveys // *The APPEA Journal*. 2018. 58. 367–380.
10. 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.
11. Carvalho F., Gorbunov M.Y., Oliver M.J., Haskins C., Aragon D., Kohut J.T., Schofield O. FIRE glider: Mapping in situ chlorophyll variable fluorescence with autonomous underwater gliders // *Limnol Oceanogr Methods*. 18. 2020. 531–545. URL: <https://doi.org/10.1002/lom3.10380> (дата обращения: 16.06.2021).
12. Маевский А.М., Гайкович Б.А. Разработка гибридных автономных необитаемых аппаратов для исследования месторождений углеводородов // *Вести газовой науки*. 2019. 2 (39). С. 29–40.
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: сб. трудов XIV Всерос. науч. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов*. 2016. Т. 2. С. 63–68.

14. Разработка автономных необитаемых подводных глайдеров / И.В. Кожемякин [и др.] // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2013. 3 (140). С. 31–39.
15. Маевский А.М., Назаркин А.С. Реализация автономного необитаемого подводного аппарата типа глайдер // Технические науки – от теории к практике. 2016. 9 (57). С. 119–124.
16. Разработка и исследование позиционно-траекторного регулятора для управления движением подводного глайдера / Б.В. Гуренко [и др.] // Инженерный вестник Дона. 2019. № 6 (57). pp. 20.
17. The Structure of Automatic Control Systems for Underwater Gliders Proceedings of the 4th International Conference on Control, Mechatronics and Automation. – ACM, 2016. С. 88–91. doi: 10.1145/3029610.3029640. Scopus Boris G., Kulchenko A., Maevskiy A., Beresnev M.
18. Перспективные платформы морской робототехнической системы и некоторые варианты их применения / И.В. Кожемякин [и др.] // Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2016. 1 (174). С. 59–77.
19. Гайкович Б.А., Занин В.Ю., Кожемякин И.В. Вопросы разработки морских робототехнических платформ на примере создания подводного аппарата типа «глайдер» // Перспективные задачи управления: сб. материалов XI Всерос. науч.-практ. конф. Симферополь. 2016. № 1.
20. Аппарат типа «глайдер»: реализация проекта статья // Корабел.ру. 2015. № 3 (29).
21. Маевский А.М., Печайко И.А., Турсенев С.А. Применение морских робототехнических комплексов для мониторинга и анализа потенциально опасных подводных объектов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 2 (58). С. 32–39.
22. Вялышев А.И. МЧС России и подводные потенциально опасные объекты // Технологии гражданской безопасности. 2017. № 1 (51).
23. Вялышев А.И., Большагин А.Ю. Гибридный контроль загрязнении акватории, обусловленных подводными потенциально опасными объектами // Технологии гражданской безопасности. 2018. № 3 (57).
24. Оценка вероятности чрезвычайных ситуаций с подводными радиационно опасными объектами Карского моря / А.Ю. Большагин [и др.] // Технологии гражданской безопасности. 2020. № 1 (63).

References

1. Vladimirov V.A. Razlivy nefi: prichiny, masshtaby, posledstviya // Strategiya grazhdanskoj zashchity: problemy i issledovaniya. 2014.
2. Soromotin A.V. Avarijnye razlivy nefi i nefteproduktov, likvidaciya posledstvij razlivov // IACJ. 2021. № 1.
3. Passport programmy innovacionnogo razvitiya PAO «Gazprom» do 2025 goda // GAZPROM. URL: <https://www.gazprom.ru/f/posts/97/653302/prir-passport-2018-2025.pdf> (data obrashcheniya: 11.06.2021).
4. Lonny Lippsett Gliders Tracked Potential for Oil to Reach the East Coast March 23, 2011. URL: <https://www.whoi.edu/oceanus/feature/gliders-tracked-potential-for-oil-to-reach-the-east-coast/> (data obrashcheniya: 16.06.2021).
5. Berenshtein I., Paris C.B., Perlin N., Alloy M.M., Joye SB, Murawski S. Invisible oil beyond the Deepwater Horizon satellite footprint. Sci Adv. 2020 Feb 12;6(7):eaaw8863. doi: 10.1126/sciadv.aaw8863. PMID: 32095516; PMCID: PMC7015680.
6. Howatt T. (1), Ross T. (2), Waterman S. (1). 1: University of British Columbia. 2: Institute of Ocean Sciences Ocean Gliders to Study Baleen Whale Habitat in Roseway Basin.
7. Fuchs H.L., Gerbi G.P. Seascape-level variation in turbulence- and wave- generated hydrodynamic signals experienced by plankton. Prog. Oceanogr. 2016. 141, 109–129.

8. Moore D. Is Emerald Basin, Scotian Shelf, Canada, a North Atlantic right whale (*Eubalaena glacialis*) feeding habitat? Honours Thesis, Dalhousie University. 2017. 1–63.
9. Russell-Cargill Louise M., Craddock Bradley S., Dinsdale Ross B., Doran Jacqueline G., Hunt Ben N., Hollings Ben. Using autonomous underwater gliders for geochemical exploration surveys // *The APPEA Journal*. 2018. 58. 367–380.
10. 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.
11. Carvalho F., Gorbunov M.Y., Oliver M.J., Haskins C., Aragon D., Kohut J.T., Schofield O. FIRE glider: Mapping in situ chlorophyll variable fluorescence with autonomous underwater gliders // *Limnol Oceanogr Methods*. 18. 2020. 531–545. URL: <https://doi.org/10.1002/lom3.10380> (data obrashcheniya: 16.06.2021).
12. Maevskij A.M., Gajkovich B.A. Razrabotka gibridnyh avtonomnyh neobitaemyh apparatov dlya issledovaniya mestorozhdenij uglevodorodov // *Vesti gazovoj nauki*. 2019. 2 (39). S. 29–40.
13. Maevskij A.M., Nazarkin A.S., Surov K.A. Issledovanie dvizheniya glajdera za schet upravlyаемого izmeneniya plavuchesti // *Informacionnye tekhnologii, sistemnyj analiz i upravlenie*. ITSAU – 2016: sb. trudov XIV Vseros. nauch. konf. molodyh uchenyh, aspirantov i studentov. 2016. T. 2. S. 63–68.
14. Razrabotka avtonomnyh neobitaemyh podvodnyh glajderov / I.V. Kozhemyakin [i dr.] // *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2013. 3 (140). S. 31–39.
15. Maevskij A.M., Nazarkin A.S. Realizatsiya avtonomnogo neobitaемого podvodnogo apparata tipa glajder // *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike*. 2016. 9 (57). S. 119–124.
16. Razrabotka i issledovanie pozicionno-traektorного регулятора dlya upravleniya dvizheniem podvodnogo glajdera / B.V. Gurenko [i dr.] // *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2019. № 6 (57). pp. 20.
17. The Structure of Automatic Control Systems for Underwater Gliders Proceedings of the 4th International Conference on Control, Mechatronics and Automation. – ACM, 2016. S. 88–91. doi: 10.1145/3029610.3029640. Scopus Boris G., Kulchenko A., Maevskiy A., Beresnev M.
18. Perspektivnye platformy morskoy robototekhnicheskoy sistemy i nekotorye varianty ih primeneniya / I.V. Kozhemyakin [i dr.] // *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2016. 1 (174). S. 59–77.
19. Gajkovich B.A., Zanin V.Yu., Kozhemyakin I.V. Voprosy razrabotki morskikh robototekhnicheskikh platform na primere sozdaniya podvodnogo apparata tipa «glajder» // *Perspektivnye zadachi upravleniya: sb. materialov XI Vseros. nauch.-prakt. konf. Simferopol'*. 2016. № 1.
20. Apparat tipa «glajder»: realizatsiya proekta stat'ya // *Korabel.ru*. 2015. № 3 (29).
21. Maevskij A.M., Pechajko I.A., Tursenev S.A. Primenenie morskikh robototekhnicheskikh kompleksov dlya monitoringa i analiza potencial'no opasnyh podvodnyh ob"ektov // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2021. № 2. (58). S. 32–39.
22. Vyalyshhev A.I. MCHS Rossii i podvodnye potencial'no opasnye ob"ekty // *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*. 2017. № 1 (51).
23. Vyalyshhev A.I., Bol'shagin A.Yu. Gibridnyj kontrol' zagryaznenii akvatorii, obuslovlennyh podvodnymi potencial'no opasnymi ob"ektami // *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*. 2018. № 3 (57).
24. Ocenka veroyatnosti chrezvychajnyh situacij s podvodnymi radiacionno opasnymi ob"ektami Karskogo morya / A.Yu. Bol'shagin [i dr.] // *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*. 2020. № 1 (63).