

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ АВТОНОМНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «МОБИЛЬНЫЙ БИОЛОГ» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ АНТАРКТИКИ

Д. В. Фофанов, М. А. Семькина

*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36,
e-mail: fofanov.dv@phystech.edu; semykina.m@ocean.ru*

В работе затрагиваются вопросы применения разрабатываемой автономной робототехнической системы для изучения влияния параметров динамики вод на плотность скоплений антарктического криля в традиционных районах. С помощью этой системы исследователи смогут выявлять потенциально уязвимые природно-экологические комплексы обитания антарктического криля, на основе данных о которых предлагаются решения по их сохранению и стабилизации. Автономная роботизированная система позволяет реализовать такой постоянный мониторинг для наблюдения за базовыми трофическими уровнями экосистем, последствиями изменений состояния морского льда и другими факторами окружающей среды Антарктики, влияющими на морскую экосистему. Применение предлагаемой методики позволяет проводить одновременные измерения экологических параметров с целью оценки взаимосвязи физических параметров морских течений и биологических процессов. При комплексировании данных системы судовыми и спутниковыми данными при постобработке может быть оценена реакция популяций антарктического криля на многофакторные стрессовые воздействия. Работа проведена по госзаданию № 0128-2021-0002 («Механизмы формирования циркуляционных структур Мирового океана: ключевые процессы в пограничных слоях и их роль в динамике океана на основе экспедиционных исследований, численного и лабораторного моделирования»).

Ключевые слова: морские течения, АЦТ, АНПА, спутниковая альтиметрия, морская робототехника, автоматизация исследований, экосистема, антарктический криль, *euphausia superba*

Введение

Разрабатываемая автономная роботизированная система, составленная из набора патентуемых в данный момент робототехнических комплексов, будет основываться на идее применения автономных (непривязанных) подводных аппаратов с борта судна-носителя. Так называемые разносредовые дроны («беспилотники», «автономники») стремительно находят применение во всех областях исследований и мониторинга, где важен площадной охват, в том числе и в морских изысканиях. Система, основанная на таких аппаратах, позволит производить комплексную оценку угроз современных климатических трендов наряду с их влиянием на экологические системы Южного океана. С помощью такой системы также будет возможно

осуществлять мониторинг биологической продуктивности, структуру и пространственно-геометрическую организацию антарктических пелагических экосистем. Таким образом, собранные с использованием системы данные позволяют проводить мониторинг комплексного воздействия океанической динамики на прогнозируемые объемы изъятия биоресурсов и других форм антропогенного влияния. Это обеспечивается на основе получаемых материалов в результате маршрутных проходов подводных аппаратов и судовых данных, собранных в комплексных морских экспедициях с их применением.

На распределение криля (рисунок 1) ежегодно влияет ряд факторов: динамика вод является детерминантой, определяющей цикличность распространения популяций криля, возможный обмен между популяциями, их восполнение и поддержание (Макаров и др., 1980). В свою очередь под динамикой вод подразумевается комплекс физических процессов, которые в разной степени вносят вклад в образование и пополнение крилевых скоплений. Первым фактором являются крупномасштабные течения, вторым – квазистационарные вихри.

Масленников В. В. считал, что основной ареал всей популяции криля приурочен к «высокоширотной модификации антарктических вод», а массовый перенос криля осуществляется на периферии приматериковых циклонических круговоротов, причем дальность миграции криля на север происходит по западным ветвям данных круговоротов и находится в прямой зависимости от дальности развития их ветвей (Масленников, 2003. № 74. С. 103–129).

Так, в пределах круговорота Уэдделла Марр обособлял друг от друга две группы криля: «криль течения Восточных ветров и криль уэдделловского происхождения» (Marr, 1962). Цикличность дрейфа обеих группировок в итоге возвращает скопления криля в благоприятные для воспроизводства места.

Макинтош описывал распределения популяций криля так: «Криль наиболее часто встречается в Антарктическом прибрежном течении, затем далее к северу от полуострова его количество убывает и вновь увеличивается на северной периферии круговорота Уэдделла» (Mackintosh, 1934. P. 65–160).

Среди биологических факторов, влияющих на формирование и численность популяций криля, можно выделить в первую очередь иррегулярность количества криля, подвергаемого переносу. Данный фактор влияет на длительность формирования скоплений криля конкретного возраста, а в зависимости от сезона еще и определенной плотности популяции, на которую воздействует второй по важности биологический фактор – динамика нереста криля. Третий фактор – продуктивность фитопланктона, а следовательно, доступность питания для криля, который во многом также зависит от стратификации вод. Изменения теплового потока и энергии вихрей могут повлиять на глубину смешанного слоя и стратификацию в АЦТ во многих областях Южного океана (Law et al., 2003).

Криль совершает вертикальные миграции в зависимости от времени суток, горизонтальных же миграций криль не осуществляет. Пассивный перенос на большие расстояния происходит благодаря течениям. При наличии мезомасштабных вихревых

возмущений поля течений криль задерживается в них и образует скопления, которые пополняются за счет наноса новых рачков (Priddle et al., 1988. P. 169–182).

Наибольшей изменчивостью характеризуются скопления криля в образованиях динамического характера. Самые масштабные концентрации особей криля, образующие устойчивые скопления, совпадают с меандрами течений и зонами фронтов, а также с квазистационарными топогенными круговоротами вод с затрудненным водообменом. Циркуляция в таких круговоротах обусловлена «внутренними вертикальными и поперечными движениями» (Афанасьев, Масленников, 1983. С. 38).

По результатам экспедиций 1965–1970 гг. Елизаров сделал вывод, что «массовые скопления криля... наблюдались в местах опускания вод, смежных с зонами интенсивного подъема» (Елизаров, 1971. Т. 79. С. 37). На относительно долгое время криль может захватываться такими круговоротами, здесь же происходит нерест, который в приостровных зонах идет особенно интенсивно. На продолжительный срок скопления криля могут задерживаться именно в приостровных зонах с обособленной циркуляцией вод (Kasatkina et al., 1997. Vol. 4. P. 195–204). Иччи (Ichii) также отмечает, что «Места скоплений криля характеризуются вялыми течениями с водоворотами в прибрежной зоне и отсекающим течением во фронтальной, что увеличивает время пребывания криля в этих местах» (Ichii et al., 1998. Part I. No. 8. P. 1240).

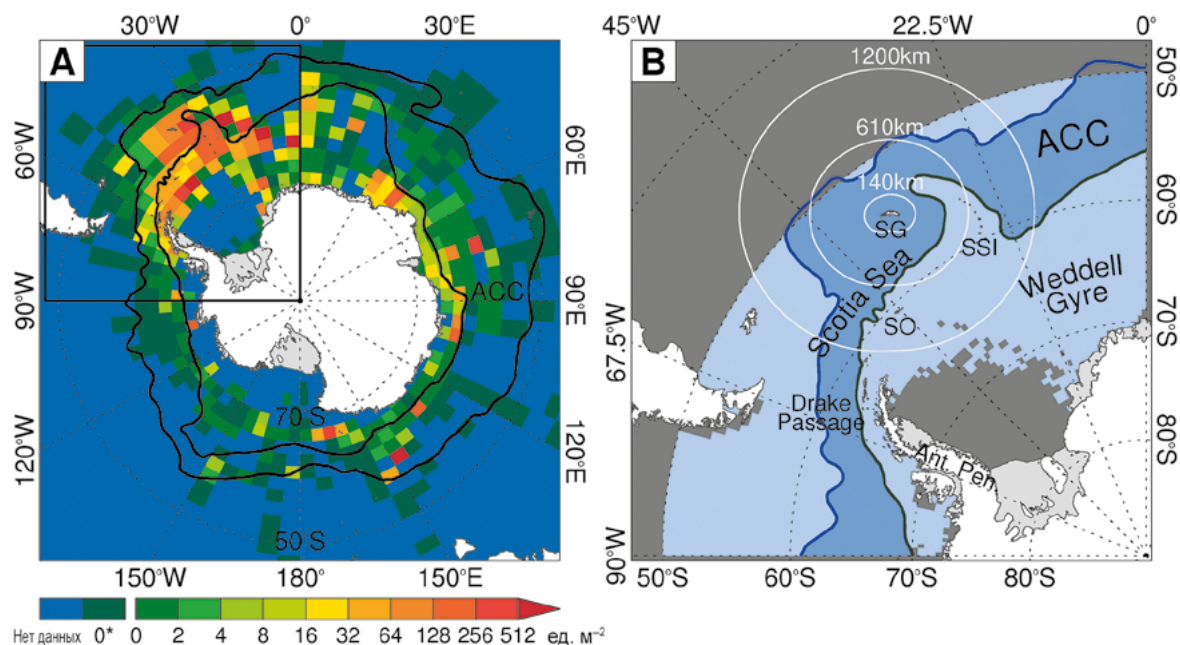


Рис. 1 – Распределение антарктического криля в 2013 году (Hill, Philips, Atkinson, 2013)

Антарктический криль является уникальным элементом экосистемы Антарктики. На сегодняшний день перспективы применения его в фармацевтической и пищевой промышленности до конца не выявлены. Несмотря на отдаленность района, уже в 1961 г. была организована научно-промысловая экспедиция АтлантНИРО на РТ «Муксун». Это была первая отечественная экспедиция в Атлантическую часть Антарктики (далее АЧА). Именно она положила начало активному изучению

антарктического криля и освоению его промысла. Рыбопоисковые экспедиции в АЧА состоялись в 1965–1968 гг. – НПС «Академик Книпович», БМРТ «Янтарь», СРТМ «Лангуст» и др. И уже с 1969 г. летом в районе постоянно работало от 5 до 20 крупнотоннажных промысловых судов Западного бассейна. С 1970 г. ведется круглогодичный промысел. Активность промысловой и промыслово-океанологической деятельности в АЧА, как и по другим промысловым районам, постоянно нарастала до начала 90-х годов. В последние годы экспедиционные исследования продолжаются в ограниченном объеме (по количеству экспедиций), но с применением современной измерительной и вычислительной техники, с учетом задач и требований не только национальных, но и международных.

Основная идея разрабатываемой системы

Особенность разрабатываемой системы для оценки влияния динамики вод на популяцию антарктического криля в том, что она сможет комплексировать данные с нескольких подводных аппаратов в единую базу. Подводный робот, входящий в такую систему, благодаря извлекаемым из океана данным, поможет внести весомый научный вклад в исследования влияния физических параметров течений на базовые трофические уровни экосистем в условиях Антарктики. Сами аппараты, которые составляют основную единицу системы, планируются к созданию на базе аппаратов-прототипов ИПМТ ДВО РАН (рисунок 2). При длине не более 3 м, диаметре порядка 40 см, аппараты имеют в своем составе акустический модем, спутниковый радиоканал, инерциальную систему навигации, гидролокатор бокового обзора и фото-видео комплекс. Обладают возможностью погружения до 4 км.

Система «Мобильный биолог» основана, по крайней мере, на одном таком обитаемом подводном аппарате. При этом, в зависимости от поставленных целей, система может быть масштабирована до двух–трех единиц АНПА (с применением «стайных» сетевых систем управления). В случае «стайной» работы системы между погруженными аппаратами производится периодическая гидроакустическая связь: обмен координатами, уровнем зарядов батарей и пеленгами на идентифицированные скопления элементов трофических цепей. Для применения специального океанологического оборудования (ADCP, CTD) аппараты представляют собой модульные конструкции.

Особенности разрабатываемой системы «МОБИ» («Мобильный биолог», “Mobile biologist”):

- 1) система состоит, по крайней мере, из одного АНПА (автономного обитаемого подводного аппарата) и может быть масштабирована до двух–трех единиц АНПА (с применением «стайных» сетевых систем управления);
- 2) подводный робототехнический комплекс способен обеспечить экспериментальный исследовательский вылов элементов трофических цепей с различных подводных горизонтов в конкретных географических точках океана;

3) данные при постобработке могут комплексироваться с данными спутниковой альтиметрии (АДТ) и, например, данными буев АРГО;

4) проработка корпусной, навигационной и движительно-рулевой систем аппарата основана на отечественной элементной базе;

5) подводные аппараты осуществляют непосредственный вылов продукции с применением бортовых сетей в заданной географической точке на требуемом горизонте глубины;

6) выбор и доработка бортового оборудования, инерциальной системы навигации и программно-управляющего обеспечения аппарата может базироваться на решениях-прототипах ДВО РАН;

7) запуски аппарата могут быть обеспечены с борта научно-исследовательских судов Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН;

8) с использованием предлагаемой методики может быть осуществлена оценка полученных аппаратом данных на предмет изучения гидрологических процессов и состояния морской толщи и ее структуры (CTD, ADCP), продуктивности и основных параметров экосистемы вод Антарктики в ее главных районах, а также океанографических фронтов и зон циркуляции.



Рис. 2 – Спуск на воду АНПА разработки ИПМТ ДВО РАН (на базе которых планируется к реализации система) с борта НИС «Академик Мстислав Келдыш» (Атлантическая часть Антарктики, 2020 г.)

Исследования с помощью разрабатываемой системы «МОБИ» могут проводиться в тесной взаимосвязи специалистов в области гидрофизики и морской биологии. Такой междисциплинарный подход обусловит специализированное инструментальное (помимо обеспечивающей фото- и видеоаппаратуры) оснащение робота-носителя, который сможет стать универсальным средством диагностики угрозы для популяции антарктического криля (*euphausia superba*).

С помощью системы «МОБИ» могут выявляться потенциально уязвимые природно-климатические комплексы, в которых находятся основные скопления антарктического криля. При планировании исследований с использованием рассматриваемой системы обеспечивается одновременность измерения экологических, физических и биологических переменных с целью оценки их взаимосвязи в комплексных динамических процессах. Например, может быть проведена оценка реакции антарктического криля на многофакторные стрессовые параметры. С другой стороны, при комплексировании получаемых системой данных судовыми или спутниковыми данными (дистанционное зондирование), система может давать эффект увеличения достоверности результатов подводных полевых исследований за счет синхронизации сбора данных по времени и пространству во время проведения исследований или при их постобработке. В этом случае можно оценивать как прямое влияние изменения окружающей среды на морские водоросли, фито- и зоопланктон, так и косвенное, возникающее из-за количественной и качественной нестационарности добычи.

Примечательно то, что ведущие зарубежные океанологические институты также движутся в область применения АНПА в подводных биологических исследованиях в Антарктике.

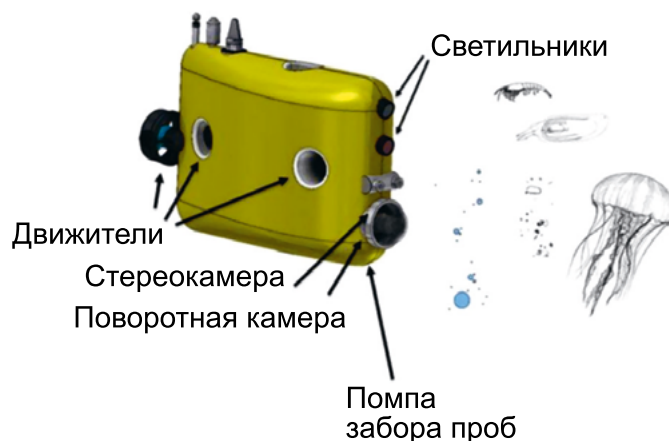


Рис. 3 – Необитаемый аппарат «Мезобот», США
(Официальный сайт Института океанографии Вудсхол)

Таким аналогом по функциональной автономности, назначению и географии применения является разработанный подводный аппарат “Mesobot” («Мезобот») Вудсхольского Института Океанографии (США) (рисунок 3). АНПА «Мезобот», дорабатывающийся в настоящее время, предназначен для изучения мезопелагических

процессов. При этом он оснащен фото- и видеокомплексом, группой подводных светильников, что позволяет ему наблюдать *in situ* за мезопелагическими животными, отслеживать вертикальный дрейф взвешенных частиц и пузырей. Автономность подводного аппарата «Мезобот» превышает полный день, в связи с чем наблюдения за крилем, а также другими видами животных, могут быть длительными, захватывая всю полноту динамики миграций частиц. Робот оснащен пробоотборной насосной подсистемой с фильтром для сбора геохимических образцов, планктонных проб, микробоорганизмов или морской воды.

Разработка «Мезобот» является результатом общих усилий нескольких научных центров: Института Океанографии Вудсхола (WHOI), Исследовательского института океана Монтерей-Бей (MBARI), Стэнфордского университета и Техасского университета в долине Рио-Гранде. Проект по разработке и созданию аппарата финансируется Национальным научным фондом, а первые ходовые испытания были проведены в 2019 г. Интересно, что к исследованиям сумеречной зоны океана в последнее время проявляется все больший интерес. Например, широкую популяризаторскую кампанию изучения распространения биологических цепочек с помощью роботизированной техники класса «Мезобот» осуществляет Джеймс Кэмерон. Он выполняет основную роль в продвижении идеи Института Океанографии Вудсхола во время международных конференций на широкую аудиторию.

При всех преимуществах аппарат «Мезобот» имеет ряд недостатков – аппарат не рассчитан на работу в сети или системе («стайное» решение для подводных аппаратов) себе подобных комплексов с целью более широкого географического охвата и одновременных исследований. Также «Мезобот» не подразумевает возможности захвата биоорганики экспериментальными сетями.

Выводы

Применение создаваемой роботизированной системы «МОБИ» позволит оценить не только комплексную угрозу современных климатических трендов, но и влияние этих трендов на биологическую продуктивность Южного океана и пространственно-структурную организацию пелагических экосистем Антарктики. Так как оценка изъятия биоресурсов (криля) определяется на основе оценок биомассы, полученных при выполнении стандартизированных тралово-акустических съемок, которые дороги и в настоящее время проводятся редко, применение измерений с помощью АНПА-системы «МОБИ» позволит опосредованно оценивать потенциальную возможность изъятия биологических ресурсов, позволяя существенно снизить издержки.

Благодарности. Работа проведена по госзаданию № 0128-2021-0002 («Механизмы формирования циркуляционных структур Мирового океана: ключевые процессы в пограничных слоях и их роль в динамике океана на основе экспедиционных исследований, численного и лабораторного моделирования»).

Список литературы

1. *Афанасьев Б. В., Масленников В. В.* Океанологические условия летом 1982 г. в южной части моря Скоша – северной части моря Уэдделла. М.: ВНИРО, 1983. С. 38.
2. *Елизаров А. А.* Особенности динамики вод в местах массовых скоплений криля (*Euphausia superba*) // Труды ВНИРО. 1971. Т. 79. С. 31–38.
3. *Макаров Р. Р., Масленников В. В., Солянкин Е. В., Шевцов В. В.* Особенности количественного распределения и условия формирования скоплений *Euphausia superba* Dana на примере некоторых районов Атлантического и Тихоокеанского секторов Южного океана // Тр. ВНИРО: Биологические ресурсы Антарктического криля. М.: ВНИРО, 1980. С. 114–145.
4. *Масленников В. В.* Дифференциация вод Антарктики с учетом их воздействия на распределение некоторых видов планктона и рыб // Антарктика. 1995. Вып. 33. С. 43–54.
5. *Масленников В. В.* О роли климатических колебаний в распределении антарктического криля (*euphausia superba dana*) и изменчивости популяций некоторых его основных потребителей // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 74. СПб.: Гидрометеиздат, 2003. С. 103–129.
6. *Масленников В. В.* Современные представления о крупномасштабной циркуляции вод Антарктики и пути массового дрейфа криля // Тр. ВНИРО: Биологические ресурсы Антарктического криля. М.: ВНИРО, 1980. С. 8–27.
7. Официальный сайт Института океанографии Вудсхол // <https://www.whoi.edu/what-we-do/explore/underwater-vehicles/auvs/mesobot/> (дата обращения: 14.11.2022).
8. *Hill S., Philips T., Atkinson A.* Potential Climate Change Effects on the Habitat of Antarctic Krill in the Weddell Quadrant of the Southern Ocean, PLoS One. 2013.
9. *Ichii T., Katayama K., Obitsu N., Shii H.* Occurrence of antarctic krill (*Euphausia Superba*) concentrations in the vicinity of the south shetland islands: relationship to environmental parameters // Deep sea research. Part I: Oceanographic research papers. 1998. No. 8. P. 1235–1262.
10. *Kasatkina S. M., Shnar V. N., Polishchuk M. I., Abramov A. M., Sushin V. A.* Assessment of krill flux factors in waters of the South Orkney Islands during summer 1996 // CCAMLR Science. 1997. Vol. 4. P. 195–204.
11. *Law C. S., Abraham E. R., Watson A. J., Liddicoat M. I.* Vertical eddy diffusion and nutrient supply to the surface mixed layer of the Antarctic Circumpolar Current // Journal of Geophysical Research-Oceans. 2003. 108 (C8). <https://doi.org/10.1029/2002JC001604>.
12. *Mackintosh N. A.* Distribution of the macroplankton in the Atlantic sector of Antarctic // Discovery Rep. 1934. Vol. IX. P. 65–160.
13. *Marr J.W.S.* The natural history and geography of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) // Discovery Rep. 1962. Vol. 32.
14. *Priddle J., Croxall J., Everson I., Heywood R. B., Murphy E. J., Prince P. A., Sear C. B.* Large-Scale Fluctuations in Distribution and Abundance of Krill – A Discussion of Possible Causes. In: Antarctic Ocean and Resources Variability. Berlin, Springer-Verlag, 1988. P. 169–182.

Статья поступила в редакцию 16.11.2022, одобрена к печати 21.03.2023.

Для цитирования: *Фофанов Д. В., Семькина М. А.* Использование разрабатываемой автономной робототехнической системы «Мобильный биолог» для исследования экосистемы Антарктики // Океанологические исследования. 2023. № 51 (1). С. 162–171. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(1\).8](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(1).8).

**USE OF THE DEVELOPED AUTONOMOUS ROBOT SYSTEM
“MOBILE BIOLOGIST” FOR STUDYING
THE ANTARCTIC ECOSYSTEM**

D. V. Fofanov, M. A. Semykina

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,
e-mail: fofanov.dv@phystech.edu; semykina.m@ocean.ru*

The paper addresses the issues of using the developed autonomous robotic system to study the influence of water dynamics parameters on the density of Antarctic krill accumulations in traditional areas. With the help of this system, potentially vulnerable natural and ecological habitats of Antarctic krill can be identified, based on the data from which solutions for their conservation and stabilization can be proposed. An autonomous robotic system allows for such continuous monitoring to observe the basic trophic levels of ecosystems, the effects of changes in sea ice conditions, and other Antarctic environmental factors affecting the marine ecosystem. The application of the proposed method allows simultaneous measurements of environmental parameters in order to assess the relationship between the physical parameters of sea currents and biological processes. By integrating the system data with ship and satellite data in post-processing, the response of Antarctic krill populations to multifactorial stresses can be assessed. The work was carried out according to the state assignment No. 0128-2021-0002 (“Mechanisms for the formation of the circulation structures of the World Ocean: key processes in the boundary layers and their role in ocean dynamics based on expeditionary studies, numerical and laboratory modeling”).

Keywords: sea currents, ACC, AUV, satellite altimetry, marine robotics, research automation, ecosystem, antarctic krill, euphausia superba

Acknowledgement: The work was carried out according to state task No. 0128-2021-0002 (“Mechanisms of formation of circulation structures of the World Ocean: key processes in boundary layers and their role in ocean dynamics based on expeditionary research, numerical and laboratory modeling”).

References

1. Afanas'ev, B. V. and V. V. Maslennikov, 1983: *Okeanologicheskie usloviya letom 1982 g. v yuzhnoj chasti morya Skosha – severnoj chasti morya Ueddella (Oceanological conditions in the summer of 1982 in the southern part of the Scotia Sea – the northern part of the Weddell Sea)*. Moscow, VNIRO, 38 p.
2. Elizarov, A. A., 1971: Osobennosti dinamiki vod v mestax massovykh skoplenij krilya. (Euphausia superba) (Peculiarities of water dynamics in places of mass concentrations of krill (Euphausia superba)). *Trudy VNIRO*, Moscow, **79**, 31–38.
3. Hill, S., T. Phillips, and A. Atkinson, 2013: Potential Climate Change Effects on the Habitat of Antarctic Krill in the Weddell Quadrant of the Southern Ocean, *PLoS One*.
4. Ichii, T., K. Katayama, N. Obitsu, and H. Shii, 1998: Occurrence of antarctic krill (Euphausia Superba) concentrations in the vicinity of the south shetland islands: relationship to

- enviromental parameters. *Deep sea research, Part I: Oceanographic research papers*, **8**, 1235–1262.
5. Kasatkina, S. M., V. N. Shnar, M. I. Polishchuk, A. M. Abramov, and V. A. Sushin, 1997: Assesment of krill flux factors in waters of the South Orkney Islands during summer 1996. *CCAMLR Science*, **4**, 195–204.
 6. Law, C. S., E. R. Abraham, A. J. Watson, and M. I. Liddicoat, 2003: Vertical eddy diffusion and nutrient supply to the surface mixed layer of the Antarctic Circumpolar Current. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, **108** (C8), <https://doi.org/10.1029/2002JC001604>.
 7. Mackintosh, N. A., 1934: Distribution of the macroplankton in the Atlantic sector of Antarctic. *Discovery Rep.*, **9**, 65–160.
 8. Makarov, R. R., V. V. Maslennikov, E. V. Solyankin, and V. V. Shevczov, 1980: *Osobennosti kolichestvennogo raspredeleniya i usloviya formirovaniya skoplenij Euphausia superba Dana na primere nekotoryx rajonov Atlanticheskogo i Tixookeanskogo sektorov Yuzhnogo okeana. Biologicheskie resursy` Antarkticheskogo krilya (Peculiarities of Quantitative Distribution and Formation Conditions of Euphausia superba Dana Clusters on the Example of Some Regions of the Atlantic and Pacific Sectors of the Southern Ocean)*. Moscow, VNIRO, 114–145.
 9. Marr, J. W. S., 1962: The natural history and geography of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana). *Discovery Rep.*, 32.
 10. Maslennikov, V. V., 1995: Differenciaciya vod Antarktiki s uchetom ix vozdejstviya na raspredelenie nekotoryx vidov planktona i ry`b (Differentiation of Antarctic waters, taking into account their impact on the distribution of certain species of plankton and fish). *Antarktika*, **33**, 43–54.
 11. Maslennikov, V. V., 2003: O roli klimaticheskix kolebanij v raspredelenii antarkticheskogo krilya (*euphausia superba* dana) i izmenchivosti populyacij nekotoryx ego osnovnyx potrebitelej (On the role of climatic fluctuations in the distribution of Antarctic krill (*euphausia superba* dana) and population variability of some of its main consumers). *Problemy` Arktiki i Antarktiki*. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat, 74, 103–129.
 12. Maslennikov, V. V., 1980: Sovremennye predstavleniya o krupnomasshtabnoj cirkulyacii vod Antarktiki i puti massovogo drejfa krilya (Modern ideas about the large-scale circulation of Antarctic waters and the mass drift of krill. Biological resources of Antarctic krill). *Biologicheskie resursy Antarkticheskogo krilya*, Moscow, VNIRO, 8–27.
 13. Oficial`nyj sajt Instituta okeanografii Vuds Houl (*Woods Hole Oceanographic Institut*), <https://www.whoi.edu/what-we-do/explore/underwater-vehicles/auvs/mesobot/> (last accessed in 14.11.2022).
 14. Priddle, J., J. Croxall, I. Everson, R. B. Heywood, E. J. Murphy, P. A. Prince, and C. B. Sear, 1988: Large-Scale Fluctuations in Distribution and Abundance of Krill – A Discussion of Possible Causes. In: *Antarctic Ocean and Resources Variability*, Berlin, Springer-Verlag, 169–182.

Submitted 16.11.2022, accepted 21.03.2023.

For citation: Fofanov, D. V. and M. A. Semykina, 2023: Use of the developed autonomous robot system “Mobile Biologist” for studying the Antarctic ecosystem. *Journal of Oceanological Research*, **51** (1), 162–171, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(1\).8](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(1).8).