

О РЕГЕНЕРАЦИИ ПОЛИХЕТЫ-ВСЕЛЕНЦА *POLYDORA WEBSTERI* (ANNELIDA: SPIONIDAE)

© 2021 Лисицкая Е.В.*, Болтачева Н.А.**

Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Севастополь 299011, Россия
e-mail: *e.lisitskaya@gmail.com, **nboltacheva@mail.ru

Поступила в редакцию 21.05.2021. После доработки 08.07.2021. Принята к публикации 28.07.2021

Получены новые данные по регенерационной способности полихеты-вселенца *Polydora websteri* Hartman in Loosanoff & Engle, 1943. Материал собран в 2019–2020 гг. в акватории Севастополя. Полидоры были извлечены из блистеров в створках экзотического для Чёрного моря вида устриц *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793), выращиваемых на устричной ферме. Полихет содержали в аквариумах с фильтрованной морской водой при температуре от 8.8 до 25.8 °C и солёности 17.5–17.8‰. В лабораторных условиях у червей удаляли сегменты тела и наблюдали, как происходит их восстановление. Установлено, что у *P. websteri* регенерируют и передняя, и задняя части тела. Минимальное количество сегментов, способных одновременно восстанавливать обе части – три жаберных сегмента, выделенных из середины тела. Процесс регенерации у *P. websteri* существенно зависел от температуры воды. В диапазоне 8.8–26 °C установлена прямая зависимость между температурой воды и количеством регенерировавших особей и обратная зависимость между температурой воды и временем, затраченным на восстановление утраченных фрагментов. При прогреве воды доля регенерировавших *P. websteri* увеличивалась с 15 до 87%, а продолжительность регенерации уменьшалась в 2.5 раза.

Ключевые слова: виды-вселенцы, Polychaeta, *Polydora websteri*, регенерация, *Crassostrea gigas*, Чёрное море.

DOI:10.35885/1996-1499-2021-14-3-24-31

Введение

Во всём мире морские прибрежные экосистемы подвергаются интенсивному вторжению инвазивных видов [Goedknegt et al., 2016]. Среди полихет-вселенцев в различных районах Мирового океана значительную долю составляют представители семейства Spionidae. Так, в северной части Чёрного моря из 11 чужеродных видов полихет, пять относятся к указанному семейству [Boltachova et al., 2021]. Их успешной инвазии способствуют эврибионтность, толерантность к загрязнению среды обитания, а также особенности биологии размножения. Представители семейства Spionidae, как правило, имеют длительную пелагическую стадию развития, благодаря чему они могут распространяться на большие расстояния, в том числе, с балластными водами судов. Виды этого семейства, перфорирующие раковины моллюсков, имеют возможность интродукции в новые районы обитания с объектами аквакультуры, а затем они могут поражать и нативные виды

[Waser et al., 2020]. В Чёрное море из полихет-перфораторов была завезена *Polydora websteri* Hartman in Loosanoff & Engle, 1943. Впервые этот вид зарегистрирован в 2005 г. у побережья Румынии [Surugiu, 2005]. В 2009 г. полидора была обнаружена в створках устриц *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793), выращиваемых на марихозьях у берегов Крыма [Лисицкая и др., 2010]. В последние годы появились исследования, согласно которым вид *C. gigas* отнесён к новому роду *Magallana* и имеет альтернативное название – *M. gigas*. Однако многие малакологи полагают, что убедительного основания для изменения номенклатуры нет и следует оставить прежнее название – *C. gigas* [Bayne et al., 2017].

Устрицы *C. gigas* с целью культивирования были завезены из Японского моря в Чёрное в 1980 г. [Холодов и др., 2010]. В дальнейшем, в течение более чем 30-ти лет, партии устриц различного возраста поставляли в марихозьях на побережья Крыма, Северного Кавказа, а также Румынии [Холодов

и др., 2010]. Возможно, именно вместе с *C. gigas* проникла в Чёрное море и *P. websteri*. За последнее десятилетие эта полихета расселилась в северной части Чёрного моря, она обнаружена не только в створках выращиваемых устриц, но и в прибрежных камнях, а также в раковинах моллюсков-вселенцев *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) и *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) [Surugiu, 2012; Бондарев, Болтачева, 2021; Сёмин и др., 2021; Boltachova et al., 2021]. Полихеты *P. websteri*, перфорируя раковины культивируемых моллюсков, вызывают образование в створках блистеров – «грязевых пузырей», что приводит к потере устрицами товарного вида и снижению их коммерческой ценности. Очень широкое распространение *P. websteri* и других видов спионид-перфраторов привело к большим проблемам в аквакультуре устриц не только в Европе, но и на побережье Северной и Южной Америки, в Австралии, Новой Зеландии, на Гавайях [Radashevsky et al., 2006; Goedknegt et al., 2016; Martinelli et al., 2020; Waser et al., 2020]. Для борьбы с полидорами на морских фермах проводят профилактические мероприятия, включающие механическую чистку устричных садков и устриц, но при этом полностью избавиться от полихет-перфраторов не удаётся. Можно предположить, что одной из причин этого является способность полихет к регенерации. Однако процессы регенерации и их особенности изучены лишь у немногих видов спионид, для *P. websteri* таких данных нет [Bely, 2006; Whitford, Williams, 2016].

Цель работы: изучение регенерационной способности полихеты-вселенца *P. websteri*, являющейся перфратором культивируемых моллюсков *C. gigas*.

Материал и методика

Полихет собирали в 2019–2020 гг. из раковин устриц *C. gigas*, выращенных на устричной ферме на внешнем рейде Севастополя (44°37'12.12" с. ш., 33°30'9.73" в. д.). Полихет, идентифицированных как *Polydora websteri*, извлекали из блистеров в створках устриц и помещали в чашки Петри с фильтрованной морской водой для дальнейших исследований в лабораторных условиях. При планиро-

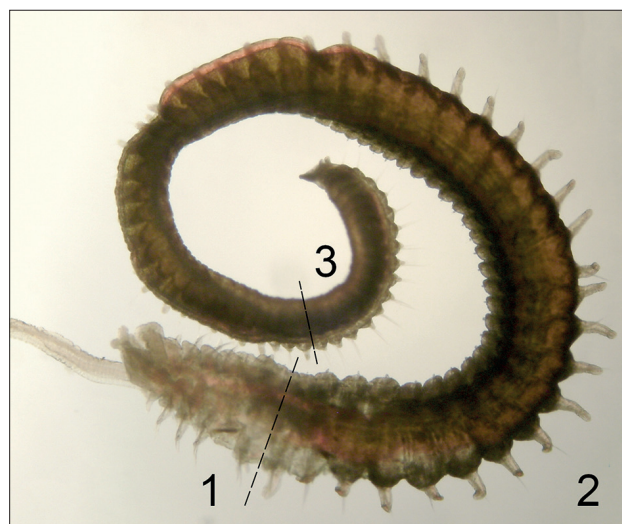


Рис. 1. *Polydora websteri*, внешний вид со схемой разделения тела: 1 – передняя часть; 2 – средняя часть; 3 – задняя часть.

вании экспериментов тело полидоры условно разделяли на три части (рис. 1).

К передней части мы относили простомииум, перистомииум и шесть передних сегментов, не имеющих жабр; к задней – пигидий с хвостовыми сегментами, лишёнными жабр; к средней – все сегменты тела, начиная с 7-го, на которых имелись жабры.

Для релаксации полихет использовали 1% раствор $MgCl_2$ в течение 10 минут. Сегменты препарировали с помощью скальпеля. В ходе операций отделяли следующие фрагменты: простомииум плюс от 3 до 6 прилегающих безжаберных сегментов; простомииум с прилегающими безжаберными сегментами и с последующими одним-двумя жаберными сегментами; простомииум с двенадцатью и более сегментами. В задней части отделяли пигидий плюс 3, 5, 8, 10, 12 безжаберных сегментов; из средней части тела вырезали от 2 до 33 жаберных сегментов.

После операции фрагменты тела полидор переносили в кристаллизаторы с морской водой (солёность 17.5–17.8‰). Воду меняли раз в 2 дня, корм не добавляли. Предварительно морскую воду фильтровали через мельничный газ с размером ячеек 100 мкм, что позволяло сохранить в ней микроводоросли. Для экспериментов использовали полидор от ювенильных особей (24 сегмента) до половозрелых (116 сегментов), с длиной тела от 1080 до 2750 мкм, шириной от 300 мкм до 1100 мкм.

Самки с яйцами встречались единично, поэтому при анализе результатов отдельный учёт их регенерационных способностей не проводили. Изучение влияния температуры воды на продолжительность регенерации выполняли при различной температуре воды – от 8.8 до 25.8 °С. Для этого исследования использовали взрослых полихет, к которым относили особей, имевших более 30–35 сегментов. Повторную регенерацию изучали на ювенильных особях, имевших 24–30 сегментов. Всех исследуемых полидор просматривали под микроскопами МБС-9 и «Микмед-5». Всего в экспериментах было использовано 219 экземпляров. Фотографии выполнены фотокамерой «Sony cyber-shot 16.2».

Результаты

При осмотре устриц *C. gigas* из садков устричной фермы в раковинах некоторых из них были обнаружены заполненные илом полости – блистеры разной формы и размеров, иногда занимающие до 2/3 поверхности створки (рис. 2 А). В блистере находили от 1 до 7 экземпляров *P. websteri*. Среди извлечённых полидор попадались особи, восстанавливающие передний отдел тела (рис. 2 В).

В лабораторных условиях полидор, извлечённых из блистеров, оперировали и наблюдали за процессом их регенерации. Заживление раны у *P. websteri* начиналось сразу же после операции – у всех исследованных червей место разреза затягивалось путём быстрого сокращения мышц, выделения целомической жидкости не происходило. В области повреж-

дения отмечен интенсивный приток крови. В первый день после операции у фрагментов *P. websteri* были отмечены признаки формирования бластемы – плотного скопления клеток, на второй день она визуальнo увеличивалась в размере. В регенерации передней и задней частей тела наблюдали некоторые различия.

Восстановление передней части тела зарегистрировано у 25–50% прооперированных полихет. При морфогенезе передней части сначала происходило образование бластемы, из которой регенерировали простомииум, головные придатки, а затем 7–8 передних сегментов (рис. 3 А, В). Отмечено, что у всех экземпляров *P. websteri*, регенерировавших голову, глаза не восстанавливались. У фрагментов тела, включающих только пигидий с прилегающими безжаберными сегментами (в количестве 3–12), регенерация передней части ни разу отмечена не была.

Регенерация задней части тела зарегистрирована у 50–75% прооперированных червей. В первую очередь формировался диск пигидия, затем из зоны роста образовывались хвостовые сегменты. Отмечено, что восстановление пигидия и хвостовых сегментов проходило у фрагментов, включающих простомииум с перистомииумом и не менее 7–8 прилегающих сегментов (соответственно, хотя бы один-два сегмента имели жабры) (рис. 3 С). У фрагментов, состоящих из головы и прилегающих только безжаберных сегментов, регенерация задней части зарегистрирована не была.

Регенерация одновременно и передней и задней частей отмечена у 11–20% полидор

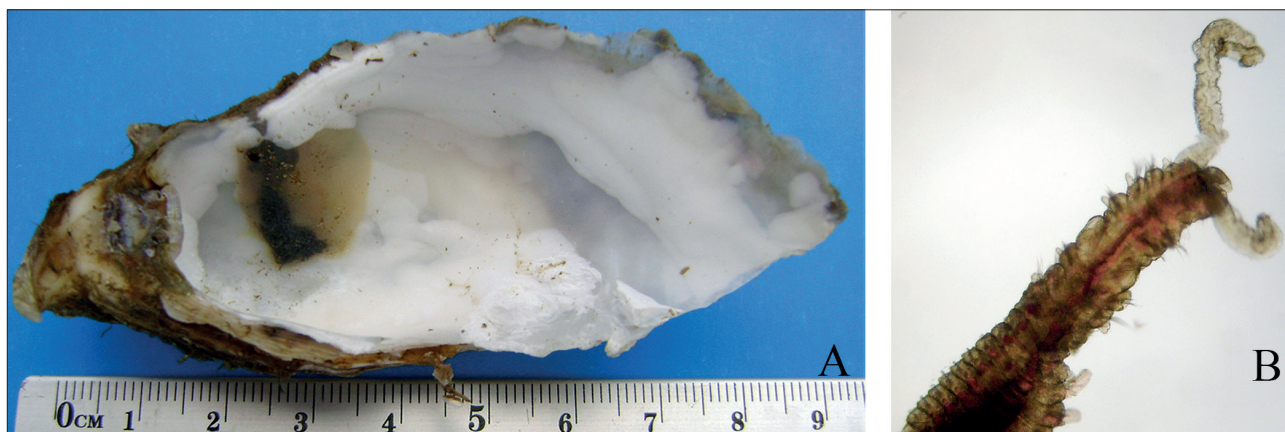


Рис. 2. Створка устрицы *Crassostrea gigas* с блистером (А); *Polydora websteri* с восстановленным передним концом, извлеченная из блистера устрицы (В).



Рис. 3. *Polydora websteri*, регенерация: передней части (А, В), задней части (С), передней и задней частей (D).

(рис. 3 D). Наименьший фрагмент, у которого после операции одновременно происходило восстановление и передней, и задней частей тела, включал три жаберных сегмента, выделенных из середины тела (рис. 4). Фрагменты тела, которые не регенерировали, через 2–3 недели начинали мацерироваться.

Существенное влияние на процессы регенерации у *P. websteri* оказывала температура морской воды. Так, в зимний период, при

температуре воды 8.8–11.8 °С регенерация была зарегистрирована у 15–21% прооперированных червей и проходила в течение 9–14 дней. При повышении температуры воды до 12–14 °С регенерировало до 50% особей в течение 8–11 дней. При температуре воды 15–19 °С в течение недели регенерировало 50–60% полидор. При прогреве воды до 20–23 °С регенерация была зарегистрирована у 64–71% *P. websteri*. При такой темпе-

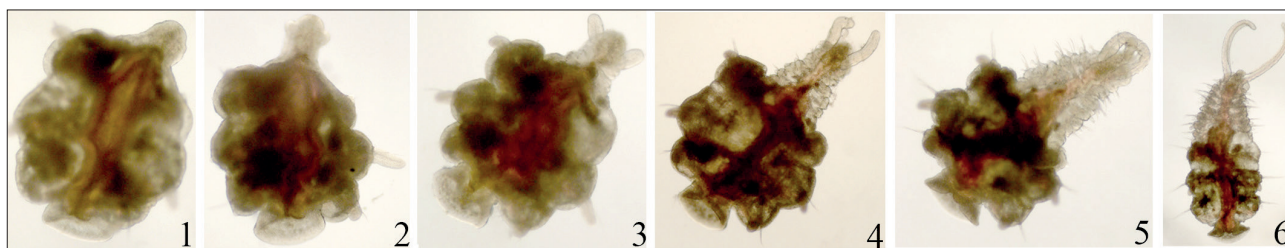


Рис. 4. Регенерация передней и задней частей тела у трёхсегментного фрагмента *P. websteri* при температуре воды 8.8–9.2 °С: 1 – девятый день после разрезания, 2 – десятый, 3 – двенадцатый, 4 – пятнадцатый, 5 – восемнадцатый, 6 – двадцать четвёртый день после разрезания.

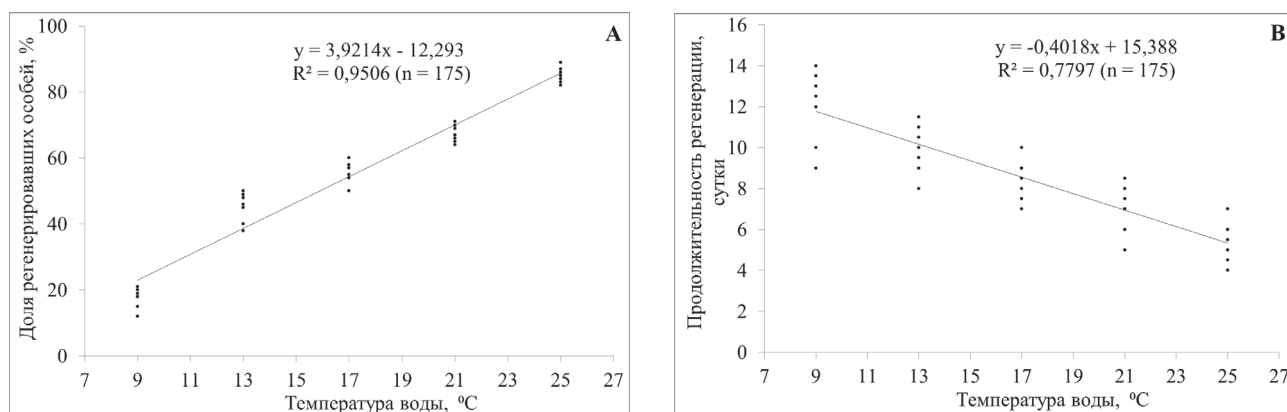


Рис. 5. Зависимость доли регенерировавших *Polydora websteri* (A) и продолжительности регенерации (B) от температуры воды.

ратуре пигидий и 5–7 хвостовых сегментов образовывались в течение 4–5 дней, голова с зачатками пальп формировалась за 6 дней. Отмечено, что у всех полидор после регенерации передней части отсутствовали глаза. К девятому дню длина пальп достигала пятого сегмента, были сформированы 7–8 передних сегментов, на пятом сегменте образовывались 2–3 специализированные щетинки. При температуре воды 24–26 °C доля регенерировавших червей достигала 82–87%. При этом диск пигидия формировался уже на второй день после операции, а хвостовые сегменты образовывались из зоны роста на третий день. Начало регенерации головы отмечено на третий день после ампутации. В течение 5–6 дней формировался простомииум с пальпами и 7–8 сегментов тела.

Таким образом, отмечена прямая зависимость между температурой воды и количеством регенерировавших *P. websteri* (рис. 5 A) и обратная зависимость между температурой воды и временем, затраченным на восстановление утраченных фрагментов (рис. 5 B).

В лабораторных условиях при температуре воды 24 °C зарегистрирован ряд последовательных регенераций у прооперированных полидор. Так, 24-сегментные *P. websteri*, разрезанные на уровне 8-го сегмента, через 6–7 дней восстанавливали и передний, и задний части тела. Из одной полидоры получалось две особи. Затем каждую особь вновь разрезали на 2 части – регенерация обоих концов проходила также за 6–7 дней. Таким образом, из одной *P. websteri* в течение 13–14 дней образовывались 4 особи.

Обсуждение

Многие виды морских беспозвоночных, в том числе многощетинковые черви, обладают высокой степенью регенеративных способностей [Bely, 2006; Bely, Nyberg, 2010; Костюченко и др., 2016; Özpolat, Bely, 2016; Козин и др. 2017]. Установлено, что полихеты способны к репаративной регенерации по типу эпиморфоза с образованием в месте повреждения бластемы, из которой формируются недостающие части тела. При этом многие виды полихет после повреждения восстанавливают и задние, и передние структуры, а для некоторых видов известно, что они восстанавливают только задний отдел тела [Bely, 2006]. Регенерация характерна для представителей широко распространённого в Мировом океане семейства Spionidae. Так, у побережья Южной Америки в створках культивируемых устриц обнаружены *Polydora ecuadoriana* Blake, 1983, находящиеся на стадии восстановления [Radashevsky et al., 2006]. Однако экспериментальные исследования по регенерации были проведены лишь на отдельных видах. Про некоторых спиионид известно, что они способны восстанавливать только задний [Bely, 2006] или только передний отделы [Radashevsky et al, 2006; Lindsay et al., 2008; David, Williams, 2012], у других изученных видов отмечена регенерация и задней, и передней частей [Whitford, Williams, 2016; Starunov et al., 2020]. У близкородственных видов способность к регенерации может существенно отличаться [Bely, Nyberg, 2010; Костюченко и др., 2016].

Наши исследования показали, что полихета-вселенец *P. websteri* способна восстанавливать и переднюю, и заднюю части тела. После разрезания червей рана в месте разреза затягивалась сразу же. Из литературных источников известно, что после ампутации происходит миграция клеток к месту раны. Такое заживление характерно даже для видов, не способных к полноценной регенерации [Bely, 2006; Özpolat, Bely, 2016]. У *P. websteri* как на переднем, так и на заднем концах фрагментов, в течение 1–2 дней образовывалась бластема. Через 2–4 дня передняя бластема дифференцировалась на зачаток головы, на голове сразу же начинали развиваться пальпы. В течение 3–13 дней после разреза формировалось 8 передних сегментов, на которых затем образовывались щетинки. Задняя бластема дифференцировалась в пидгий и зону роста в течение 2–9 дней после разреза, из зоны роста последовательно развивались новые сегменты. Наши данные сходны с результатами, полученными ранее для других видов спонид. Так, при передней регенерации у *Pygospio elegans* Claparède, 1863 и *Dipolydora quadrilobata* (Jacobi, 1883) морфогенез происходил по сходной схеме – восстановление простомиума и перистомиума прошло за 6 суток, а формирование пальп и затылочного органа завершилось позже, на 9–12 день [Lindsay et al., 2008]. У *Marenzelleria viridis* (Verrill, 1873) регенерация длилась в течение 7–14 дней [Whitford, Williams, 2016]. У симбионта губок *Polydora colonia* Moore, 1907 морфогенез при передней регенерации включал образование бластемы, из которой восстанавливалось максимум 8 передних сегментов [David, Williams, 2012]. У *P. ecuadoriana* регенерация проходила в течение 4–5 дней, количество восстановленных сегментов зависело от количества удалённых сегментов. Они были равны, если удаляли менее восьми сегментов, а если удаляли девять или более сегментов, регенерировали только восемь передних сегментов. [Radashevsky et al., 2006]. В наших экспериментах у *P. websteri* в передней части тела также восстанавливалось не более 8 сегментов. У *P. elegans* процесс регенерации изучен при температуре воды 18 °С. Установлено, что после травми-

ческой ампутации *P. elegans* в течение 7 дней восстанавливал недостающие участки тела путём образования небольших, но полностью сформированных регенерированных частей [Starunov et al., 2020].

На скорость регенерации влияют видоспецифические различия, индивидуальная физиология организмов, а также условия окружающей среды (например, наличие пищи, температура и др.) [Lindsay et al., 2008]. Нами установлено, что продолжительность регенерационных процессов у *P. websteri* существенно зависела от температуры воды. При повышении температуры от 8 °С до 26 °С регенерация проходила в 2.5 раза быстрее. Восстановление утраченных частей тела при разной температуре воды изучали у *P. colonia*. Авторы показали, что при температуре 24 °С черви регенерировали в 2 раза быстрее, чем при 14 °С [David, Williams, 2012]. У *P. websteri* от температуры воды зависел и процент регенерировавших особей – при изменении температуры от 8 °С до 26 °С их доля увеличивалась от 20 до 87%. У других представителей спонид доля регенерировавших особей ниже. Так, например, у *M. viridis* передняя часть тела регенерировала у 5.1–9.1% прооперированных червей [Whitford, Williams, 2016]. У *D. quadrilobata* 7.6–18% особей восстанавливали передние части тела, для *P. elegans* эти показатели составляли от 6.5 до 14.2% [Lindsay et al., 2008].

Таким образом, регенерационная способность вида-перфоратора *P. websteri* существенно выше, чем у других видов спонид, обитающих на рыхлых грунтах (*M. viridis*, *P. elegans*, *D. quadrilobata*). Вероятно, именно это способствует быстрому восстановлению *P. websteri* после утраты фрагментов в природных условиях, а также во время чистки устричных садков на морских фермах.

Заключение

Установлено, что полихета-вселенец *Polydora websteri* регенерирует и переднюю, и заднюю части тела. Для успешной регенерации в выделенных фрагментах необходимо было наличие жаберных сегментов. Минимальное количество сегментов, способных

одновременно восстанавливать обе части, – три жаберных сегмента, выделенных из середины тела. Морфогенез проходит аналогично описанному ранее для других видов спонид. Для ювенильных особей отмечен ряд повторных регенераций.

В диапазоне 8.8–26 °С установлена прямая зависимость между температурой воды и количеством регенерировавших *P. websteri*. При прогреве воды доля регенерировавших особей увеличивалась с 15 до 87%. Между температурой воды и временем, затраченным на восстановление утраченных фрагментов, выявлена обратная зависимость – при повышении температуры воды продолжительность регенерации сокращалась с 14 до 4 суток.

Можно предположить, что высокая регенеративная способность *P. websteri* является одной из причин, которая не позволяет успешно бороться с этой полидорой-перфоратором, повреждающей раковины моллюсков, выращиваемых на морских фермах.

Благодарности

Выражаем благодарность глубокоуважаемым рецензентам за тщательный анализ нашей работы и ценные рекомендации по улучшению финального варианта статьи.

Финансирование работы

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по темам: «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» (государственная регистрация № 121030300149-0) и «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» (государственная регистрация № 121030100028-0).

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Соблюдение этических стандартов

Все экспериментальные протоколы были выполнены в соответствии с руководящими принципами ЕС по использованию лабораторных животных и уходу за ними (86/609 / СЕЕ) и при соблюдении правил, утвержденных распоряжением Президиума АН СССР от 2 апреля 1980 N 12000-496 и приказом Минвуза СССР от 13 сентября 1984 N 22. Все усилия были предприняты, чтобы использовать только минимальное количество животных, необходимое для получения надежных научных данных.

Литература

- Бондарев И.П., Болтачева Н.А. Консорты брюхоногого моллюска *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) в северной части Чёрного моря. Часть V: Annelidae (Polychaeta) // Морской биологический журнал. 2021. Т. 6. № 2. С. 18–32. <https://doi.org/10.21072/mbj.2021.06.2.02>
- Козин В.В., Филиппова Н.А., Костюченко Р.П. Восстановление нервной и мышечной системы в ходе регенерации полихеты *Alitta virens* (Annelida: Nereididae) // Онтогенез. 2017. Т. 48 (3). С. 234–247. <https://doi.org/10.7868/S0475145017030089>
- Костюченко Р.П., Козин В.В., Купряшова Е.Е. Регенерация и бесполое размножение у аннелид: клетки, гены и эволюция // Известия РАН. Серия Биологическая. 2016. № 3. С. 231–241.
- Лисицкая Е.В., Болтачева Н.А., Лебедевская М.В. Новый для фауны Украины вид *Polydora websteri* Hartman, 1943 (Polychaeta: Spionidae) из прибрежных вод Крыма (Чёрное море) // Морской экологический журнал. 2010. Т. 9. № 2. С. 74–80.
- Сёмин В.Л., Колочкина Г.А., Птушкин М.Д., Тимофеев В.А., Симакова У.В. *Polydora websteri* – комменсал *Anadara kagoshimensis* в Азово-Черноморском регионе // Российский журнал биологических инвазий. 2021. № 2. С. 93–102.
- Холодов В.И., Пиркова А.В., Ладыгина Л.В. Выращивание мидий и устриц в Чёрном море. Севастополь: DigitPrint, 2010. 424 с.
- Bayne B.L., Ahrens M., Allen S.K., Anglès d'Auriac M., Backeljau T., Beninger P., Bohn R., Boudry P., Davis J., Green T., Guo X., Hedgecock D., Ibarra A., Kingsley-Smith P., Krause M., Langdon C., Lapègue S., Li C., Manahan D., Mann R., Perez-Paralle L., Powell E.N., Rawson P.D., Speiser D., Sanchez J.L., Shumway S., Wang H. The proposed dropping of the genus *Crassostrea* for all Pacific cupped oysters and its replacement by a new genus *Magallana*: A dissenting view // Journal of Shellfish Research. 2017. Vol. 36. P. 545–547. <https://doi.org/10.2983/035.036.0301>
- Bely A.E. Distribution of segment regeneration ability in the Annelida // Integr. Comp. Biol. 2006. Vol. 46. P. 508–518.

- Bely A.E., Nyberg K.G. Evolution of animal regeneration: re-emergence of a field // *Trends Ecol. Evol.* 2010. Vol. 25, No. 3. P. 161–170.
- Boltachova N.A., Lisitskaya E.V., Podzorova D.V. Distribution of alien polychaetes in biotopes of the northern part of the Black Sea // *Russian Journal of Biological Invasions*. 2021. Vol. 12, No. 1. P. 11–26.
- David A.A., Williams J.D. Asexual reproduction and anterior regeneration under high and low temperatures in the sponge associate *Polydora colonia* (Polychaeta: Spionidae) // *Invertebrate Reproduction & Development*. 2012. Vol. 56:4. P. 315–324. <http://dx.doi.org/10.1080/07924259.2011.638404>.
- Goedknecht M.A., Feis M.E., Wegner K.M., Luttikhuisen P.C., Buschbaum Ch., Camphuysen K. (C. J.), Jaap van der Meer, Thieltges D.W. Parasites and marine invasions: ecological and evolutionary perspectives // *Journal of Sea Research*. 2016. Vol. 113. P. 11–27. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2015.12.003>.
- Lindsay S. M., Jackson J.L., Forest D.L. Morphology of anterior regeneration in two spionid polychaete species: implications for feeding efficiency // *Invertebrate Biology*. 2008. Vol. 127, No. 1. P. 65–79.
- Martinelli J.C., Lopes H.M., Hauser L., Jimenez-Hidalgo I., King T.L., Padilla-Gamiño J.L., Rawson P., Spencer L.H., Williams J.D., Wood Ch.L. Confirmation of the shell-boring oyster parasite *Polydora websteri* (Polychaeta: Spionidae) in Washington state, USA // *Scientific Reports*. 2020. 10:3961. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60805-w>
- Özpolat B.D., Bely A.E. Developmental and molecular biology of annelid regeneration: a comparative review of recent studies // *Current Opinion in Genetics & Development*. 2016. Vol. 40. P. 144–153.
- Radashevsky V.I., Lana P.C., Nalesso R.C. Morphology and biology of *Polydora* species (Polychaeta: Spionidae) boring into oyster shells in South America, with the description of a new species // *Zootaxa*. 2006. Vol. 1353. P. 1–37.
- Starunov V.V., Barmasova G.A., Nesterenko M.A., Kulakova M.A., Novikova E.L. *Pygospio elegans* (Annelida: Spionidae) – an annelid model for regeneration studies // *Invertebrate Zoology*. 2020. 17(3): 247–266.
- Surugiu V. Inventory of inshore polychaetes from the Romanian coast (Black Sea) // *Mediterranean Marine Science*. 2005. Vol. 6. 1. P. 51–73.
- Surugiu V. Systematics and ecology of species of the *Polydora*-complex (Polychaeta: Spionidae) of the Black Sea // *Zootaxa*. 2012. Vol. 3518. No. 1. P. 45–65.
- Waser A.M., Lackschewitz D., Knol J., Reise K., Wegner K.M., Thieltges D.W. Spread of the invasive shell-boring annelid *Polydora websteri* (Polychaeta, Spionidae) into naturalised oyster reefs in the European Wadden Sea // *Marine Biodiversity*. 2020. 50: 63. <https://doi.org/10.1007/s12526-020-01092-6>
- Whitford T.A., Williams J.D. Anterior regeneration in the polychaete *Marenzelleria viridis* (Annelida: Spionidae) // *Invertebrate Biology*. 2016. Vol. 135(4). P. 357–369. DOI: 10.1111/ivb.12148

ABOUT REGENERATION OF ALIEN POLYCHAETE *POLYDORA WEBSTERI* (ANNELIDA: SPIONIDAE)

© 2021 Lisitskaya E.V.*, Boltachova N.A.**

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of the RAS, Sevastopol 299011, Russian Federation
e-mail: *e.lisitskaya@gmail.com, **nboltacheva@mail.ru

New data on the regenerative capacity of the invader polychaete *Polydora websteri* Hartman in Loosanoff & Engle, 1943 have been obtained. The material was collected in 2019–2020 in the area of Sevastopol. Polychaetes were extracted from blisters in the valves of an exotic oyster species for the Black Sea – *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793). Molluscs were grown on an oyster farm. Polychaetes were kept in aquariums with filtered seawater at a temperature from 8.8 to 25.8 °C and a salinity of 17.5–17.8‰. Under laboratory conditions, body segments were removed from the worms and their recovery was observed. It was found that *P. websteri* regenerated both the anterior and posterior parts of the body. The minimum number of segments capable to simultaneously restore both anterior and posterior regions is three mid-body segments. The regeneration process in *P. websteri* depends significantly on the water temperature. In the range of 8.8–26 °C, a direct relationship was established between the water temperature and the number of regenerated individuals. An inverse relationship was found between the water temperature and the time spent on regenerating the lost fragments. When warming up the water, the proportion of regenerated *P. websteri* increased from 15 to 87%, and the duration of regeneration decreased 2.5 times.

Key words: alien species, Polychaeta, *Polydora websteri*, regeneration, *Crassostrea gigas*, the Black Sea.