



УДК [582.261.1:574.2](262.5+265.54)

**АУТЭКОЛОГИЯ БЕНТОСНОЙ ДИАТОМОВОЙ ВОДОРΟΣЛИ
STRIATELLA UNIPUNCTATA (LYNGBYE) С. А. AGARDH, 1832 —
ИНДИКАТОРА ОРГАНИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД
(ЧЁРНОЕ И ЯПОНСКОЕ МОРЯ)**

© 2021 г. Л. И. Рябушко¹, А. А. Бегун², А. Г. Широян¹,
Д. Н. Лишаев¹, Е. С. Мирошниченко¹

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Российская Федерация

²Национальный научный центр морской биологии имени А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток,
Российская Федерация

E-mail: larisa.ryabushko@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.02.2020; после доработки 17.06.2020;
принята к публикации 01.09.2021; опубликована онлайн 20.09.2021.

Впервые проведён анализ многолетних данных (1987–2019) изучения морфологии и аутэкологии бентосной колониальной диатомовой водоросли *Striatella unipunctata* (Lyngbye) С. А. Agardh, 1832, обитающей в микрофитобентосе Чёрного и Японского морей, включая акватории заповедных и особо охраняемых природных территорий России. Вид широко встречается на природных и искусственных субстратах в Чёрном море круглогодично, в Японском море зарегистрирован при температуре воды до $-1,5$ °С. Количественные данные *St. unipunctata* определяли прямым подсчётом клеток в камере Горяева, используя световые микроскопы (СМ) типа Биолам Л-212, Аxioskop 40 и Olympus VX41. Морфология ультраструктуры панциря *St. unipunctata* изучена в сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Hitachi SU3500 в образцах с золотопалладиевым напылением Leica EM ACE200. Представлен размерный диапазон клеток популяций: для Чёрного моря — створки 25–148 мкм длины, 8–22 мкм ширины, панцири 36,3–50,4 мкм шир., 18–24 штрихов в 10 мкм, 7–8 вставочных ободков в 10 мкм; для Японского моря — створки 85–125 мкм дл., 12–21 мкм шир., 7–8 вставочных ободков в 10 мкм, 20–25 штр. в 10 мкм, панцири 32,0–34,3 мкм дл., 10–11 мкм шир., 25 штр. в 10 мкм. Впервые изучены створки и панцири *St. unipunctata* в прижизненном состоянии в СМ и ультраструктура панцирей в СЭМ. Приведено описание морфологии, фитогеографии и экологии вида. Впервые проведено сравнение количественных показателей черноморской и япономорской популяций вида. В Казачьей бухте Чёрного моря вблизи океанариума зарегистрирована абсолютная максимальная численность клеток — $41,6 \cdot 10^3$ кл.·см⁻² при биомассе $1,73$ мг·см⁻² в эпизооне культивируемой мидии *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 в январе ($t = +6,9$ °С) на глубине 0,5 м при избыточном органическом загрязнении вод. Минимальные значения показателей составляли $0,26 \cdot 10^3$ кл.·см⁻² и $0,011$ мг·см⁻² соответственно в июле ($t = +23,5$ °С) на глубине 2,5 м. В бухте Парис (остров Русский) Японского моря в акватории Базы исследования морских млекопитающих Приморского океанариума (г. Владивосток) максимальная численность в перифитоне достигала $207 \cdot 10^3$ кл.·см⁻². Впервые представлены снимки видов в прижизненном состоянии в СМ и очищенные панцири в СЭМ.

Ключевые слова: диатомовая водоросль *Striatella unipunctata*, морфология, экология, Чёрное море, Японское море

Крупноклеточные формы диатомовых водорослей, имеющие большую биомассу, формируют массовые скопления реже, чем мелкоклеточные виды, которые при определённых условиях окружающей среды чаще достигают высокой численности. К первым принадлежит бентосный вид *Striatella unipunctata*, который образует лентовидные колонии, легко распознаваемые в световом микроскопе в прижизненном состоянии по розеткам хлоропластов, похожим на цветок. Данная публикация является вторым сообщением, после статьи о популяциях *Cylindrotheca closterium* из Чёрного и Японского морей (Ryabushko et al., 2019b), посвящённым обобщению сведений о некоторых пеннатных видах диатомей, которые играют заметную роль в прибрежных экосистемах. Эти работы основаны на изучении морфологических, экологических и фитогеографических характеристик видов, слагающих сообщества микрофитобентоса, и важны при анализе сезонной динамики структуры их природных популяций.

В публикациях о микрофитобентосе обычно используют обобщённые сведения о видовом составе, численности и биомассе сообществ водорослей; данные о конкретных видах и их популяционных показателях практически отсутствуют. Индивидуальные свойства видов зачастую изучают в культурах. Так, для *St. unipunctata* в лабораторных условиях установлена двудомность, обнаружен половой процесс и аукоспоробразование; последнее является типичным только для диатомовых водорослей (Давидович и Чепурнов, 1993). Таким образом, сочетание изучения вида как из природы, так и при культивировании в лаборатории расширяет наши представления о его морфологических и экологических характеристиках.

Цель настоящего исследования — обобщить многолетние данные о морфологии, аутоэкологии и фитогеографии диатомовой водоросли *Striatella unipunctata* (Lyngbye) C. A. Agardh, 1832, обитающей в микрофитобентосе Чёрного и Японского морей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пробы микрофитобентоса собирали в разных экотопах Чёрного и Японского морей с 1987 по 2019 г. на глубинах от 0,5 до 12 м (рис. 1). Материал с больших глубин отбирали с помощью водолазов. Численность и размеры клеток *St. unipunctata* определяли в камере Горяева объёмом 0,9 мм³ в трёх повторностях в световых микроскопах (далее — СМ) Биолам Л-212 при увеличениях 10×40×2,5 и 10×90×2,5, а также С. Zeiss Axioskop 40 (с программой AxioVision Rel. 4.6) и Olympus BX41 UPLanF1 при увеличении 10×40.

Морфологию ультраструктуры панциря *St. unipunctata* изучали в сканирующем электронном микроскопе (далее — СЭМ) Hitachi SU3500; очистку панцирей диатомей от органических веществ проводили «холодным» способом — обработкой концентрированной серной кислотой с последующей отмывкой в дистиллированной воде (Рябушко, 2013 ; Рябушко и Бегун, 2015). Микрофотографии выполнены в прижизненном состоянии вида в СМ.

Численность (N , кл.·см⁻²) и биомассу (B , мг·см⁻²) диатомовой водоросли определяли по формулам В. И. Рябушко (Рябушко, 2013):

$$N = n \cdot V / S \cdot V_k ,$$

где n — число клеток в камере Горяева;

V — объём пробы, мл;

S — площадь поверхности субстрата, см²;

V_k — объём камеры Горяева, равный 0,9 мм³;

$$B = h \cdot V \cdot b / S \cdot V_k ,$$

где b — сумма биообъёмов клеток в камере;

h — удельный вес водоросли, равный для бентосных диатомовых $1,2 \cdot 10^{-9}$ мг·мкм⁻³ (Оксиюк и Юрченко, 1971).

Площадь поверхности камней (y , см²) вычисляли по формуле Р. Кэлоу (Calow, 1972):

$$y = 2,22 + 0,26(d \cdot n),$$

где d — наибольшая длина камня, см;

n — наибольший периметр камня, см.

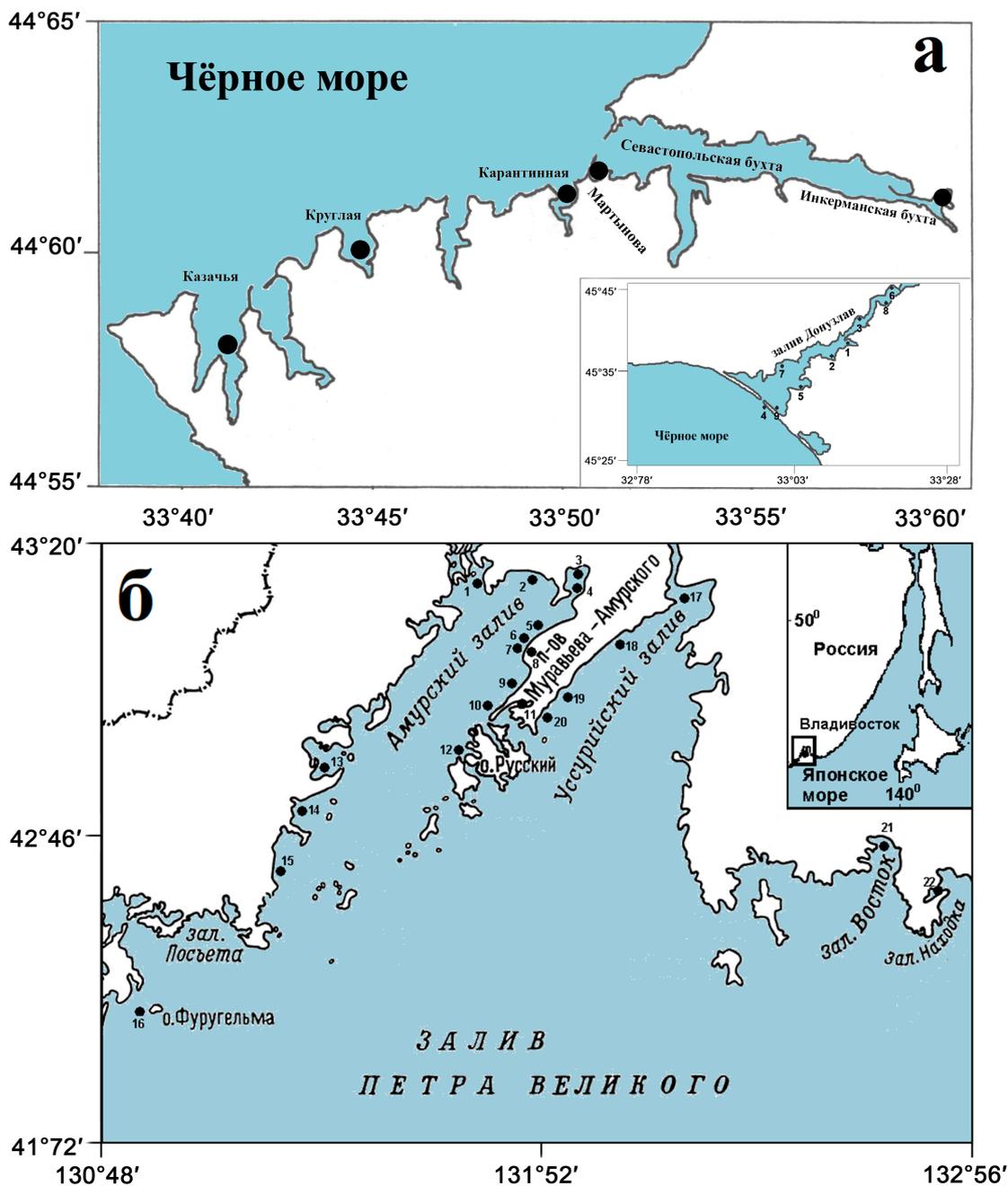


Рис. 1. Станции отбора проб (●) микрофитобентоса в бухтах Крымского полуострова, Чёрное море (а) и в заливе Петра Великого, Японское море (б)

Fig. 1. Stations (●) of microphytobenthos sampling in the bays of the Crimean Peninsula, the Black Sea (a), and in Peter the Great Bay, the Sea of Japan (б)

Площадь поверхности раковин мидии (S , см²) определяли по формуле (Михайлова и др., 1987):

$$S = 0,956 \cdot L^{2,085},$$

где L — расстояние от макушки до заднего края раковины, см.

Площадь поверхности макрофита вычисляли по формуле аллометрической зависимости площади удельной поверхности макрофита-базифита от диаметра его слоевищ (Миничева, 1989):

$$S/W = 3334/d^{0,916},$$

где S/W — удельная поверхность макрофита, см²·г⁻¹;

S — площадь поверхности макрофита, см²;

W — сырая масса макрофита, г;

d — диаметр слоевища макрофита, см.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследовали морфологию, экологию и фитогеографию крупноклеточной прикреплённой колониальной бесшовной пеннатной диатомовой водоросли *Striatella unipunctata* (Lyngbye) C. A. Agardh, 1832.

Таксономия. По классификации (Round et al., 1990), вид принадлежит классу Fragilariophyceae, порядку Striatellales Round, 1990, семейству Striatellaceae Kützing, 1844, роду *Striatella* C. A. Agardh, 1832. Вид имеет большую синонимику, его таксономическое становление относится к XIX столетию (базионим: *Fragilaria unipunctata* Lyngbye, 1819; синонимы: *Diatoma unipunctata* (Lyngbye) C. A. Agardh, 1824; *Achnanthes unipunctata* (Lyngbye) Carmichael ex Greville, 1827; *Achnanthes unipunctata* Greville, 1828; *Candollella unipunctata* (Lyngbye) Gaillon, 1833; *Tessella pedicellata* Dujardin, 1841; *Tabellaria unipunctata* (Lyngbye) Schütt, 1896) (Guiry & Guiry, 2020).

Морфология. Описание приведено по (Прошкина-Лавренко, 1955; Hendey, 1964) с нашими дополнениями. Клетки *St. unipunctata* с пояска четырёхугольно-таблитчатые (рис. 2, 3) со срезанными углами, соединённые в зигзаговидные или линейные цепочки, сидящие на длинной, толстой, студенистой ножке, с помощью которой вид прикрепляется к субстрату (рис. 2б, в, д). Панцирь довольно грубый, с многочисленными вставочными ободками, около 8 в 10 мкм, с нежной поперечной штриховкой вдоль краёв. Септы короткие, плоские, около 4 в 10 мкм, их свободный край утолщённый. Створки линейно-ланцетные с широко закруглёнными концами (рис. 5а), длина 38–115 мкм, ширина 8–18 мкм. Штрихи очень нежные, в косых, взаимно пересекающихся рядах, 18–22 в 10 мкм (рис. 5б). Осевое поле линейное с осевым ребром (рис. 5в, г), на концах которого по одной крупной слизевой поре с римопортулами [трубками, пронизывающими створку насквозь и открывающимися внутри щелью; обозначены стрелками (рис. 4)], что позволяет поддерживать связь клетки с окружающей средой и осуществлять с помощью слизиной ножки (римопортулы) прикрепление к субстрату. Хлоропласты многочисленные, радиально расположенные в виде розетки «цветка» (рис. 2).

Ниже приведены микрофотоснимки (СМ) клеток и колоний *St. unipunctata*, обнаруженных в Чёрном и Японском морях в прижизненном состоянии (рис. 2, 3). Клетки представлены со слизиной ножкой-стеблем для прикрепления к субстрату (рис. 2б, г), что ранее было отмечено нами и в перифитоне стеклянных пластин в бухте Карантинной для другого вида бентосной диатомеи — *Achnanthes armillaris* (O. F. Müller) Guiry, 2019 (= *Achnanthes longipes* C. Agardh) (рис. 2д). Также приведены фотографии ультраструктуры панцирей и створок черноморской популяции в СЭМ (рис. 4, 5).

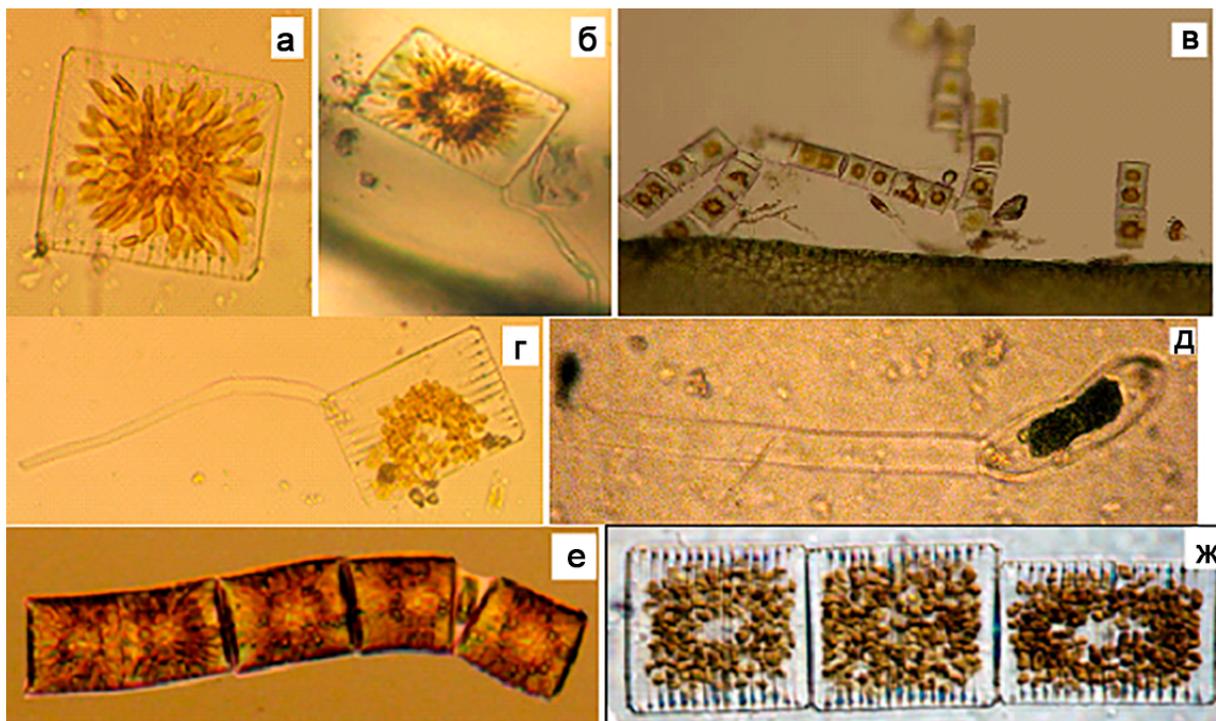


Рис. 2. Панцири *Striatella unipunctata* с хлоропластами (а–ж), клетки на слизистой ножке (б, г), колонии диатомеи в обрастании макрофита (в), клетка *Achnanthes armillaris* на слизистой ножке (д), колонии (е, ж). Световой микроскоп. Автор фото (б, в, д, е) — (Рябушко, 2013)

Fig. 2. Frustules of *Striatella unipunctata* with chloroplasts (a–ж), cells on a mucilage stalk (б, г), diatom colonies in fouling of macrophyte (в), *Achnanthes armillaris* cell on a mucilage stalk (д), and colonies (е, ж). Light microscope. The photos (б, в, д, е) by (Ryabushko, 2013)

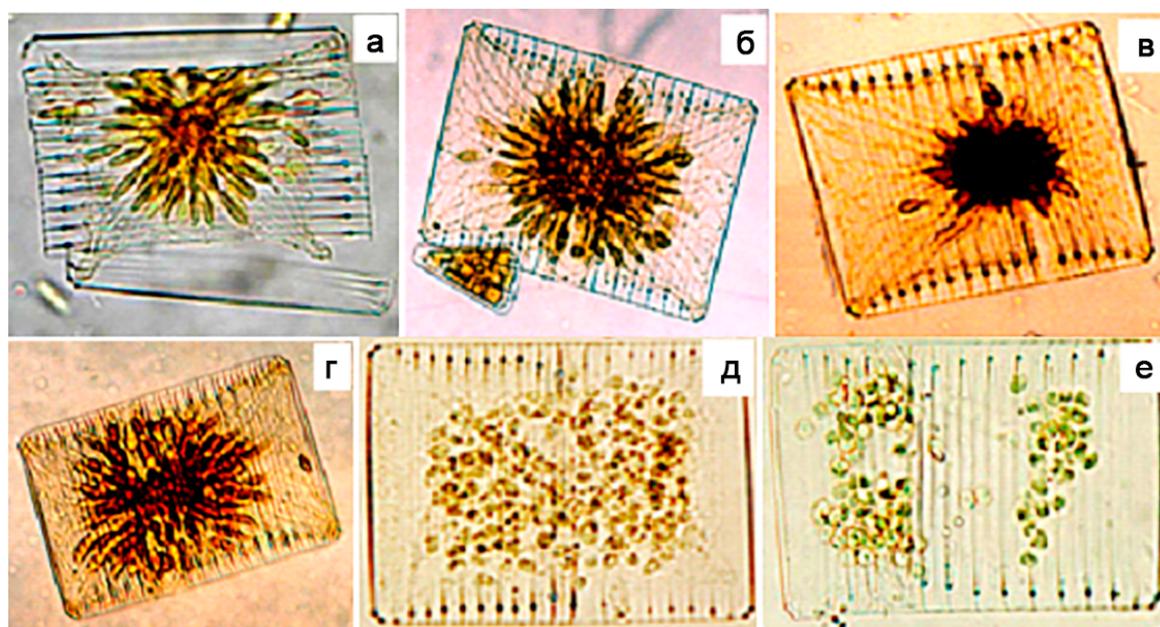


Рис. 3. Клетки *Striatella unipunctata* в прижизненном (а–г) и отмирающем (д, е) состояниях с хлоропластами, Японское море. Световой микроскоп (Рябушко и Бегун, 2016)

Fig. 3. *Striatella unipunctata* cells *in vivo* (а–г) and in dying state (д, е) with chloroplasts, the Sea of Japan. Light microscope (Ryabushko & Begun, 2016)

Размерный диапазон клеток стриаеллы из разных морей варьирует следующим образом. Для Чёрного моря — створки 25–148 мкм дл., 8–22 мкм шир.; панцири 36,3–50,4 мкм шир., 18–24 штрихов в 10 мкм (Прошкина-Лавренко, 1955, 1963); 40–80 мкм дл., 10–20 мкм шир., 20–24 штр. в 10 мкм (Cleve-Euler, 1953); 60–130 мкм дл., 20–36 мкм шир. (Hendey, 1964); 70–81 мкм дл., 18–19 мкм шир., 20–22 штр. в 10 мкм (Al-Yamani & Saburova, 2011). Для Японского моря — створки 85–125 мкм дл., 12–21 мкм шир., 7–8 ободков в 10 мкм, 20–25 штр. в 10 мкм; панцири 32–34,3 мкм дл., 10–11 мкм шир., 25 штр. в 10 мкм (Рябушко и Бегун, 2016). Многие детали тонкой ультраструктуры панциря *St. unipunctata* не видны даже при большом увеличении в СМ (рис. 3а–е), однако в СЭМ эти детали видны очень хорошо. Размеры панцирей из Чёрного моря — 63–66,2 мкм дл. (рис. 4, 5).

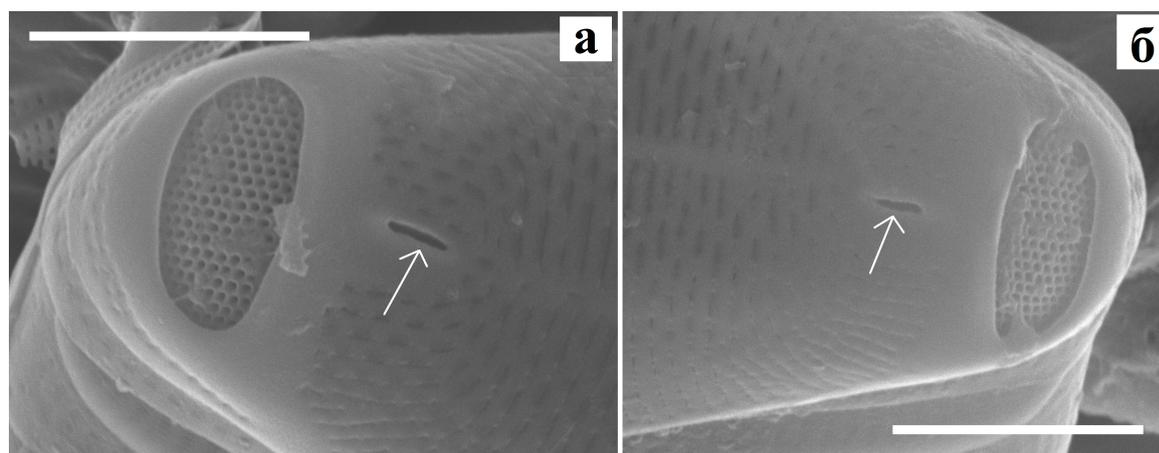


Рис. 4. Увеличенные фрагменты внешней стороны створки *Striatella unipunctata* со слизевыми порами на обоих концах (а, б) и римопортулами, указанными стрелками. Световой электронный микроскоп. Шкала: 4 мкм

Fig. 4. Fragments of *Striatella unipunctata* external valve view (а, б) with rimoportulas indicated by arrows. SEM. Scale bar: 4 μ m

Фитогеография. Вид является космополитом. Известен у берегов европейских морей Северного полушария и указан у берегов Южного полушария. Встречается в Балтийском, Баренцевом, Северном, Японском, Карибском, Средиземном, Мраморном, Эгейском, Чёрном и Азовском морях, Сиваше, проливе Босфор, у берегов Великобритании, Ирландии, Мексики, Швеции, Финляндии, Нидерландов, Дании, Германии, Латвии, Франции, Кувейта, Индии, Австралии и Новой Зеландии, на Атлантическом побережье Северной Америки и Багамских островов (Прошкина-Лавренко, 1955, 1963 ; Рябушко, 2013 ; Рябушко и Бегун, 2016 ; Al-Yamani & Saburova, 2011 ; Guiry & Guiry, 2020 ; Hendey, 1964).

Экология. Вид *St. unipunctata* является морским, бентосным, эвритермным, эвригалинным, сублиторальным. Встречается при солёности выше 10 ‰ в бухтах и у берегов открытого моря, редко в северо-западном районе Чёрного моря; в крымском побережье встречается круглогодично (Кучерова, 1957 ; Рябушко, 1994, 2013). В бентосе залива Восток северо-западной части Японского моря отмечен в эпилитоне каменистых грунтов зимой и летом на глубине 0,5 м, а также в перифитоне антропогенных субстратов (Бегун, 2012 ; Рябушко, 1984). У берегов острова Родос Эгейского моря впервые зарегистрирован в эпифитоне зелёной водоросли *Bryopsis plumosa* (Hudson) C. Agardh, 1823 (Ryabushko et al., 2019a). Указан в планктоне, эпилитоне камней и эпифитоне макрофитов у берегов Великобритании (Hendey, 1964), Швеции и Кувейта (Al-Yamani & Saburova, 2011 ; Kuylenstierna, 1989).

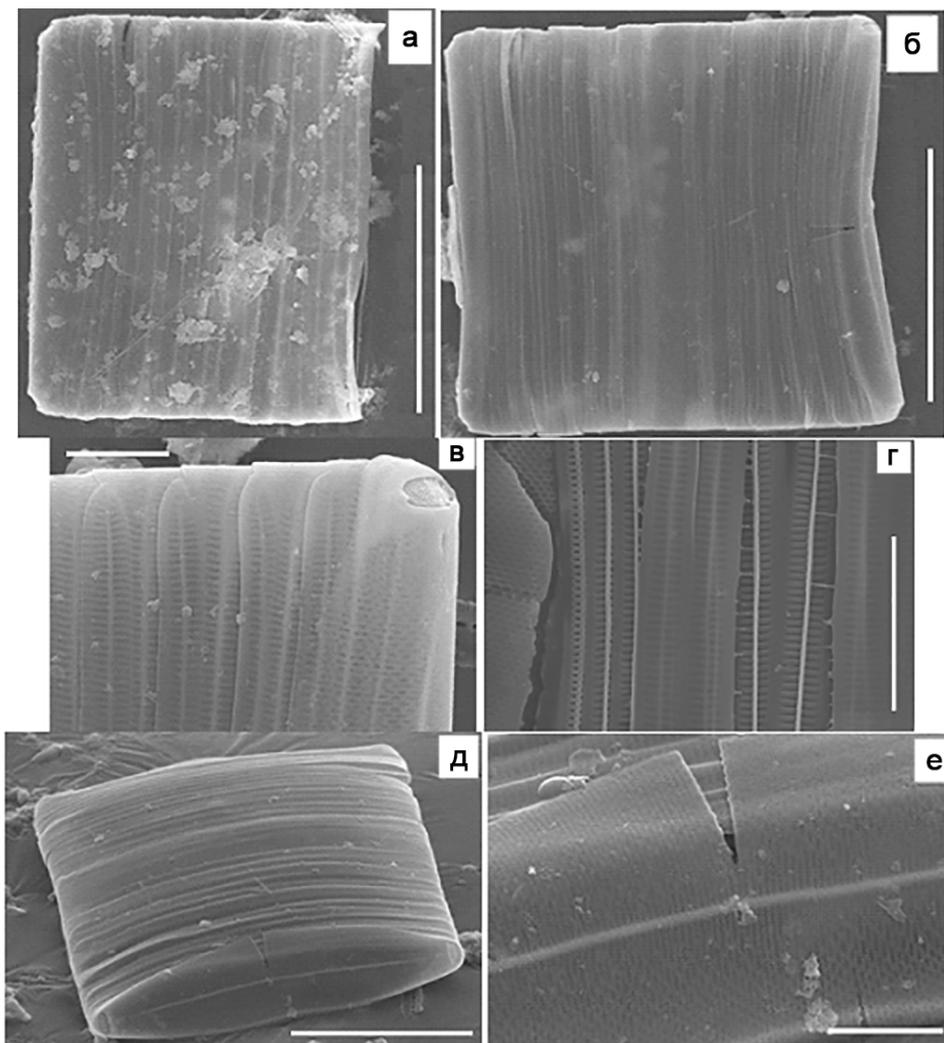


Рис. 5. Внешний вид панцирей *Striatella unipunctata* с многочисленными вставочными ободками и структурой (а–д), а также продольное осевое ребро в центральной части панциря и створки (д, е). Световой электронный микроскоп. Шкалы: 40 мкм (а, б), 30 мкм (д), 5 мкм (в, г, е)

Fig. 5. *Striatella unipunctata* external frustules view with numerous girdle bands with a structure (а–д) and longitudinal axial of rib in the central area (д, е). SEM. Scale bars: 40 μm (а, б), 30 μm (д), 5 μm (в, г, е)

Исследования *St. unipunctata* в микрофитобентосе крымского побережья Чёрного моря были начаты в 1987 г. и носили эпизодический характер (Рябушко, 2013). В августе 1988 г. во время аварийного выброса бытовых сточных вод в Каламитском заливе в районе городского пляжа, прилегающего к Сакскому озеру, при изучении диатомей в эпифитоне красных, бурых и зелёных водорослей-макрофитов на глубине от 1,5 до 12 м при температуре воды +23 °С впервые зарегистрировано цветение воды, вызванное обилием колоний *St. unipunctata* (Ryabushko, 1997). Также были обнаружены другие виды пеннатных диатомовых водорослей из родов *Amphora* Ehrenberg ex Kützing, 1844, *Cylindrotheca* L. Rabenhorst, 1859, *Licmophora* C. A. Agardh, 1827, *Navicula* Bory, 1822, *Nitzschia* A. N. Hassall, 1845 и *Pleurosigma* W. Smith, 1852. Состав микроводорослей на всех глубинах не отличался большим разнообразием и численностью. Колонии *St. unipunctata* были самыми многочисленными из колоний всех видов, но наибольшее количество их отмечено на глубине от 2 до 10 м в эпифитоне зелёной водоросли *Cladophora albida* (Nees) Kützing, 1843 и бурой водоросли *Feldmannia lebelii* (Areschoug) Hamel, 1939. Размеры панциря стриателлы на глубине 10 м варьировали от 44,8 до 128,8 мкм дл. и от 36,3 до 50,4 мкм шир.

В относительно чистых открытых акваториях крымского побережья Чёрного моря *St. unipunctata* встречалась реже. В бухте Тебенькова, одной из бухт Севастополя, в феврале и ноябре 1990 г. на глубине 0,5 м при $t = +6$ °С вид отмечен на талломах *Ericaria crinita* (Duby) Molinari & Guiry, 2020 (= *Cystoseira crinita* Duby 1830). В апреле 1998 г. в Казачьей бухте на 4,5 м при $t = +15$ °С вид зарегистрирован на талломах красной водоросли *Ceramium rubrum* (Hudson) C. Agardh, 1811 (Рябушко, 2013).

При исследовании эпифитона 15 видов красных, бурых и зелёных водорослей-макрофитов в мае и августе 1990 г. в открытой прибрежной части моря у мыса Омега и в районе санаторного пляжа на выходе из бухты Круглой, не подверженной сильному антропогенному влиянию, не было отмечено массового развития этой водоросли (Рябушко, 1996). *St. unipunctata* встречалась в небольших количествах лишь на пяти из них. Впервые были получены количественные оценки её обилия в эпифитоне: красных водорослей *Laurencia papillosa* (Forsskål) Greville, 1830 с глубины 10 м — численность 200 кл.·см⁻², *Phyllophora crispa* (Hudson) P. S. Dixon, 1964 на 20 м — 280 кл.·см⁻²; бурых водорослей *E. crinita* на 5 м — 30 кл.·см⁻², *Stilophora rhizodes* (C. Agardh) J. Agardh, 1841 — 110 кл.·см⁻²; зелёной водоросли *Ulva rigida* C. Agardh, 1823 у уреза воды — 20 кл.·см⁻².

Ниже приведены количественные данные по численности и биомассе популяций стриателлы в разных экотопах крымского побережья Чёрного моря (табл. 1–3).

В Казачьей бухте с апреля по июнь 1995 г. на глубине 0,5 м *St. unipunctata* встречена на талломах различных видов водорослей-макрофитов: *Ulva rigida*, *Enteromorpha prolifera* (O. F. Müller) J. Agardh, 1883, *Chaetomorpha linum* (O. F. Müller) Kützing, 1845, *Sphacelaria cirrosa* (Roth) C. Agardh, 1824, *Ectocarpus siliculosus* (Dillwyn) Lyngbye, 1819, *E. crinita*, *C. rubrum* и *Laurencia coronopus* J. Agardh, 1852 — и на листьях морской травы *Zostera marina* Linnaeus, 1753. Кроме того, в течение 1995–1996 гг. на глубинах 0,5–4,5 м в той же бухте изучена годовая и сезонная динамика количественного распределения популяций *St. unipunctata* в эпифитоне макрофитов и эпизооне раковин живой мидии *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 (табл. 1) в местах повышенного содержания биогенных элементов (Рябушко, 2013). Численность и биомасса клеток колебались от $0,26 \cdot 10^3$ до $41,6 \cdot 10^3$ кл.·см⁻² и от 0,011 до 1,73 мг·см⁻². Абсолютные максимальные значения отмечены 29.01.1996 при температуре воды +6,9 °С при средних значениях $5,08 \cdot 10^3$ кл.·см⁻² и 0,21 мг·см⁻². Минимальная численность ($0,63 \cdot 10^3$ кл.·см⁻²) и биомасса (0,093 мг·см⁻²) стриателлы зарегистрированы в эпизооне мидии 28.11.1995 на глубине 0,5 м при +12 °С (табл. 1).

Таблица 1. Численность (N) и биомасса (B) популяций *Striatella unipunctata* в разных экотопах Казачьей бухты крымского побережья Чёрного моря

Table 1. Abundance (N) and biomass (B) of *Striatella unipunctata* populations in different ecotopes of the Kazachya Bay of the Crimean coastal waters of the Black Sea

Дата отбора проб	Экотоп	Глубина, м	Температура, °С	N, ×10 ³ кл.·см ⁻²	B, мг·см ⁻²
17.11.1987	Эпифитон <i>Gracilaria verrucosa</i>	1,0	13,1	часто	
17.12.1987	—	4,0	10,3	ед.	
21.01.1988	—	4–5	8,2	—	
26.01.1988	Эпифитон <i>Zostera marina</i>	1–3	8,2	—	
24.02.1988	—	—	6,0	—	
02.03.1988	—	—	8,0	1,25	0,052
16.03.1988	Эпифитон <i>Gr. verrucosa</i>	—	8,0	0,90	0,037
13.04.1988	—	5–7	13,0	ед.	

Продолжение на следующей странице...

Дата отбора проб	Экотоп	Глубина, м	Температура, °С	N, ×10 ³ кл.·см ⁻²	B, мг·см ⁻²
04.07.1988	—	—	17,0	—	—
18.04.1995	Эпизоон мидии	0,5	9,6	—	—
26.04.1995	—	—	10,5	9,14	0,38
—	Эпилитон камней	—	16,0	ед.	—
12.05.1995	Эпизоон мидии	—	17,5	1,78	0,074
—	Эпифитон <i>Ulva rigida</i>	—	—	ед.	—
—	Эпифитон <i>Ceramium rubrum</i>	—	—	ед.	—
—	Эпилитон камней	—	—	ед.	—
—	Эпизоон мидии	—	—	1,65	0,070
05.06.1995	—	—	21,0	3,26	0,14
—	—	—	—	1,51	0,063
—	Эпифитон <i>C. rubrum</i>	—	—	ед.	—
—	Эпифитон <i>Chaetomorpha linum</i>	—	—	—	—
—	Эпифитон <i>Ericaria crinita</i>	—	—	—	—
—	Эпифитон <i>Ectocarpus confervoides</i>	—	—	—	—
—	Эпифитон <i>Enteromorpha prolifera</i>	—	—	—	—
—	Эпифитон <i>U. rigida</i>	—	—	—	—
29.06.1995	Эпизоон мидии	—	22,8	0,91	0,038
—	Эпифитон <i>Ch. linum</i>	—	—	ед.	—
—	Эпифитон <i>E. prolifera</i>	—	—	1,50	0,062
27.07.1995	Эпизоон мидии	2,5	23,5	0,96	0,040
—	—	—	—	0,33	0,014
—	—	—	—	0,26	0,011
01.08.1995	—	2,0	24,0	ед.	—
29.08.1995	—	0,5	23,5	1,22	0,050
—	—	—	—	1,10	0,046
—	—	—	—	ед.	—
—	Эпифитон <i>Ericaria crinita</i>	—	—	—	—
27.09.1995	Эпизоон мидии	—	19,0	1,19	0,049
—	—	2,5	—	0,76	0,032
25.10.1995	—	0,5	15,0	7,74	0,052
—	—	2,5	—	1,0	0,042
—	Эпифитон <i>Sphacelaria cirrosa</i>	0,5; 4,5	—	ед.	—
28.11.1995	Эпизоон мидии	0,5	12,0	2,23	0,093
—	—	—	—	0,63	0,026
26.12.1995	—	—	9,2	1,60	0,066
29.01.1996	—	—	6,9	41,6	1,730
—	—	—	—	0,96	0,040
—	—	2,5	—	2,43	0,100
05.03.1996	—	0,5	6,8	1,73	0,072
—	—	—	—	2,06	0,086
—	—	2,5	—	4,32	0,180
—	—	—	—	3,40	0,141
25.03.1996	—	0,5	7,7	6,25	0,259
—	—	—	—	1,14	0,047
—	—	2,5	—	1,87	0,050
—	—	—	—	3,50	0,150

Продолжение на следующей странице...

Дата отбора проб	Экотоп	Глубина, м	Температура, °С	N, $\times 10^3$ кл.·см ⁻²	B, мг·см ⁻²
—	—	—	—	2,87	0,120
—	—	4,5	—	2,07	0,086
—	—	—	—	1,39	0,057
—	—	—	—	2,73	0,113
25.04.1996	—	2,5	10,5	6,64	0,276
—	—	—	—	4,51	1,187
—	—	—	—	6,64	0,28
27.05.1996	—	—	18,7	4,64	0,192
—	—	—	—	2,73	0,113
—	—	—	—	1,22	0,051
—	—	2,5	—	2,89	0,120
—	—	—	—	1,56	0,064
—	—	4,5	—	1,98	0,082
—	—	—	—	1,67	0,069
26.09.2003	—	—	20,0	ед.	
23.01.2004	—	—	7,1	колонии	

Изучение продолжено в 2018–2019 гг. при исследовании эпилимтона каменистых грунтов и эпифитона макрофитов в заливе Донузлав, а также в Инкерманской бухте и бухте Карантинной в черте г. Севастополя (табл. 2, 3). В эпилимтоне залива в течение годового цикла на глубинах от 0,1 до 1,0 м и в диапазоне температуры воды от +9,0 °С (декабрь) до +26,4 °С (июль) максимальная численность стриателлы отмечена в июле в местах загрязнения бытовыми сточными водами, в которых наблюдались высокие значения БПК₅, окисляемости воды, нитратов и фосфатов (Ryabushko et al., 2019c). В Инкерманской бухте зарегистрированы близкие величины численности и биомассы в апреле и июле.

Таблица 2. Зависимость численности (N) и биомассы (B) *Striatella unipunctata* в эпилимтоне залива Донузлав и Инкерманской бухты от факторов среды (Крым, Чёрное море)

Table 2. Dependence of abundance (N) and biomass (B) of *Striatella unipunctata* in the epilithon of Donuzlav Gulf and Inkerman Bay on environmental factors (Crimea, the Black Sea)

Дата отбора проб	Глубина, м	Температура, °С	Солёность, ‰	N, $\times 10^3$ кл.·см ⁻²	B, мг·см ⁻²
Залив Донузлав					
13.04.2018	0,5	11,0	17,81	2,54	0,01
21.06.2018	1,0	24,4	18,54	1,65	0,011
12.07.2018	0,5	26,4	18,62	5,47	0,065
05.10.2018	0,2	19,8	16,58	2,33	0,02
08.04.2019	—	10,6	17,97	2,74	0,02
21.06.2019	0,5	25,3	13,86	1,71	0,046
11.07.2019	—	24,6	15,67	0,43	0,001
09.10.2019	1,0	15,9	17,71	2,27	0,016
Инкерманская бухта					
24.12.2018	0,3	9,0	16,76	1,34	0,005
25.04.2019	0,1	10,0	16,50	3,58	0,025
25.05.2019	—	20,0	13,31	2,05	0,017
08.07.2019	—	26,0	12,86	3,88	0,008

Для сравнения с данными эпилимнотона представлены результаты изучения морфологии и количественных характеристик стриаеллы в эпифитоне 15 видов красных, бурых, зелёных водорослей-макрофитов и цветковой морской травы *Zostera marina* из залива Донузлав и бухты Карантинной за период 2018–2019 гг. на глубинах от 0,1 до 12,0 м (табл. 3).

Таблица 3. Зависимость численности (N) и биомассы (B) *Striatella unipunctata* в эпифитоне макрофитов залива Донузлав и бухты Карантинной от факторов среды (Крым, Чёрное море)

Table 3. Dependence of abundance (N) and biomass (B) of *Striatella unipunctata* in the epiphyton of Donuzlav Gulf and Karantinnaya Bay on environmental factors (Crimea, the Black Sea)

Дата отбора проб	Макрофит-базифит	Глубина, м	Температура, °С	Солёность, ‰	N, ×10 ³ кл.·см ⁻²	B, мг·см ⁻²
Залив Донузлав						
13.04.2018	<i>Ericaria crinita</i>	0,5	11,0	17,81	4,06	0,01
19.06.2018	—	0,3	23,4	18,66	1,53	0,05
20.06.2018	—	0,5	25,0	18,52	2,62	0,005
—	<i>Zostera marina</i>	—	—	—	ед.	—
12.07.2018	—	4,0	26,0	18,62	ед.	—
05.10.2018	—	0,2	19,8	16,58	1,63	0,06
—	<i>E. crinita</i>	—	—	—	2,87	0,003
27.05.2018	<i>Gongolaria barbata</i>	—	20,7	15,56	0,34	0,004
Бухта Карантинная						
18.05.2018	<i>Chaetomorpha chlorotica</i>	0,1	18,0	17,70	2,32	0,01
08.06.2018	<i>Cladophora liniformis</i>	—	22,6	18,0	0,46	0,014
11.09.2018	<i>G. barbata</i>	0,1	22,6	18,0	0,99	0,003
28.02.2019	—	0,2	3,4	17,10	0,91	0,001
04.03.2019	<i>Cl. liniformis</i>	4,5	10,0	17,24	0,1	0,002
—	<i>Ulva linza</i>	—	—	—	1,1	0,03
—	<i>Polysiphonia denudata</i>	—	—	—	0,06	0,001
05.04.2019	<i>Cl. liniformis</i>	1,5	10,6	17,70	14,2	0,10
—	<i>Ceramium arborescens</i>	—	—	—	14,0	0,08
Мидийно-устричная ферма в бухте Карантинной						
20.07.2018	<i>Nereia filiformis</i>	12,0	25,0	18,03	3,1	0,014
08.02.2019	<i>Laurensia coronopus</i>	4,0	3,4	16,88	4,2	0,10
04.03.2019	<i>Callithamnion corymbosum</i>	6,0	10,0	18,0	0,90	0,01
—	<i>Bryopsis plumosa</i>	—	—	—	17,7	0,10
—	<i>Pyaiella littoralis</i>	—	—	—	0,6	0,008
04.04.2019	<i>Ulva clathrata</i>	3,0	9,8	17,70	1,0	0,006
—	<i>C. arborescens</i>	—	—	—	1,6	0,03
—	<i>Ulva compressa</i>	—	—	—	13,3	0,20
—	<i>P. littoralis</i>	—	—	—	4,0	0,10
14.05.2019	<i>Feldmannia paradoxa</i>	2,0	15,2	18,07	7,2	0,27

Наибольших значений численности — $13,3 \cdot 10^3$ и $14 \cdot 10^3$ кл.·см⁻² — стриаелла достигала в бухте Карантинной в апреле в эпифитоне *Ulva compressa*, *Cladophora liniformis* и *Ceramium arborescens* с максимальной величиной $17,7 \cdot 10^3$ кл.·см⁻² в марте на талломах зелёной водоросли *Bryopsis plumosa*.

Кроме того, получены данные последних отборов проб из сообществ диатомовых водорослей и цианобактерий в эпилитоне каменистых грунтов в районе пляжа бухты Карантинной 12.11.2019, собранных при $t = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и солёности 18,5‰ на глубине 0,3 м, а также на мидийно-устричной ферме в этой же бухте 19.12.2019 на 0,1 м при $+11,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 17,2‰. В пробах зарегистрировано обильное зимнее развитие колоний стриаеллы вместе с цианобактериями. В количественном распределении вида наблюдалась мозаичность, численность изменялась от 629 до $3383,4\text{ кл.}\cdot\text{см}^{-2}$, биомасса — от 0,013 до $0,077\text{ мг}\cdot\text{см}^{-2}$. При этом численность вида в декабре была в 5,4 раза выше, чем в ноябре.

Для сравнения с данными Чёрного моря представлены аналогичные результаты исследования *St. unipunctata* в микрофитобентосе северо-западной части Японского моря. Вид указан в разных экотопах: 10.11.1983 в эпилитоне каменистых грунтов в бухтах Витязь и Астафьева залива Посьета на глубине 0,2 м (Николаев, 1970, 1976); летом в заливе Восток и зимой в бухте Витязь на глубине 0,5 м (Рябушко, 1984, 2014 ; Рябушко и Бегун, 2016), в перифитоне, эпифитоне макрофитов и эпизооне моллюсков в заливах Амурский, Уссурийский, Восток и Славянка, бухтах Золотой Рог, Рында и Баклан, а также эпифитоне красной водоросли *Mastocarpus stellatus* (Stackhouse) Guiry, 1984 в марте 2014 г. в бухте Троица залива Посьета на глубинах 3–6 м при температуре воды $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. В перифитоне навигационных буёв в бухте Троица (район морского порта, загрязнённого нефтепродуктами) 22.11.2011 на глубине от 0 до 8 м численность составляла $2,33\cdot 10^3$ и $31,8\cdot 10^3\text{ кл.}\cdot\text{г}^{-1}$ соответственно (Рябушко и Бегун, 2016).

Кроме того, получены результаты по численности вида при 15-суточной экспозиции в перифитоне бухты Рында 02.08.2000 на субстратах, выполненных из оргстекла ($0,6\cdot 10^3\text{ кл.}\cdot\text{см}^{-2}$), древесины ($20\cdot 10^3\text{ кл.}\cdot\text{см}^{-2}$), высоколегированной стали ($0,15\cdot 10^3\text{ кл.}\cdot\text{см}^{-2}$) и асбоцемента ($0,3\cdot 10^3\text{ кл.}\cdot\text{см}^{-2}$), а также в эпизооне усонного рака *Amphibalanus improvisus* (Darwin, 1854), раковин мидии *Mytilus trossulus* Gould, 1850, асцидий *Aplidium tenuicaudum* (Beniaminson, 1974) и *Styela clava* Herdman, 1881 ($0,84\cdot 10^3\text{ кл.}\cdot\text{см}^{-2}$), эпифитоне зелёных и бурых водорослей ($1,45\cdot 10^3$ и $1,01\cdot 10^3\text{ кл.}\cdot\text{г}^{-1}$ сырой массы макрофитов) (Бегун, 2012 ; Рябушко и Бегун, 2015, 2016). В перифитоне пластин из асбоцемента, экспонированных с 02.07.2013 по 06.08.2013 в бухте Парис (остров Русский) в акватории Базы исследования морских млекопитающих Приморского океанариума НИЦМБ ДВО РАН на глубине от 0,5 до 5 м, получены высокие значения численности стриаеллы — от $177,3\cdot 10^3$ до $207\cdot 10^3\text{ кл.}\cdot\text{см}^{-2}$.

ОБСУЖДЕНИЕ

В литературных источниках *St. unipunctata* указана в фитопланктоне морей (Коновалова, 1984 ; Морозова-Водяницкая, 1948 ; Орлова, 1984 ; Паутова, 1984 ; Пицьк, 1963 ; Прошкина-Лавренко, 1955 ; Рябушко и др., 2004), Восточного Сиваша и Молочного лимана (Иванов, 1960). Это объясняется тем, что клетки после отрыва от субстрата под действием шторма и других возмущений в море либо после гибели могут всплывать в толщу воды. Именно поэтому на морском мелководье при отборе проб батометром вид часто отмечают в фитопланктоне. З. С. Кучерова (1957) отнесла стриаеллу к круглогодичным видам бентоса Чёрного моря. Наши исследования подтвердили эти данные. Ею отмечены единичные клетки на поверхности раковин мидии *Mytilus galloprovincialis* в Севастопольской бухте на глубине 1 м и в районе Аю-Дага на 45 м, а также на глубине 4 м на панцире травяного краба, живущего среди зарослей макрофитов (Кучерова, 1960).

Первые сведения о численности *St. unipunctata* в эпифитоне *Gongolaria barbata* (= *Cystoseira barbata*) в Казачьей бухте принадлежат Е. Б. Маккавеевой (1960). В августе 1955 г. численность стриаеллы составляла $11,9\cdot 10^3\text{ кл.}\cdot\text{см}^{-2}$ при $+22,5\text{ }^{\circ}\text{C}$; в сентябре — $1,8\cdot 10^3\text{ кл.}\cdot\text{см}^{-2}$ при $+19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$; в октябре — $55,4\cdot 10^3\text{ кл.}\cdot\text{см}^{-2}$ при $+17,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Полученные сведения были значительно дополнены

нашими данными о заселении разнообразных экотопов в разные сезоны года и на глубинах от 0,1 до 12 м. Размерный диапазон у стриателлы зависит от жизненного цикла водоросли, типа субстрата, сезона года, температуры воды и обилия биогенных элементов в местах обитания. Весной вид играет заметную роль на антропогенных субстратах — стеклянных пластинах, экспонированных в море (Рябушко, 2013). Также большой численности стриателла достигала в бухте Карантинной в апреле в эпифитоне *Ulva compressa*, *Cladophora liniformis* и *Ceramium arborescens*, а максимальной величины, $17,7 \cdot 10^3$ кл. \cdot см⁻², — в марте на талломах зелёной водоросли *Bryopsis plumosa*. Минимальные значения численности и биомассы в Чёрном море отмечены и зимой, и летом. Летом в эпифитоне макрофитов и эпизооне мидии эти показатели снижались, популяции вида находились в угнетённом состоянии, клетки встречались единично.

В микрофитобентосе Чёрного и Японского морей вид широко встречается на природных и искусственных субстратах (Рябушко и др., 2018). В Японском море в перифитоне антропогенных субстратов различных типов наибольшая численность зарегистрирована на древесине (Бегун, 2012), что отмечено и другими авторами (Bangqin et al., 1989). По нашим данным, стриателла предпочтительнее заселяет поверхность разнообразных макрофитов, а колонии встречаются в массе в местах выпуска бытовых сточных вод и повышенного биогенного загрязнения. Именно поэтому *St. unipunctata* отнесена к видам — индикаторам сапробности органического загрязнения вод в Чёрном море (Рябушко, 2013 ; Ryabushko, 1997).

Заключение. Выполнен ретроспективный анализ многолетних собственных и литературных данных по разным аспектам изучения бентосной морской бесшовной прикрепленной пеннатовой диатомовой водоросли *St. unipunctata*, обитающей в разнообразных экотопах Чёрного и Японского морей. По фитогеографической принадлежности вид является космополитом. В Японском море вид также зарегистрирован при температуре воды $-1,5$ °С. Размерные диапазоны клеток у стриателлы в двух морях перекрываются. В целом, независимо от глубины, сезона и экотопа обитания, численность вида выше в водах с избыточным органическим загрязнением, в том числе в местах выращивания моллюсков и содержания млекопитающих животных в океанариумах. Стриателла предпочтительнее заселяет поверхность донной растительности, каменистые грунты, раковины моллюсков, что позволяет ей образовывать обширные колонии, которые в результате волнений в море могут отрываться от субстрата и попадать в фитопланктон.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» (№ гос. регистрации 121030300149-0) и при частичной поддержке программы ДВО РАН «Дальний Восток» (№ 18-4-050).

Благодарность. Выражаем свою признательность В. Н. Лишаеву за помощь при работе на СЭМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бегун А. А. Биоиндикационное состояние морской среды по диатомовым водорослям эпифитона макрофитов (залив Петра Великого, Японское море) // *Известия ТИНРО*. 2012. Т. 169. С. 77–93. [Begun A. A. Bioindication of marine environment condition by epiphytic diatoms on macrophytes (Peter the Great Bay, Japan Sea). *Izvestiya TINRO*, 2012, vol. 169, pp. 77–93. (in Russ.)]
2. Давидович Н. А., Чепурнов В. А. Интенсивность аукспоробразования у двух видов Bacillariophyta в зависимости от освещённости и продолжительности фотопериода // *Альгология*. 1993. Т. 3, № 3. С. 34–41. [Davidovich N. A., Chepurnov V. A. Intensity of auxospores formation by two Bacillariophyta species depending on illumination and photoperiod duration. *Algologiya*, 1993, vol. 3, no. 3, pp. 34–41. (in Russ.)]

3. Иванов О. И. Фитопланктон Схидного Сиваша // *Біологічне обґрунтування розвитку кефального господарства Східного Сиваша і Молочно-го лиману*. Київ, 1960. С. 19–30. (Праці Інституту гідробіології АН УРСР ; № 35). [Ivanov O. I. Fytoplankton Skhydnoho Syvasha. In: *Biologichne obgruntuvannia rozvytku kefalnoho hospodarstva Skhidnoho Syvasha i Molochnoho lymanu*. Kyiv, 1960, pp. 19–30. (Pratsi Instytutu hidrobiologii AN URSSR ; no. 35) (in Ukr.)]
4. Коновалова Г. В. Видовой состав фитопланктона залива Восток // *Гидробиологические исследования заливов и бухт Приморья*. Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1984. С. 93–98. [Konovalova G. V. Vidovoi sostav fitoplanktona zaliva Vostok. In: *Gidrobiologicheskie issledovaniya zalivov i bukht Primor'ya*. Vladivostok : DVNTs AN SSSR, 1984, pp. 93–98. (in Russ.)]
5. Кучерова З. С. Видовой состав и сезонная смена диатомовых морских обрастаний // *Труды Севастопольской биологической станции*. 1957. Т. 9. С. 22–29. [Kucherova Z. S. Vidovoi sostav i sezonnaya smena diatomovykh morskikh obrastanii. *Trudy Sevastopol'skoi biologicheskoi stantsii*, 1957, vol. 9, pp. 22–29. (in Russ.)]
6. Кучерова З. С. Диатомовые обрастания некоторых моллюсков и крабов // *Труды Севастопольской биологической станции*. 1960. Т. 13. С. 39–48. [Kucherova Z. S. Diatomovye obrastaniya nekotorykh mollyuskov i krabov. *Trudy Sevastopol'skoi biologicheskoi stantsii*, 1960, vol. 13, pp. 39–48. (in Russ.)]
7. Маккавеева Е. Б. К экологии и сезонным изменениям диатомовых обрастаний на цистозире // *Труды Севастопольской биологической станции*. 1960. Т. 13. С. 27–38. [Makkaveeva E. B. K ekologii i sezonnym izmeneniyam diatomovykh obrastanii na tsistozire. *Trudy Sevastopol'skoi biologicheskoi stantsii*, 1960, vol. 13, pp. 27–38. (in Russ.)]
8. Миничева Г. Г. Показатели поверхности водорослей в структурно-функциональной оценке макрофитобентоса (на примере северо-западной части Чёрного моря) : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.18. Севастополь, 1989. 19 с. [Minicheva G. G. *Pokazateli poverkhnosti vodoroslei v strukturno-funktsional'noi otsenke makrofitobentosa (na primere severo-zapadnoi chasti Chernogo morya)* : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk : 03.00.18. Sevastopol, 1989, 19 p. (in Russ.)]
9. Михайлова Т. В., Петров А. Н., Повчун А. С. Расчёт площади поверхности раковин некоторых видов черноморских двустворчатых моллюсков / ИнБЮМ АН УССР. Деп. в ВИНТИ 20.11.87, № 8730В87, Севастополь, 1987. 6 с. [Mikhailova T. V., Petrov A. N., Povchun A. S. *Raschet ploshchadi poverkhnosti rakovin nekotorykh vidov chernomorskikh dvustvorchatykh mollyuskov* / InBYuM AN USSR. Dep. v VINITI 20.11.87, no. 8730B87, Sevastopol, 1987, 6 p. (in Russ.)]
10. Морозова-Водяницкая Н. В. Фитопланктон Чёрного моря. Ч. 1. Фитопланктон в районе Севастополя и общий обзор фитопланктона Чёрного моря // *Труды Севастопольской биологической станции*. 1948. Т. 6. С. 39–172. [Morozova-Vodyanitskaya N. V. Fitoplankton Chernogo morya. Pt. 1. Fitoplankton v raione Sevastopolya i obshchii obzor fitoplanktona Chernogo morya. *Trudy Sevastopol'skoi biologicheskoi stantsii*, 1948, vol. 6, pp. 39–172. (in Russ.)]
11. Николаев В. А. Сообщества диатомовых водорослей бентоса бухты Троицкой Японского моря // *Ботанический журнал*. 1970. Т. 55, № 6. С. 859–864. [Nikolaev V. A. Soobshchestva diatomovykh vodoroslei bentosa bukhty Troitskoi Yaponskogo morya. *Botanicheskii zhurnal*, 1970, vol. 55, no. 6, pp. 859–864. (in Russ.)]
12. Николаев В. А. Вертикальное распределение бентосных диатомовых водорослей в заливе Посьета // *Прибрежные сообщества дальневосточных морей*. 1976. № 6. С. 94–98. [Nikolaev V. A. Vertikal'noe raspredelenie bentosnykh diatomovykh vodoroslei v zalive Pos'eta. *Pribrezhnye soobshchestva dal'nevostochnykh morei*, 1976, no. 6, pp. 94–98. (in Russ.)]
13. Оксийук О. П., Юрченко В. В. О весе диатомовых водорослей // *Гидробиологический журнал*. 1971. Т. 7, № 3. С. 116–119. [Oksiyuk O. P., Yurchenko V. V. O vese diatomovykh vodoroslei. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 1971, vol. 7, no. 3, pp. 116–119. (in Russ.)]
14. Орлова Т. Ю. Видовой состав и динамика плотности планктонных диатомей бухты Витязь // *Гидробиологические исследования заливов и бухт Приморья*. Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1984. С. 109–114. [Orlova T. Yu. Vidovoi sostav i dinamika plotnosti planktonnykh diatomei bukhty Vityaz'. *Gidrobiologicheskie issledovaniya zalivov i bukht Primor'ya*. Vladivostok : DVNTs AN SSSR, 1984. С. 109–114. (in Russ.)]

- In: *Gidrobiologicheskie issledovaniya zalivov i bukht Primor'ya*. Vladivostok : DVNTs AN SSSR, 1984, pp. 109–114. (in Russ.)]
15. Паутова Л. А. Видовой состав фитопланктона пролива Старка (залив Петра Великого) // *Гидробиологические исследования заливов и бухт Приморья*. Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1984. С. 99–103. [Pautova L. A. Vidovoi sostav fitoplanktona proliva Starka (zaliv Petra Velikogo). In: *Gidrobiologicheskie issledovaniya zalivov i bukht Primor'ya*. Vladivostok : DVNTs AN SSSR, 1984, pp. 99–103. (in Russ.)]
 16. Пицык Л. К. О качественном составе фитопланктона Азовского моря // *Труды Севастопольской биологической станции*. 1963. Т. 14. С. 71–89. [Pitsyk L. K. O kachestvennom sostave fitoplanktona Azovskogo morya. *Trudy Sevastopol'skoi biologicheskoi stantsii*, 1963, vol. 14, pp. 71–89. (in Russ.)]
 17. Прошкина-Лавренко А. И. *Диатомовые водоросли планктона Чёрного моря*. Москва ; Ленинград : АН СССР, 1955. 222 с. [Proshkina-Lavrenko A. I. *Diatomovye vodorosli planktona Chernogo morya*. Moscow ; Leningrad : Nauka, 1955, 222 p. (in Russ.)]
 18. Прошкина-Лавренко А. И. *Диатомовые водоросли бентоса Чёрного моря*. Москва ; Ленинград : Наука, 1963. 243 с. [Proshkina-Lavrenko A. I. *Diatomovye vodorosli bentosa Chernogo morya*. Moscow ; Leningrad : Nauka, 1963, 243 p. (in Russ.)]
 19. Рябушко Л. И. Пеннатные диатомовые водоросли верхней сублиторали залива Восток // *Гидробиологические исследования заливов и бухт Приморья*. Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1984. С. 104–108. [Ryabushko L. I. Pennatnye diatomovye vodorosli verkhnei sublitorali zaliva Vostok. In: *Gidrobiologicheskie issledovaniya zalivov i bukht Primor'ya*. Vladivostok : DVNTs AN SSSR, 1984, pp. 104–108. (in Russ.)]
 20. Рябушко Л. И. Структура микрофитобентоса твёрдых грунтов прибрежных районов Севастопольской бухты (Чёрное море) // *Альгология*. 1994. Т. 4, № 2. С. 15–21. [Ryabushko L. I. Microphytobenthic diatoms from the hard grounds in littoral of the Sevastopol Bay (the Black Sea). *Al'gologiya*, 1994, vol. 4, no. 2, pp. 15–21. (in Russ.)]
 21. Рябушко Л. И., Бабич И. И., Рябушко В. И., Смирнова Л. Л. Седиментация фитопланктона в бухте Казачья Чёрного моря (Украина) // *Альгология*. 2004. Т. 14, № 1. С. 48–61. [Ryabushko L. I., Babich I. I., Ryabushko V. I., Smirnova L. L. Sedimentation of phytoplankton in Kazachya Bay of the Black Sea (Ukraine). *Al'gologiya*, 2004, vol. 14, no. 1, pp. 48–61. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v5.i4.20>
 22. Рябушко Л. И. *Микрофитобентос Чёрного моря*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. 416 с. [Ryabushko L. I. *Microphytobenthos of the Black Sea*. Sevastopol : EKOSI-Gidrofizika, 2013, 416 p. (in Russ.)]
 23. Рябушко Л. И. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) залива Восток Японского моря // *Биота заповедников Дальнего Востока*. 2014. Т. 2. С. 4–17. [Ryabushko L. I. Diatoms (Bacillariophyta) of the Vostok Bay, Sea of Japan. *Biodiversity Environment of Far East Reserves*, 2014, vol. 2, pp. 4–17. (in Russ.)]
 24. Рябушко Л. И., Бегун А. А. *Диатомовые водоросли микрофитобентоса Японского моря*. Севастополь ; Симферополь : Н. Орианда, 2015. Т. 1. 288 с. [Ryabushko L. I., Begun A. A. *Diatoms of Microphytobenthos of the Sea of Japan*. Sevastopol ; Simferopol : N. Orianda, 2015, vol. 1, 288 p. (in Russ.)]
 25. Рябушко Л. И., Бегун А. А. *Диатомовые водоросли микрофитобентоса Японского моря (синапсис и атлас)* : в 2 т. Севастополь : КИА, 2016. Т. 2. 324 с. [Ryabushko L. I., Begun A. A. *Diatoms of Microphytobenthos of the Sea of Japan (Synopsis and Atlas)* : in 2 vols. Sevastopol : KIA, 2016, vol. 2, 324 p. (in Russ.)]
 26. Рябушко Л. И., Балычева Д. С., Поспелова Н. В., Бегун А. А. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) микрофитобентоса и фитопланктона заповедных акваторий в прибрежье Чёрного и Японского морей // *Биота и среда заповедных территорий*. 2018. № 4. С. 5–24. [Ryabushko L. I., Balycheva D. S., Pospelova N. V., Begun A. A. Diatoms (Bacillariophyta) of microphytobenthos and phytoplankton of the protected areas of the coastal waters of the Black Sea and the Sea of Japan. *Biota i sreda zapovednykh territorii*, 2018, no. 4, pp. 5–14. (in Russ.)]
 27. Al-Yamani F. Y., Saburova M. A. *Illustrated Guide on the Benthic Diatoms of Kuwait's Marine Environment*. Kuwait : Kuwait Institute for Scientific Research, 2011, 352 p.

28. Bangqin H., Zhaodi Ch., De Xiang J. J. Ekologicheskie issledovaniya prikreplennykh diatomovykh vodoroslei na iskusstvennykh substratakh v Ksiamene, Kitai. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 1989, vol. 28, no. 5, pp. 549–553.
29. Calow R. A method for determining the surface areas of stones to enable quantitative density estimates of littoral stonedwelling organisms to be made. *Hydrobiologia*, 1972, vol. 40, no. 1, pp. 37–50.
30. Cleve-Euler A. *Die Diatomeen von Schweden und Finnland*. Stockholm : Almqvist & Wiksells Boktryckeri AB, 1953, Teil II, Bd. 4, No. 1, 158 S.
31. Guiry M. D., Guiry G. M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication. Galway : National University of Ireland, 2020. URL: <https://www.algaebase.org> [accessed: 01.02.2020].
32. Hendey N. I. *An Introductory Account of the Smaller Algae of British Coastal Waters*. Pt. 5. *Bacillariophyceae (Diatoms)*. London, 1964, 740 p.
33. Kuylenstierna M. *Benthic Algal Vegetation in the Nordre Älv Estuary (Swedish West Coast)* / Göteborgs Universitet. [dissertation]. Göteborg, Sweden, 1989, vol. 1, 244 p.
34. Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G. *The Diatoms. Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge : Cambridge University, 1990, 747 p.
35. Ryabushko L. I. Fouling diatoms on the benthic plants of the Black Sea by cape Omega. *Hydrobiologia*, 1996, vol. 2, no. 2, pp. 15–22.
36. Ryabushko L. I. Demography of the diatom populations *Striatella unipunctata* from different biotopes. *Phycologia*, 1997, vol. 36, iss. sup4, pp. 364.
37. Ryabushko L. I., Bondarenko A. V., Shiroyan A. G. Diatoms of *Bryopsis plumosa* (Hudson) C. A. Agardh (Chlorophyta, Bryopsidales) epiphyton from the Black and Aegean seas. *International Journal on Algae*, 2019a, vol. 21, no. 4, pp. 321–334. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v21.i4.30>
38. Ryabushko L. I., Balycheva D. S., Bondarenko A. V., Zheleznova S. N., Begun A. A., Stonik I. V. Different aspects of studying a diatom *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin 1964 in natural and laboratory conditions. *Morskoj biologicheskij zhurnal*, 2019b, vol. 4, no. 2, pp. 52–62. <https://doi.org/10.21072/mbj.2019.04.2.06>
39. Ryabushko L. I., Lishaev D. N., Kovrigina N. P. Species diversity of epilithon diatoms and the quality of the waters of the Donuzlav Gulf ecosystem (Crimea, the Black Sea). *Diversity*, 2019c, vol. 11, iss. 7, pp. 1–112. <https://doi.org/10.3390/d11070114>

**AUTECOLOGY OF BENTHIC DIATOM
STRIAELLA UNIPUNCTATA (LYNGBYE) C. A. AGARDH, 1832 –
INDICATOR OF ORGANIC WATER POLLUTION
(BLACK SEA AND SEA OF JAPAN)**

L. I. Ryabushko¹, A. A. Begun², A. G. Shiroyan¹, D. N. Lishaev¹, and E. S. Miroshnichenko¹

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation

²A. V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation
E-mail: larisa.ryabushko@yandex.ru

Analysis of long-term data (1987–2019) was carried out on the morphology and autecology of the benthic colonial large-cell species *Striatella unipunctata* (Lyngbye) C. A. Agardh, 1832 in the microphytobenthos of the Black Sea and Sea of Japan, including water areas of specially protected natural areas of Russia. The species is widely found on natural and artificial substrates in the Black Sea year-round, and in the Sea of Japan, at a water temperature down to –1.5 °C. *St. unipunctata* quantitative data were determined by direct cell counting in the Goryaev camera under light microscopes (LMs) Biolam L-212, Axioskop 40, and Olympus BX41. Species morphology, phytogeography, and ecology are described. The cell size range of populations is presented: for the Black Sea, valves 25–148 µm long, 8–22 µm wide, frustules 36.3–50.4 µm wide, 18–24 fibulae in 10 µm, and 7–8 girdle bands in 10 µm; for the Sea of Japan, valves 85–125 µm long, 12–21 µm wide, 7–8 girdle bands in 10 µm, 20–25 fibulae in 10 µm, frustules 32.0–34.3 µm long, 10–11 µm wide, and 25 fibulae in 10 µm. For the first time,

St. unipunctata valves and frustules were studied *in vivo* under LMs, and frustule ultrastructure, under a scanning electron microscope (SEM). For the first time, quantitative indicators of the species populations from the Black Sea and Sea of Japan were compared. The morphology of the frustule ultrastructure of *St. unipunctata* was studied under a Hitachi SEM, model SU3500 (Japan), in Leica EM ACE200 gold-palladium-coated samples. In the Kazachya Bay of the Black Sea near the Oceanarium, the absolute maximum abundance was recorded – $41.6 \cdot 10^3$ cells·cm⁻² with a biomass of 1.73 mg·cm⁻² in January (t = +6.9 °C) in the epizoon of the cultured mussel *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 at a depth of 0.5 m at excessive organic pollution of water. The minimum values were of $0.26 \cdot 10^3$ cells·cm⁻² and 0.011 mg·cm⁻², respectively, in July (t = +23.5 °C) at a depth of 2.5 m. In the Paris Bay (Russky Island) of the Sea of Japan in the water area of the Marine Mammal Research Base of the Primorsky Oceanarium (Vladivostok), the abundance in the asbestos plates periphyton was of $207 \cdot 10^3$ cells·cm⁻² in the summer. For the first time, unique micrographs of the species *in vivo* were obtained under a LM, and of purified frustules – under a SEM.

Keywords: benthic diatom *Striatella unipunctata*, morphology, ecology, Black Sea, Sea of Japan