

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 59.082.2 : 59.087

ББК 28.6с

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-56-64>



Автоматизированная система для содержания литоральных моллюсков с имитацией приливно-отливного цикла

Козминский Е.В.✉, Лезин П.А.

ФГБУН Зоологический институт Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия
✉ ekozminsky@gmail.com

Аннотация. Описан действующий прототип автоматизированной лабораторной установки с имитацией приливно-отливного цикла для содержания литоральных моллюсков. В настоящий момент установка включает две группы из пяти аквариумов. Во время прилива вода самооттеком поступает в аквариумы из общего водонапорного бака; во время отлива самооттеком сливается в общий водосборный бак. Перекачка воды между баками осуществляется специальной помпой. Блок управления установки состоит из объединенных в сеть платы Arduino Mega и двух плат Arduino Nano. С платой Arduino Mega связаны системы контроля параметров окружающей среды, регистрации данных, автоматической замены морской воды и программно реализованная система самопроверки и принятия решений. Одна из плат Arduino Nano отвечает за реализацию приливно-отливного цикла; другая — за дистанционный контроль и управление установкой с помощью SMS. Результаты пилотных экспериментов свидетельствуют о существенном снижении трудозатрат при содержании моллюсков. Разработанная установка может быть использована для содержания широкого спектра литоральных животных: при изучении их биологии, оценке воздействия факторов внешней среды, биотестировании и в образовательных целях.

Ключевые слова: литоральные моллюски, содержание, разведение, автоматизация, цифровые технологии

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Козминский Е.В., Лезин П.А. Автоматизированная система для содержания литоральных моллюсков с имитацией приливно-отливного цикла. *Арктика и инновации*. 2024;2(1):56–64. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-56-64>

Automated system for intertidal mollusk keeping with tidal cycle imitation

Kozminsky E.V.✉, Lezin P.A.

Zoological institute of RAS, St. Petersburg, Russia
✉ ekozminsky@gmail.com

Abstract. The article describes a working prototype of an automated laboratory setup for intertidal mollusk keeping with tidal cycle imitation. The setup currently consists of two groups of five aquariums. At high tide, water

is gravity fed into the aquariums from a common water tank; at low tide, water is gravity drained into a common collection tank. Water is transferred between the tanks using a special pump. The control unit consists of a networked Arduino Mega board and two Arduino Nano boards. The Arduino Mega board is responsible for the environmental monitoring systems, data logging, and automatic seawater change, as well as a software-based self-checking and decision-making system. One of the Arduino Nano boards is responsible for realizing the tidal cycle; the other board is responsible for the remote monitoring and control of the setup via SMS. The results of pilot experiments indicate a significant reduction in labor costs in mollusk keeping. The developed setup can be used to keep a wide range of intertidal animals for studying their biology, assessing the impact of environmental factors, and biotesting, as well as for educational purposes.

Keywords: intertidal mollusks, keeping, breeding, automation, digital technologies

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Kozminsky E.V., Lezin P.A. Automated system for intertidal mollusk keeping with tidal cycle imitation. *Arctic and Innovations*. 2024;2(1):56–64. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-56-64>

Введение

При проведении научных исследований, требующих содержания животных в лабораторных условиях, нередко приходится сталкиваться с необходимостью поддержания заданных условий среды. Хороший пример, иллюстрирующий это положение, — изучение наследования признаков окраски раковины у брюхоногих моллюсков. Классическим объектом для проведения подобных исследований являются наземные гастроподы, т.к. их относительно просто содержать в лабораторных условиях [1–5]. Однако разнообразие признаков окраски и число задействованных пигментов у изученных в генетическом отношении наземных моллюсков относительно невелико. В связи с этим большой интерес представляет изучение наследования признаков окраски у морских переднежаберных моллюсков и, в частности, у представителей рода *Littorina*, для которых характерно значительно более высокое разнообразие признаков и задействованных пигментов [6–8]. Длительный срок полового созревания в районах с бореальным климатом (3 года [9]) делает крайне сложной постановку классических экспериментов по скрещиванию литторин в естественных условиях: длительность выращивания трех поколений (P , F_1 и F_2) составляет около 10 лет. Поэтому ранее при изучении наследования признаков окраски раковины у этих моллюсков использовалась схема «мать — потомство», которая позволила сформулировать и обосновать ряд гипотез о наследовании признаков окраски у этих моллюсков [3–5, 10, 11]. В то же время часть вопросов осталась нерешенной, т.к. для этого необходима постановка классических экспериментов по скрещиванию моллюсков различных морф.

В ходе проведенных нами исследований было установлено, что в лабораторных условиях за счет «выпадения» зимних периодов и оптимизации условий содержания сроки полового созревания моллюсков можно существенно сократить и уменьшить общую продолжительность исследования примерно до 3-х лет. Однако три года — это также достаточно серьезный срок, т.к. содержание литторин в лабораторных условиях связано со значительными методическими сложностями: необходимостью имитации приливо-отливного цикла, регулярной заменой морской воды, поддержанием оптимальной температуры, режима освещения т.д. Вышеупомянутые проблемы могут быть решены за счет использования современных средств автоматизации, в частности использования микропроцессорной техники. К настоящему моменту нами создан действующий прототип лабораторной установки для содержания моллюсков, описанию которого посвящена настоящая работа.

К настоящему моменту нами создан действующий прототип лабораторной установки для содержания моллюсков, описанию которого посвящена настоящая работа.

Материалы и методы

Работы по созданию установки выполнены на базе Беломорской биологической станции Зоологического института РАН «Картеш» (Кандалакшский залив, Белое море). Разработка и тестирование установки проводились в период с 2019 по 2023 год. Часть элементов установки (аквариумы из оргстекла, светильники, клапаны, переходники

и некоторые другие) была изготовлена в мастерских биостанции; остальное оборудование и расходные материалы приобретены в готовом виде. Для создания деталей аквариумов и механических элементов электронных устройств широко использовались технологии 3D-печати, что обеспечило значительную экономию времени и ресурсов по сравнению с обычными слесарными и токарно-фрезерными работами. Для изготовления деталей использовали биологически инертные полимеры PLA и PETG.

Аквариумы и прочее оборудование были смонтированы в специальном термостатированном помещении на биостанции.

В 2021 и 2022 гг., одновременно с выполнением работ по совершенствованию и модернизации установки, нами были проведены пилотные эксперименты по использованию установки для содержания трех видов литоральных моллюсков: *Littorina saxatilis*, *L. obtusata* и *L. fabalis*. Сбор моллюсков осуществляли на литорали в окрестностях биостанции. Для опытов были отобраны особи с диаметром раковины $3,0 \pm 0,2$ мм (измерения производились под биноклем МБС-10 с помощью окуляр-микрометра). В каждом аквариуме содержалось по 20–25 экз. моллюсков. Кормом служили талломы бурых водорослей *Fucus vesiculosus* и микрообрастания на поверхности помещенных в аквариумы мелких камней. Мы протестировали три различных варианта сочетания субстратов: только водоросли, только камни и водоросли + камни. Мы старались поддерживать в аквариальной температуре $20,0 \pm 2,0$ °C, но ввиду одновременного проведения опытов по использованию различных способов охлаждения помещения реальная температура менялась в более широких пределах. Для содержания животных использовали морскую воду с нормальной беломорской соленостью (24–26 ‰). Для освещения каждой группы аквариумов использовали по две люминесцентные лампы ЛБ40. Продолжительность «дневного» периода составляла 14 ч. Поскольку литторины наиболее интенсивно растут в первой половине лета, в период белых ночей, для имитации естественного освещения в аквариальной была постоянно включена дополнительная лампа ЛБ40. Продолжительность осушки (фаза отлива) составляла 4 часа в сутки. В целом, насколько это возможно, мы ста-

рались придерживаться разработанной нами ранее методики [10].

Результаты и обсуждение

В настоящий момент установка включает в себя две группы из пяти аквариумов. Каждый аквариум представляет собой параллелепипед из оргстекла толщиной 4 мм и размером 20×20×12 см (рис. 1). Для того чтобы избежать выползания моллюсков, аквариумы закрыты крышками с круглым отверстием, затянутым сеткой с размером ячеей 1,0 мм. Крышки фиксируются защелками; посадочные места крышек снабжены неопреновым уплотнением. На крышках предусмотрены установочные места для аэролифтов, датчиков и другого оборудования. В нижней части каждого аквариума расположен патрубок, подключенный к шлангу для подачи и слива воды во время приливно-отливного цикла. Патрубки снабжены съемными фильтрами с размером ячеей 1,0 мм. Морская вода в каждую группу аквариумов (рис. 2а; 3) поступает/сливается по общему шлангу, ограниченному двумя клапанами оригинальной конструкции (верхним и нижним), представляющими собой стандартные пластиковые шаровые вентили, которые открываются с помощью сервоприводов MG995 с крутящим моментом до 10 кг·см (рис. 2б). Во время прилива вода самотеком поступает в аквариумы из общего водонапорного бака; во время отлива самотеком сливается в общий водосборный бак. Для освещения каждой группы аквариумов используются светильники с двумя люминесцентными лампами ЛБ40. Для аэрации воды в аквариумах применяется многоканальный компрессор.

Для автоматизации процесса реализации приливно-отливного цикла и поддержания заданных условий среды мы использовали аппаратно-программную платформу Arduino. Микроконтроллеры этого типа адаптированы для использования самым широким кругом пользователей; для них разработано огромное количество датчиков и исполнительных механизмов. Кроме того, в интернет-сообществе представлено большое количество программ, предназначенных для управления различными периферийными устройствами.

На платформе Arduino разработано большое количество плат как общего назначения, так

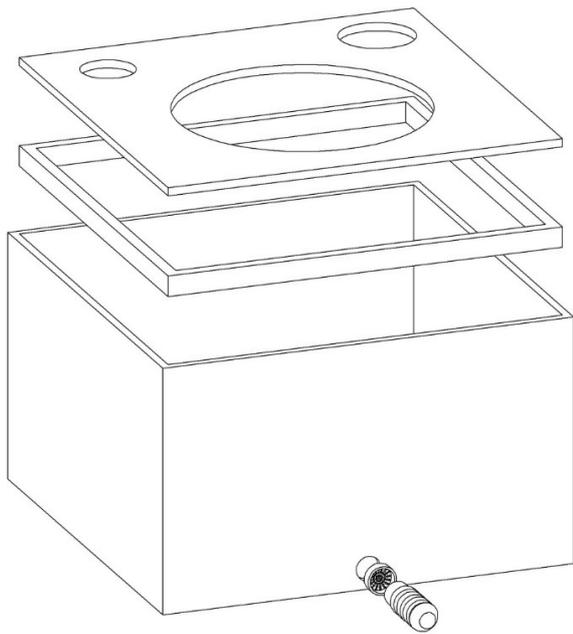


Рис. 1. Устройство и внешний вид отдельного аквариума
Fig. 1. Design and appearance of an aquarium



Рис. 2. Группа аквариумов в ходе эксперимента (a) и сконструированные нами клапаны (b)
Fig. 2. Group of aquariums during the experiment (a) and valves designed by the authors (b)

и узкоспециализированных, ориентированных на решение конкретных задач. Выбор конкретной платы определяется типом и количеством связанных с ней исполнительных устройств, а также сложностью программы. В нашем случае мы использовали платы двух типов: Arduino Nano и Arduino Mega. Подключение исполнительных устройств к плате происходит либо напрямую (если потребляемый ток не превышает 40 мА), либо опосредованно — через электромагнитные или твердотельные реле.

Наиболее важной частью установки является блок управления (рис. 3, БУ), в основу которого положены плата Arduino Mega и две платы Arduino Nano, объединенные в сеть через последовательные порты и обменивающиеся информацией с помощью UART-интерфейса. С платой Arduino Mega связаны система контроля параметров среды и блок принятия решений, система регистрации данных на основе модуля микро-SD-карты и система замены морской воды. Одна из плат Arduino Nano отвечает

за реализацию приливно-отливного цикла; другая — за дистанционный контроль и управление с помощью SMS. В блок управления входят также часы реального времени DS3231 и преобразователи напряжения LM2596, обеспечивающие питание отдельных элементов.

В момент начала отлива плата Arduino Nano замыкает электромагнитное реле SRD-05VDC-SL-C, которое подает напряжение на сервопривод и открывает нижний клапан; вода из аквариумов сливается в водосборный бак (рис. 3, ВСБ). Сходным образом в момент начала прилива открывается верхний клапан, и морская вода поступает в аквариумы из водонапорного бака (рис. 3, ВНБ). Перекачка воды из водосборного в водонапорный бак осуществляется с помощью погружного насоса DC30E, также подключенного через электромагнитное реле. Уровень воды в аквариумах и водонапорном баке контролируется с помощью поплавковых датчиков уровня воды, подключенных к управля-

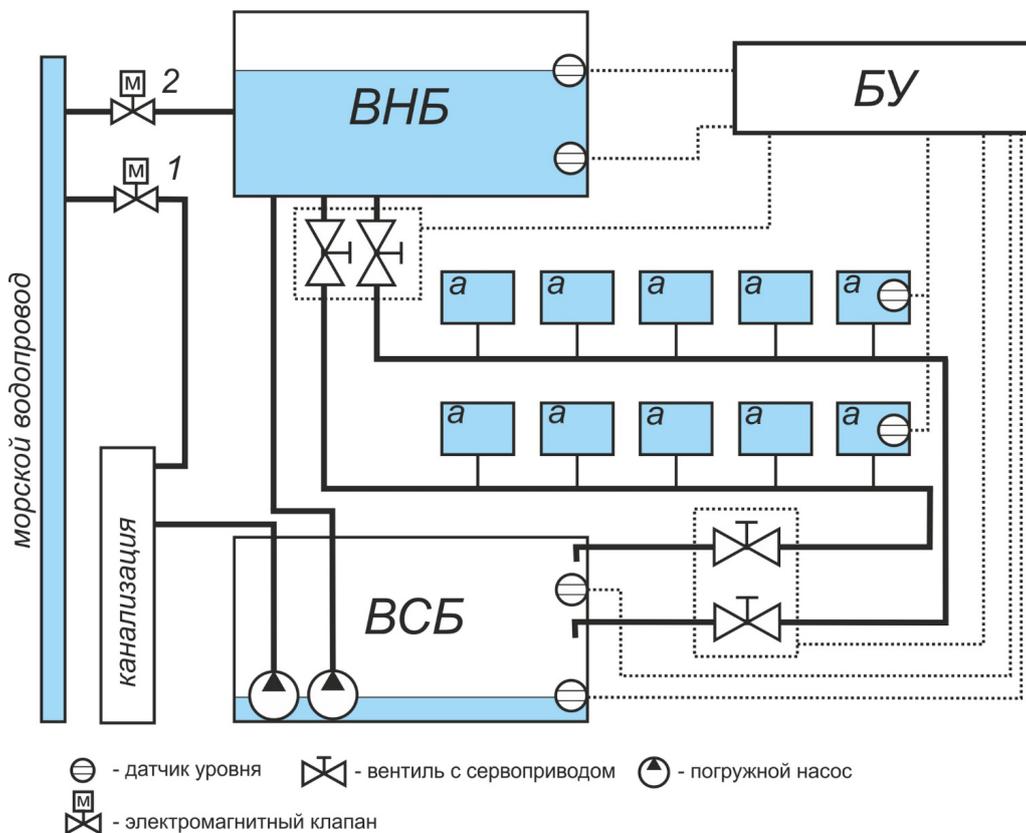


Рис. 3. Блок-схема аквариальной установки

Обозначения: а — аквариумы; БУ — управляющий блок; ВНБ — водонапорный бак; ВСБ — водосборный бак.

Fig. 3. Block diagram of the aquarium setup

Abbreviations: а — aquariums; БУ — control unit; ВНБ — water tank; ВСБ — water collection tank.

щей плате Arduino Nano. Количество воды, поступающей в аквариумы, определяется двумя датчиками уровня (верхним и нижним), расположенными в водонапорном баке. Количество воды, сливаемой из аквариумов, регулируется датчиком уровня, расположенным в последнем аквариуме каждой группы.

Контроль параметров среды осуществляется платой Arduino Mega. Температура воды и воздуха измеряется цифровыми датчиками DC18B20 в герметичном и обычном исполнении, соответственно. Для измерения влажности в аквариальной используются датчики DHT11 и DHT22. Для охлаждения аквариальной и поддержания заданной влажности воздуха предполагалось использовать наружный воздух, закачиваемый втяжным вентилятором, подключенным к управляющей плате через модуль твердотельного реле (5B DC/220V AC). Однако в процессе эксплуатации установки выяснилось, что обычной системы втяжной вентиляции недостаточно для поддержания в аквариальной оптимальной температуры (около 20 °C). Поэтому в дальнейшем для поддержания нужной температуры планируется использовать систему активного кондиционирования воздуха.

Светильники подключены к плате Arduino Mega через твердотельное реле SSR-10DA и включаются/отключаются в заданные моменты времени. Исправность ламп контролируется с помощью модулей с фоторезисторами GL5516.

Аэрация аквариумов осуществляется с помощью многоканального компрессора, подключенного к плате Arduino Mega через твердотельное реле SSR-10DA.

Система регистрации данных реализована на основе модуля микро-SD-карты, подключенного к Arduino Mega и запитанного от отдельного DC-DC преобразователя. Данные, полученные с различных датчиков (температуры, влажности, уровня и т.д.), обрабатываются платой Arduino Mega и записываются на SD-карту в заданные моменты времени.

Система замены морской воды (рис. 3) реализована на базе морского водопровода биостанции, к которому подключена установка, и позволяет производить смену воды

с любой заданной частотой, вплоть до ежедневной. Замена воды происходит в два приема перед началом прилива в каждой группе аквариумов. Сначала с помощью нормально-замкнутого электромагнитного клапана 1 (DC 12V, 0,02–0,8 МПа), сбрасывается в канализацию нагретая и застоявшаяся в трубах морского водопровода вода. Далее с помощью аналогичного электромагнитного клапана 2 закачивается вода в водонапорный бак (рис. 3, ВНБ). Вода закачивается до тех пор, пока верхний датчик уровня в водонапорной емкости разомкнут; поступление воды в систему происходит за счет давления воды в морском водопроводе. Далее с помощью специальной помпы в водосборном баке (рис. 3, ВСБ) из системы откачивается слитая с группы аквариумов во время отлива вода. Откачка воды происходит до тех пор, пока не сработает нормально-замкнутый поплавковый датчик уровня. Клапаны подключены к плате Arduino Mega через электромагнитные реле SRD-05VDC-SL-C, датчики уровня воды — напрямую. Наличие давления в морском водопроводе контролируется датчиком давления (5V, 60psi).

С платой Arduino Mega также связана программно реализованная система самопроверки и принятия решений. Ее функциями являются: 1) контроль возникновения ошибок на основе сравнения информации, полученной с датчиков, с информацией о возможных состояниях системы; 2) принятие решений о внесении изменений в работу установки (например, при отключении электропитания) и некоторые другие. Очевидно, что возможности самопроверки и саморегуляции установки напрямую зависят от количества и разнообразия датчиков — чем они больше, тем более точную диагностику ошибок и более точную коррекцию можно провести.

Вторая из плат Arduino Nano, входящих в состав блока управления, отвечает за дистанционный контроль и управление установкой с помощью SMS. Передача SMS об ошибках и управляющих командах реализована на основе модуля SIM800L, связанного платой Arduino Nano. Заметим, что с помощью этого модуля может быть также организован выход в глобальную сеть Интернет, что в перспективе позволит существенно увеличить возможности обмена данными и управления установкой.

Система электропитания состоит из импульсного источника питания (Lincoiah DC12B, 100 Вт), подключенного к сети переменного тока через источник бесперебойного питания. Отдельные элементы установки подключены к источнику питания через регулируемые преобразователи напряжения LM2596. Наличие ИБП обеспечивает возможность выполнения комплекса минимально необходимых процедур при отключении электропитания.

Для нормального функционирования установки в зимний период должна быть предусмотрена возможность перевода установки на замкнутый цикл с возможностью очистки находящейся в системе морской воды. Теоретически эта проблема не представляется слишком сложной, принимая во внимание обширную литературу на эту тему [12–14]. На практике возможно возникновение чисто технических проблем с созданием системы очистки, учитывая значительные объемы воды в системе и необходимость поддержания приемлемого качества воды в зимний период. С этой проблемой тесно связана еще одна — необходимость выбора показателей, по которым будет контролироваться качество воды. Это очень сложный вопрос, принимая во внимание количество параметров, по которым может оцениваться качество воды. В качестве интегральных характеристик можно использовать, предположительно, электропроводность морской воды и изменение в ее прозрачности или спектре поглощения.

Полученные к настоящему моменту результаты свидетельствуют о существенном снижении трудозатрат при содержании моллюсков: не расходуется время на ручную реализацию приливно-отливного цикла и замену воды в системе, осуществляется автоматический мониторинг условий содержания животных и т.п. Предварительные оценки уровня смертности моллюсков свидетельствуют об отсутствии принципиальных различий по сравнению с ранее полученными (при «ручном» содержании) результатами (порядка 5 % [10]). В перспективе планируется постановка специальных экспериментов для более точной оценки уровня смертности моллюсков при их содержании с использованием установки. Анализ данных по динамике гибели литторин показывает, что наибольшая смертность наблюдалась в моменты, когда температура

содержания моллюсков превышала 22 °С. В ходе опытов обнаружены некоторые различия в пищевых предпочтениях у разных видов. *Littorina obtusata* лучше всего росла при одновременном использовании в качестве субстратов камней и фукусов. Для нормального существования *L. saxatilis* были необходимы камни, в то время как *L. fabalis* можно было содержать только на фукусах. Использованные в установке затапливаемые во время «прилива» крышки позволили избежать проблем с обсыханием и последующей гибелью моллюсков на сетке, которой ранее [10] закрывали аквариумы.

Из числа выявленных проблем следует в первую очередь отметить ограниченный (около двух месяцев) срок существования водорослей *Fucus vesiculosus* в аквариумах, после чего они нуждаются в замене. Одним из возможных решений этой проблемы является увеличение освещенности; однако возможна и периодическая замена водорослей, т.к. фукусы доступны и в зимний период. Напротив, микрообрастания на поверхности камней, по-видимому, успешно воспроизводятся, т.к. крайне маловероятно, чтобы исходного количества микрообрастаний на камнях хватило бы молодым *L. saxatilis* для активного роста в течение нескольких месяцев.

В ходе эксплуатации установки в некоторых аквариумах было отмечено сероводородное заиливание. Так как последнее ввиду высокой токсичности сероводорода может привести к гибели моллюсков, появление чрезмерных количеств сероводорода необходимо контролировать. В настоящий момент этот вопрос остается открытым, т.к. существующие датчики (MQ136) предназначены для обнаружения сероводорода в воздухе, а не в жидкости.

Свидетельств негативного влияния (токсичности) полимеров, использованных при изготовлении деталей установки, не обнаружено. Визуальная проверка под микроскопом деталей установки, изготовленных методом 3D-печати, не выявила признаков их разрушения в ходе эксплуатации и повреждения моллюсками.

В настоящее время существующий прототип установки позволяет с минимальными трудозатратами содержать литторин около полугода. Следует отметить, что в процессе

апробации установки неоднократно отмечался случайный занос животных других систематических групп, в частности ракообразных (*Jaera* sp.), полихет (*Nereis* sp.), немуртин и некоторых других. Их попадание в аквариумы происходило, очевидно, в виде планктонных личинок при замене морской воды. В аквариумах личинки успешно развивались, проходили метаморфоз и вырастали во взрослых животных. Это свидетельствует о том, что разработанная установка может быть использована для содержания широкого спектра литоральных животных. Подобная необходимость возникает во многих случаях: при изучении жизненных циклов животных, выявлении внутривидовой и межвидовой конкуренции, при оценке воздействия на литоральных животных различных факторов среды и биотестировании. Кроме того, установка может быть использована в образовательных целях — при содержании литоральных животных в зоопарках, океанариумах и различных учебных заведениях.

В заключение следует отметить, что полученные результаты показывают, что при содержании литоральных животных в лабораторных условиях с успехом могут быть использованы современные методы автоматизации и циф-

ровые технологии. Их внедрение позволит существенно уменьшить трудозатраты при содержании животных, используемых в качестве модельных объектов при изучении различных биологических процессов, и стандартизировать условия содержания животных, используемых при биоиндикации.

Благодарности

Пользуясь случаем, авторы хотели бы выразить искреннюю признательность сотрудникам Беломорской биологической станции «Картеш» и Зоологического института РАН, оказавшим ту или иную помощь в процессе работы над установкой, в частности инженерам биостанции Курзикову Юрию Николаевичу и Макаренкову Сергею Николаевичу. Работа выполнена при поддержке ГЗ ЗИН РАН АААА-А19-119022690122-5 и 122031100283-9.

Acknowledgments

The authors would like to take this opportunity to express their sincere gratitude to the staff of the White Sea Biological Station “Kartesh” and the Zoological Institute RAS that provided assistance in the work on the setup and, in particular, to biological station engineers Yuri Kurzikov and Sergei Makarenkov. This work was aided by the ZIN RAS State Projects No. АААА-А19-119022690122-5 and No. 122031100283-9.

Список литературы

1. Murray J. The genetics of the Mollusca. In: King R.C., ed. Handbook of Genetics. Vol. 3. Invertebrates of Genetic Interest. New York: Plenum Press; 1975, p. 3–31. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7145-2_1
2. Backeljau T., Baur A., Baur B. Population and conservation genetics. In: Barker G.M., ed. The biology of terrestrial molluscs. New York: CABI Publishing; 2001, p. 383–412. <https://doi.org/10.1079/9780851993188.0383>
3. Козминский Е.В., Лезин П.А., Фокин М.В. Наследование рисунка из белых пятен на раковине у *Littorina obtusata* (Gastropoda, Prosobranchia). Генетика. 2010;46(12): 1652–1659.
4. Козминский Е.В. Изучение наследования продольных полос на раковине у моллюсков *Littorina obtusata* и *Littorina saxatilis* (Gastropoda, Prosobranchia). Генетика. 2011;47(8):1112–1119.
5. Козминский Е.В. Особенности наследования фоновой окраски раковины у моллюсков *Littorina obtusata* (Gastropoda, Littorinidae). Генетика. 2014;50(10):1177–1187.
6. Lucas M. Pigments in Mollusca. Conchiglia. 1974;(6):5–10.
7. Williams S.T. Molluscan shell colour. Biological Reviews. 2017;92(2):1039–1058. <https://doi.org/10.1111/brv.12268>
8. Козминский Е.В. Описание полиморфизма и классификация признаков окраски раковины у брюхоногих моллюсков на примере *Littorina obtusata* (Gastropoda: Littorinidae). Морской биологический журнал. 2021;6(3):60–77. <https://doi.org/10.21072/mbj.2021.06.3.07>

9. Козминский Е.В. Определение возраста у *Littorina obtusata* (Gastropoda, Prosobranchia). Зоологический журнал. 2006;85(2):146–157.
10. Козминский Е.В., Лезин П.А., Фокин М.В. Методика изучения наследования признаков окраски раковины у моллюсков рода *Littorina* (Gastropoda, Prosobranchia). Зоологический журнал. 2008;87(5):614–619.
11. Козминский Е.В. Наследование продольных белых полос на раковине у моллюсков *Littorina obtusata* (Gastropoda, Prosobranchia). Генетика. 2016;52(8):991–995.
12. Степанов Д.Н. Морской аквариум дома. Москва: Экоцентр – ВНИРО; 1994.
13. Лютц Г. Морской аквариум. Москва: Аквариум-Принт; 2002.
14. Иванов А., Савчук С. Рифовый аквариум. Мариуполь: Рената; 2005.

References

1. Murray J. The genetics of the Mollusca. In: King R.C., ed. Handbook of Genetics. Vol. 3. Invertebrates of Genetic Interest. New York: Plenum Press; 1975, p. 3–31. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7145-2_1
2. Backeljau T., Baur A., Baur B. Population and conservation genetics. In: Barker G.M., ed. The biology of terrestrial molluscs. New York: CABI Publishing; 2001, p. 383–412. <https://doi.org/10.1079/9780851993188.0383>
3. Kozminskii E.V., Lezin P.A., Fokin M.V. A Study of Inheritance of White Spots on the Shell of *Littorina obtusata* (Gastropoda, Prosobranchia). Russian Journal of Genetics. 2010;46(12):1455–1461. <https://doi.org/10.1134/s1022795410120082>
4. Kozminsky E.V. Inheritance of longitudinal shell bands in the snails *Littorina obtusata* and *Littorina saxatilis* (Gastropoda, Prosobranchia). Russian Journal of Genetics. 2011;47(8):987–993. <https://doi.org/10.1134/s1022795411070118>
5. Kozminsky E.V. Inheritance of the Background Shell Color in the Snails *Littorina obtusata* (Gastropoda, Littorinidae). Russian Journal of Genetics. 2014;50(10):1038–1047. <https://doi.org/10.1134/s1022795414100044>
6. Lucas M. Pigments in Mollusca. Conchiglia. 1974;(6):5–10.
7. Williams S.T. Molluscan shell colour. Biological Reviews. 2017;92(2):1039–1058. <https://doi.org/10.1111/brv.12268>
8. Kozminsky E.V. Specification of polymorphism and classification of shell coloration in gastropods by the example of *Littorina obtusata* (Gastropoda: Littorinidae). Marine Biological Journal. 2021;6(3):60–77. (In Russ.). <https://doi.org/10.21072/mbj.2021.06.3.07>
9. Kozminsky E.V. Determination of age in *Littorina obtusata* (Gastropoda, Prosobranchia). Russian Journal of Zoology. 2006;85(2):146–157. (In Russ.).
10. Kozminsky E.V., Lezin P.A., Fokin M.V. A methodology of studying the inheritance of shell color in mollusks of the genus *Littorina* (Gastropoda, Prosobranchia). Russian Journal of Zoology. 2008;87(5):614–619. (In Russ.).
11. Kozminsky E.V. Inheritance of longitudinal white stripes on the shell of mollusks *Littorina obtusata* (Gastropoda, Prosobranchia). Russian Journal of Genetics. 2016;52(8):882–886. <https://doi.org/10.1134/s1022795416080068>
12. Stepanov D.N. Marine aquarium at home. Moscow: EcoCenter — VNIRO; 1994. (In Russ.).
13. Lutz G. Marine Aquarium. Moscow: Akvarium-Print; 2002. (In Russ.).
14. Ivanov A., Savchuk S. Reef aquarium. Mariupol: Renata; 2005. (In Russ.).