

Морфологические аномалии половой системы у некоторых видов брюхоногих моллюсков (Neogastropoda) Белого и Баренцева морей

П. Ю. ДГЕБУАДЗЕ¹, Ю. И. КАНТОР²

¹Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 119992, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Москва, РОССИЯ;

²Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, 119071, Ленинский проспект, д. 33, Москва, РОССИЯ.

Morphological anomalies of reproductive system of some gastropod species (Neogastropoda) from the White and Barents seas

P.Yu. DGEBUADZE¹, Yu. I. KANTOR²

¹Biological Faculty of Moscow State University, Leninskiye Gory, 1, building 12, 119992, Moscow, RUSSIA;

²A.N. Severtzov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Leninski prospect 33, Moscow 119071, RUSSIA

ABSTRACT. Anomalies in female reproductive system (imposex) were recorded in populations of *Buccinum undatum* and *Nucella lapillus* in the White and Barents seas. For *Buccinum cyaneum* from the Barents Sea the anomalies in reproductive system were not found. 7.7% of females of *Buccinum undatum* from the White Sea had imposex in 1976, and 6.5% in 2005; in the Barents Sea in 2005 – 29.5%. 46.1% of females of *Nucella lapillus* from the Barents Sea have imposex. The degree of development of imposex demonstrated that the strait Velikaya Salma of the White Sea is less polluted than the Dal'nezelenetskaya Bay of the Barents Sea. By imposex development and probably by organotin pollution the Barents Sea corresponds to the most clean in this respect areas of the British Islands coast – north-eastern England. Comparison of the data of 1976 and 2005 from the White Sea suggested that certain low percentage of females of *Buccinum undatum* with imposex may be present in populations inhabiting non-polluted areas.

Введение

Псевдогермафродитизм — появление некоторых признаков мужской половой системы у самок брюхоногих моллюсков. Это явление впервые было описано для раздельнополого вида *Nucella lapillus* (Linnaeus, 1758) (Muricidae) побережья Великобритании [Blaber, 1970]. Впоследствии оказалось, что подобные аномалии распространены довольно широко и к настоящему времени псевдогермафродитизм отмечен у 118

видов брюхоногих моллюсков, главным образом относящихся к группе Neogastropoda [Stroben *et al.*, 1992; Smith, 1996; Ruiz *et al.*, 1996; Terlizzi *et al.*, 1998; Horiguchi *et al.*, 1998; Santos *et al.*, 2000; Rees *et al.*, 2001; Bech, 2002; Marshall, Rajkumar, 2003].

Дальнейшие исследования показали, что развитие псевдогермафродитизма зависит от уровня загрязнения окружающей среды, в частности, от состава красок (наличия трибутилолова), используемых в качестве противообрастательных средств при покраске морских судов [Smith, 1981].

Исследования, проведенные в Университете Гете во Франкфурте (Германия) [Stroben *et al.*, 1992] и в Морской Лаборатории в Абердине (Великобритания) [Davies, 2000; Birchenough *et al.*, 2002] с использованием химического анализа воды, показали, что химические соединения на основе трибутила и трифенила (в частности, трибутилолово) являются наиболее токсичными среди всех используемых органических веществ, и именно они вызывают появление импосекса у моллюсков.

Таким образом, явление импосекса у переднежаберных брюхоногих моллюсков (и прежде всего у *Nucella lapillus*) стало использоваться в качестве биоиндикатора состояния окружающей среды (в частности, загрязнения трибутилоловом).

Впоследствии были сделаны попытки использовать в качестве биоиндикаторного вида не только *Nucella lapillus*, но и другие виды переднежаберных брюхоногих моллюсков. В частности, такие работы проводились на *Buccinum undatum* (Linnaeus, 1758) (Buccinidae), у которого также было обнаружено явление импосекса [Кантор, 1984]. Однако позже было установлено, что у популяций *Buccinum undatum*, имеющих высокий уровень органического олова в тканях, не всегда обнаруживается импосекс [Nicholson *et al.*, 1998].

Таблица 1. Объем обработанного материала.

Вид моллюска	Общее количество	Количество самцов	Количество самок	Особь с импосексом (количество/%)
<i>Buccinum undatum</i> (1976, Белое море)	100	48	52	4/7,7%
<i>Buccinum undatum</i> (2005, Белое море)	112	50	62	4/6,5%
<i>Buccinum undatum</i> (2005, Баренцево море)	29	12	17	5/29,5%
<i>Buccinum cyaneum</i> (2005, Баренцево море)	23	12	11	-/-
<i>Nucella lapillus</i> (2005, Баренцево море)	32	6	26	12/46,1%

В России исследования псевдогермафродитизма не получили широкого развития. Помимо указанной выше работы Кантора [1984] нам не удалось найти публикаций по этому вопросу. В то же время, в наших водах встречаются некоторые виды, которые в европейских странах используются для мониторинга развития импосекса, в первую очередь виды родов *Buccinum* (сем. Buccinidae) и *Nucella* (сем. Muricidae).

Целью данной публикации является выявление наличия и степени проявления псевдогермафродитизма в некоторых популяциях *Buccinum* spp. и *Nucella lapillus* Белого и Баренцева морей.

Материал и методы

Материал был собран на территории Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова МГУ им. М.В. Ломоносова (июнь — август 2005 года) и в губе Дальнезеленецкой Баренцева моря (август 2005 года).

На Белом море были собраны моллюски вида *Buccinum undatum* — 112 экземпляров, из которых 50 особей были самцами, а 62 — самками.

На Баренцевом море были собраны моллюски трех видов:

Buccinum undatum — 29 особей: 12 самцов, 17 самок.

Buccinum cyaneum (Bruguière, 1792) — 23 особи: 12 самцов, 11 самок.

Nucella lapillus — 32 особи: 6 самцов, 26 самок.

Сбор материала осуществляли в ходе водолазных погружений и на литорали.

Собранных моллюсков фиксировали в 4% растворе формалина или 70% растворе спирта. В лабораторных условиях у всех моллюсков измеряли высоту раковины, затем их извлекали из раковины и препарировали для рассмотрения половой системы. Морфология моллюсков изучалась с помощью бинокулярного микроскопа МБС-10, при увеличении 8x2 и 8x4. Пол моллюсков определялся по наличию белковой и капсулярной желез в паллиальном гонодукте, которые встречаются только у самок.

Кроме того, были рассмотрены моллюски

вида *Buccinum undatum* из коллекции Зоологического музея МГУ им. М.В. Ломоносова, собранные в Кандалакшском заливе Белого моря в июне — августе 1976 года Ю.И. Кантором. Из этой выборки было просмотрено 100 особей, из которых 48 оказались самцами, а 52 — самками.

Степень выраженности аномалий в строении половой системы оценивалась по Эльманну с соавторами [Oehlmann *et al.*, 1991].

Результаты

Исследование беломорской популяции *Buccinum undatum* в 2005 году, показало, что из 62 изученных самок лишь у четырех (6,5%) был зарегистрирован импосекс (Табл. 1).

У двух беломорских особей наблюдались аномалии типа 1а (Рис. 1), заключающиеся в развитии позади правого щупальца тонкого пениса без протока. У двух других особей были обнаружены аномалии типа 2а, представляющие собой развитие позади правого щупальца пениса с развитым протоком.

Среди собранных в Баренцевом море моллюсков у 5 самок из 17 (29,5%) был обнаружен псевдогермафродитизм (Табл. 1). У трех особей наблюдались аномалии типа 1а, а у двух — типа 2а (Рис. 1).

11 самок *Buccinum cyaneum* баренцевоморской популяции не имели выраженных аномалий в строении половой системы. Из 26 самок *Nucella lapillus* 12 особей (46,1%) были псевдогермафродитами (Табл. 1). У трех особей наблюдались аномалии типа 1а-2а, представляющие собой наличие позади правого щупальца тонкого пениса и зачатка протока (Рис. 2). У семи особей были выражены аномалии типа 2а, а у двух особей — аномалии типа 2а-3а, заключающиеся в наличии позади правого щупальца пениса с развитым протоком, продолжающимся в короткий периферический проток *vas deferens* (Рис. 2).

Обсуждение

Судя по доступным литературным данным, можно сказать, что у *Buccinum undatum* и *Nucella lapillus* довольно часто обнаруживается псевдогермафродитизм, вызванный повышенной кон-

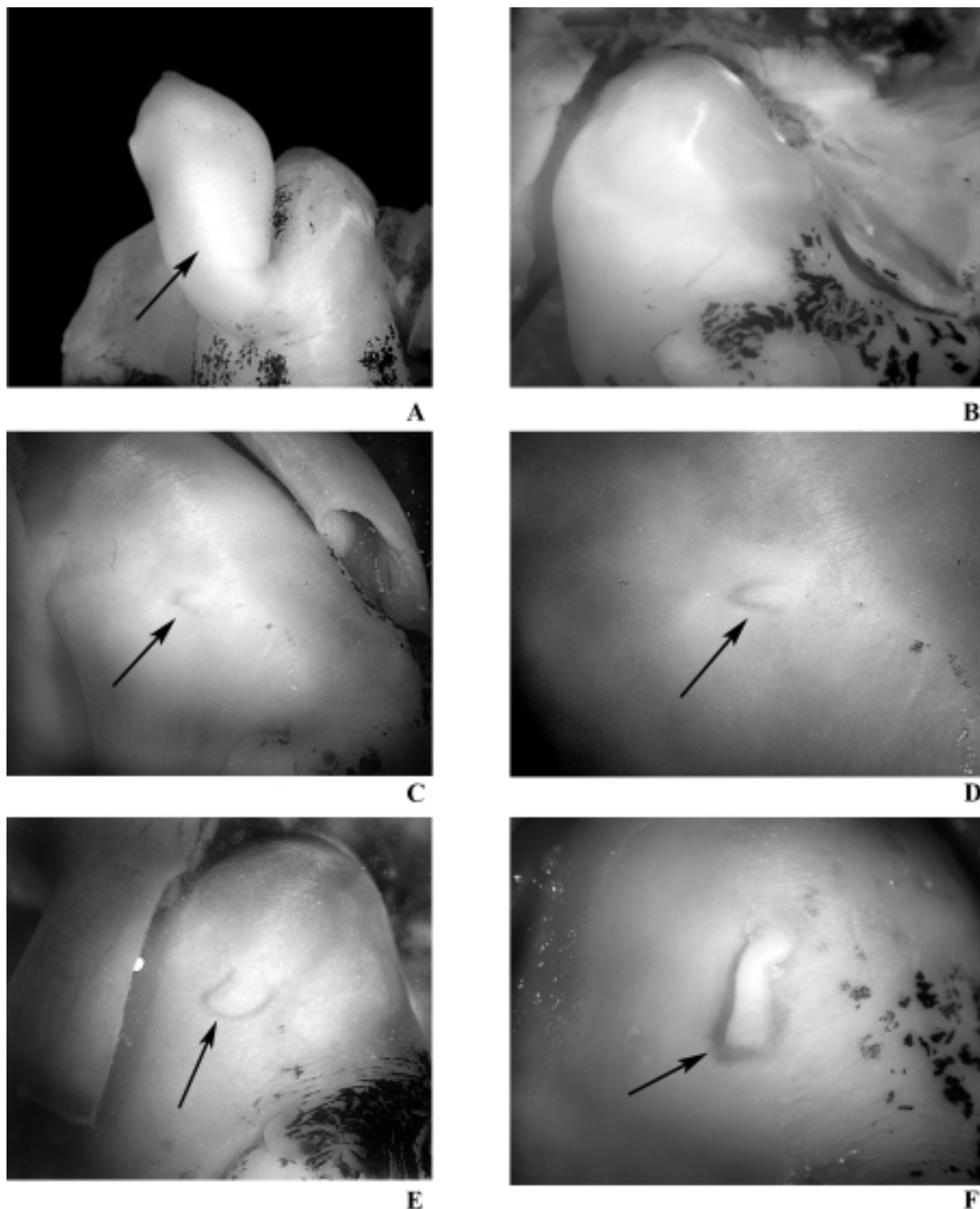


РИС. 1. *Buccinum undatum* из пролива Великая Салма Белого моря. А — самец; В — самка без признаков псевдогермафродитизма; С, D — самка с псевдогермафродитизмом, выраженным на стадии 1а (D — увеличено); Е, F — самки с псевдогермафродитизмом, выраженным на стадии 2а. Стрелками указан пенис.

FIG. 1. — *Buccinum undatum* from the strait Velikaya Salma of the White Sea. А — male; В — female without imposex; С, D — female with imposex at the stage 1a (D — enlarged); Е, F — females with imposex at the stage 2a. Arrows indicate penis.

центрацией в воде трибутилолова. Это связано с использованием красителей на основе органического олова в качестве противообрастательных средств. Незначительную выраженность им-

посекса у беломорской популяции *Buccinum undatum* можно объяснить практически отсутствующим судоходством в местах взятия проб — в проливе Великая Салма в окрестностях Беломор-

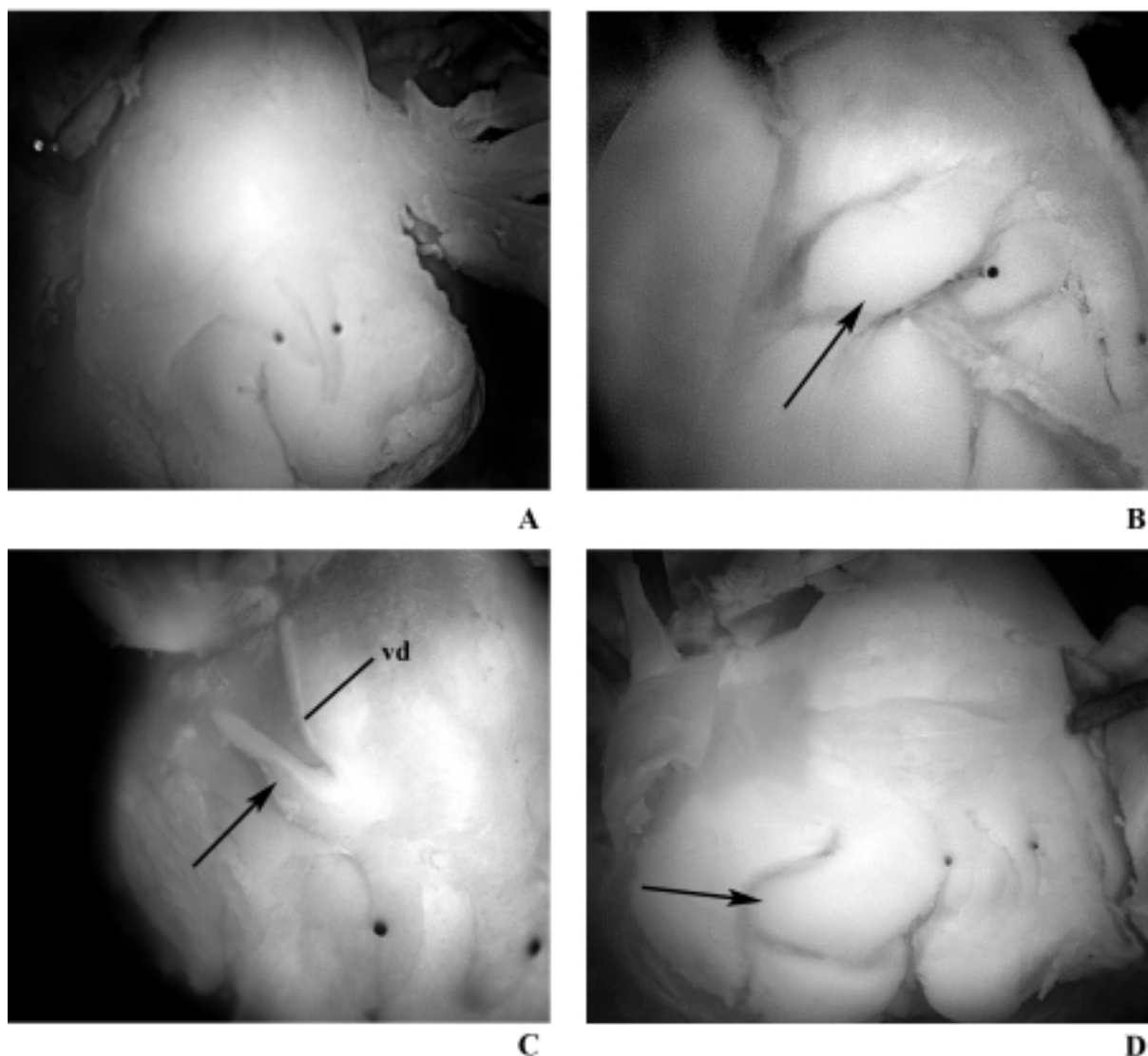


РИС. 2. *Nucella lapillus* из губы Дальнезеленецкая Баренцева моря. А — самка без признаков псевдогермафродитизма; В — самец; С — самка с псевдогермафродитизмом, выраженным на стадии 1а—2а; D — самка с псевдогермафродитизмом, выраженным на стадии 2а-3а. Стрелками указан penis. Vd — *vas deferens*.

FIG. 2. *Nucella lapillus* from the Dal'nezelenetskaya Bay of the Barents Sea. A — female without imposex; B — male; C — female with imposex at the stage 1a—2a; D — female with imposex at the stage 2a-3a. Arrows indicate penis. Vd — *vas deferens*.

ской биологической станции им. Н.А. Перцова. Действительно, в настоящее время пролив Великая Салма используется только судами, принадлежащими биологической станции, и небольшим количеством моторных лодок.

Более сильное проявление псевдогермафродитизма у баренцевоморских *Buccinum undatum* и *Nucella lapillus* объясняется, видимо, постоянным присутствием органического олова в водах Баренцева моря и его попаданием в Дальнезеленецкую бухту.

Данных о наличии псевдогермафродитизма у *Buccinum undatum* в литературе не было найдено.

Полученные данные подтверждают, что моллюски вида *Nucella lapillus* обладают большей

чувствительностью к трибутилолову по сравнению с моллюсками вида *Buccinum undatum*.

Сопоставляя наши данные по *Buccinum undatum* с результатами, полученными из проливов Скагеррак и Каттегат [Strand, Jacobsen, 2002], можно предположить, что концентрация органического олова в проливе Великая Салма Белого моря значительно ниже таковой в проливе Скагеррак.

Сравнение наших данных с результатами Странда и Якобсена показало, что *Buccinum undatum* из Дальнезеленецкой бухты Баренцева моря имеет примерно такую же долю аномальных особей, как в популяции моллюсков из Скагеррака, где концентрация органического олова была самой низкой (Табл. 2).

Таблица 2. Доля аномальных особей *Buccinum undatum* в разных популяциях Северной Атлантики.

	Прибрежные воды Дании 1997/98 [Strand, Jacobsen, 2002]		Белое море, 2005 (прол. Великая Салма, наши данные)	Баренцево море, 2005 (Дальнезеленская бухта, наши данные)
	Район с низкой концентрацией трибутилола (Скагеррак)	Район с высокой концентрацией трибутилола (к югу от Спронге)		
Общее число самок	16	13	62	17
Процент импосекса (%)	31	85	6,5	29,5
Судоходство	Сильно развито		Не развито	Слабо развито

Таблица 3. Доля аномальных особей *Nucella lapillus* в разных популяциях Северной Атлантики.

	Побережье Португалии, 1995/96 [Santos et al., 2000]		Побережье южного и юго- восточного Уэльса, 1996/97 [Morgan et al., 1998]		Побережье Великобритании, 2001 [Birchenough et al., 2002]		Баренцево море, 2005
	Vila Nova de Milfontes	Vila Praia de Ancora	Kitchen Corner	West angle Bay	Северо- восточная Англия	Юго- западная Англия	Губа Дальне- зеленская
Общее число самок	22	33	30	22	25	18	26
Процент импосекса (%)	18,2	100	70	100	48	93	46,1
Судоходство	Сильно развито		Сильно развито		Сильно развито		Слабо развито

Сравнивая долю аномальных особей *Nucella lapillus* в разных популяциях Северной Атлантики можно отметить, что наши результаты для Баренцева моря ближе всего к данным, полученным в Северо-восточной Англии [Birchenough et al., 2002] (Табл. 3).

При рассмотрении материала 1976 года из коллекции Зоологического музея МГУ им. М.В. Ломоносова, собранного в Кандалакшском заливе Белого моря, у 4 самок из 52 (7,7%) был обнаружен импосекс степени 1а. (Табл. 4). При сравнении этих данных с результатами, полученными в 2005 году, можно заключить, что за 30 лет ситуация в Белом море не изменилась. Возможно, в популяциях *Buccinum undatum* постоянно присутствует небольшой процент аномальных самок (3-4%) даже при отсутствии загрязнения. Это подтверждается нахождением незначительного количества самок с выраженным импосексом в пробах *Buccinum undatum*, собранных

в конце XIX — начале XX века в районе Соловецких островов [Кантор, 1984], когда трибутилово еще не использовалось в составе красок для обработки судов.

Благодарности

Первый автор выражает благодарности ст. преподавателю кафедры зоологии беспозвоночных биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова Г.П. Сальковой и доценту кафедры А.А. Львовой за ценные консультации и замечания, высказанные при работе над рукописью; сотрудникам Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова МГУ им. М.В. Ломоносова за помощь и предоставление возможности сбора необходимого материала; сотрудникам лаборатории экологии и морфологии морских беспозвоночных ИПЭЭ РАН за любезно предоставленный материал из Баренцева моря; ведущему научному сотруднику Зоологического музея МГУ им. М.В. Ломоносова Д.Л. Иванову за предоставление материала.

Таблица 4. Сопоставление долей аномальных особей *Buccinum undatum* в выборках 1976 и 2005 годов из Белого моря.

Годы наблюдения	Общее число особей	Количество самцов	Количество самок	Особь с импосексом (количество/%)
1976 г.	100	48	52	4/7,7%
2005 г.	112	50	62	4/6,5 %

Литература

- Кантор Ю.И. 1984. Псевдогермафродитизм у *Buccinum undatum* (Gastropoda, Prosobranchia). *Зоологический журнал*, 63(8): 1256-1258.
- Bech M. 2002. Imposex and tributyltin contamination as a consequence of the establishment of a marina, and increasing yachting activities at Phuket Island, Thailand. *Environmental Pollution*, 117: 421-429.
- Birchenough A. C., Evans S. M., Moss C., Welch R. 2002. Re-colonisation and recovery of populations of dogwhelks *Nucella lapillus* (L.) on shores formerly subject to severe TBT contamination. *Marine Pollution Bulletin*, 44: 652-659.
- Blaber S. J. M. 1970. The occurrence of a penis-like outgrowth behind the right tentacle in spent females of *Nucella lapillus*. *Proceedings of the Malacological Society of London*, 39: 231-233.
- Davies I. M. 2000. Kinetics of the development of imposex in transplanted adult dogwhelks, *Nucella lapillus*. *Environmental Pollution*, 107: 445-449.
- Horiguchi T., Hyeon-Seo C., Shiraishi H., Shibata Y., Soma M., Morita M., Shimizu M. 1998. Field studies on imposex and organotin accumulation in the rock shell, *Thais clavigera*, from the Seto Inland Sea and the Sanriku region, Japan. *The Science of the Total Environment*, 214: 65-70.
- Marshall D. J., Rajkumar A. 2003. Imposex in the indigenous *Nassarius kraussianus* (Mollusca: Neogastropoda) from South African harbours. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 1150-1155.
- Morgan E., Murphy J., Lyons R. 1998. Imposex in *Nucella lapillus* from TBT contamination in South-West Wales: a continuing problem around ports. *Marine Pollution Bulletin*, 10: 840-843.
- Nicholson G. J., Evans S. M., Smith R. 1998. The value of imposex in the dogwhelk *Nucella lapillus* and the common whelk *Buccinum undatum* as indicators of TBT contamination. *Invertebrate Reproduction Development*, 34: 289-300.
- Oehlmann J., Stroben E., Fioroni P. 1991. The morphological expression of imposex in *Nucella lapillus* (Linnaeus) (Gastropoda: Muricidae). *Journal of Molluscan Studies*, 57: 375-390.
- Rees C. M., Brady B. A., Fabris G. J. 2001. Incidence of imposex in *Thais orbita* from Port Phillip Bay (Victoria, Australia), following 10 years of regulation on use of TBT. *Marine Pollution Bulletin*, 42: 873-878.
- Ruiz J. M., Bachelet G., Caumette P., Donard O. F. X. 1996. Three decades of tributyltin in the coastal environment with emphasis on Arcachon Bay, France. *Environmental Pollution*, 93: 195-203.
- Santos M. M., Vieira N., Santos A. M. 2000. Imposex in the dogwhelk *Nucella lapillus* (L.) along the Portuguese Coast. *Marine Pollution Bulletin*, 40: 643-646.
- Smith B. S. 1981. Reproductive anomalies in stenoglossan snails related to pollution from marinas. *Journal of Applied Toxicology*, 1: 15-21.
- Smith P. J. 1996. Selective decline in imposex levels in the dogwhelk *Lepsiella scobina* following a ban on the use of TBT antifoulants in New Zealand. *Marine Pollution Bulletin*, 32: 362-365.
- Strand J., Jacobsen J. A. 2002. Imposex in two sublittoral neogastropods from the Kattegat and Skagerrak: the common whelk *Buccinum undatum* and the red whelk *Neptunea antiqua*. *Marine Ecology Progress Series*, 244: 171-177.
- Stroben E., Oehlmann J., Fioroni P. 1992. The morphological expression of imposex in *Hinia reticulata* (Gastropoda: Buccinidae): a potential indicator of tributyltin pollution. *Marine Biology*, 113: 625-636.
- Terlizzi A., Geraci S., Minganti V. 1998. Tributyltin (TBT) pollution in the coastal waters of Italy as indicated by imposex in *Hexaplex trunculus* (Gastropoda, Muricidae). *Marine Pollution Bulletin*, 36: 749-752.

РЕЗЮМЕ. В популяциях *Buccinum undatum* и *Nucella lapillus* Белого и Баренцева морей обнаружены аномалии в строении половой системы у самок. Для *Buccinum undatum* из Баренцева моря аномалии в строении половой системы самок (псевдогермафродитизм) не отмечены. У беломорских *Buccinum undatum* проявление псевдогермафродитизма изменилось с 7,7% в 1976 году до 6,5% в 2005 году; у баренцевоморских в 2005 году процент самок с импосексом составил 29,5%. Для баренцевоморской популяции *N. lapillus* импосекс обнаружен у 46,1% исследованных самок. По степени проявления псевдогермафродитизма пролив Великая Салма Белого моря является менее загрязненным, чем губа Дальнезелейская Баренцева моря. По степени развития импосекса и, видимо, степени развития органическим оловом, Баренцево море соответствует самому чистому участку побережья Британских островов — северо-восточной Англии. Сравнение данных 1976 и 2005 годов из Белого моря позволяет предположить, что в популяциях моллюсков *Buccinum undatum* даже при отсутствии загрязнения постоянно наблюдается наличие небольшого количества самок с аномалиями половой системы.