



УДК 574.522 (261.246)

О. В. Кочешкова, н. с., Ж. И. Стонт, с. н. с.

Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград, Россия

## ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВЫХ УСЛОВИЙ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЗМОВ ЗООБЕНТОСА В ОСАДКАХ МЕЛКОВОДНОЙ ЛАГУНЫ

В Вислинском заливе Балтийского моря при возрастании волнения до 4 баллов в верхнем 10-сантиметровом слое донных отложений общая численность организмов зообентоса уменьшается в 2 – 8 раз. Во время штормовых условий часть донных организмов пассивно поднимается в толщу воды вместе с ресуспендированным осадком, другая мигрирует в глубь осадка. Установленный факт следует учитывать при планировании работ по оценке количественных показателей зообентоса в мелководных прибрежно-морских акваториях.

**Ключевые слова:** зообентос, штормовое волнение, Вислинский залив, Балтийское море

Вислинский залив – солоновато-водный водоём в системе мелководных лагун Юго-Восточной Балтики, отделённый от Гданьского залива Вислинской косой и соединяющийся с морем Балтийским проливом, расположенным в его северо-западной части. Характерной особенностью этого мелководного залива является ветро-волновое взмучивание поверхностного слоя донных осадков, представленного динамичной, слабо связанной средой, стабилизация в которой наступает только в период ледостава или штилевых дней [11]. Для акватории свойственно преобладание трансформации вещества и энергии через детритные пищевые цепи. Поэтому значительную роль в экосистемных процессах здесь играют бентосные организмы, характер пространственного и вертикального распределения которых зависит от многих факторов. Наибольшее экологическое значение имеют размеры частиц, плотность их прилегания друг к другу и стабильность взаиморасположения.

Площадь залива 838 км<sup>2</sup> (из них 472.5 км<sup>2</sup> – российская акватория), средняя глубина 3.1 м, максимальная – 5.2 м. Для залива характерно сезонное изменение солёности от 1.0 весной до 7.7 ‰ поздней осенью, что связано со штормовыми нагонными ветрами, которые вызывают заток морских вод. Средняя солёность 4.0 – 5.5 ‰ [2]. Наиболее распространённым типом современных осадков залива являются мелкоалевритовые илы, представляющие собой слабо консолидированные, сильно обводнённые (до 65 % воды) отложения [11].

Климатические условия региона, прежде всего, ветровой режим, – это основной фактор, влияющий на формирование гидродинамического режима залива. Большую часть года здесь преобладают ветры от западной четверти, общая повторяемость которых в отдельные месяцы составляет 35 – 50 % [9]. Результирующий ветер имеет направление вдоль продольной оси залива. В заливе преобладают ветровые волны, в течение года наибольшую повторяемость имеет волнение 1 – 2 балла [4].

В связи с высокой рыбохозяйственной ценностью Вислинского залива и возрастанием в регионе числа штормовых ветров со скоростью ветра выше 25 м с<sup>-1</sup> [12], важна точность количественных оценок зообентоса, выполненных в различных гидрометеорологических условиях.

Цель данной работы – определить изменения распределения бентосных организмов в толще осадка Вислинского залива с увеличением силы ветра.

**Материал и методы.** Использованы материалы по зообентосу Вислинского залива, полученные в лаборатории морской экологии АО ИОРАН с привлечением метеорологических наблюдений. Проанализированы 472 пробы, отобранные дночерпателем Петерсена (площадь захвата 1/40 м<sup>2</sup>) на 9 мониторинговых станциях (рис. 1) с мая по ноябрь 1997 – 2000 гг. в различные синоптические ситуации, связанные с усилением ветра.

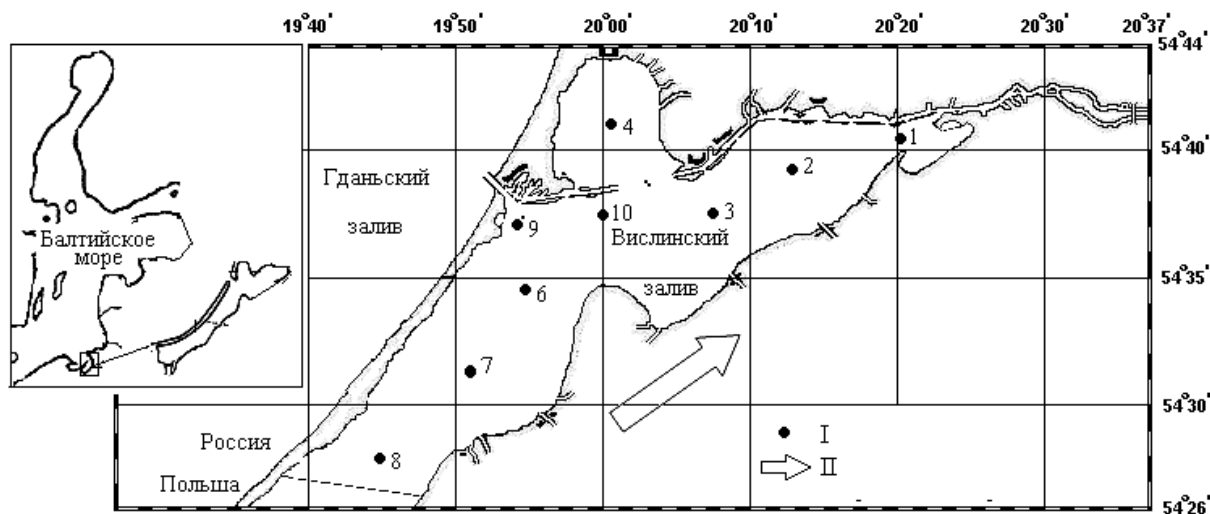


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в Вислинском заливе (российская часть): I – расположение станций; II – результирующий ветер

Fig. 1 Scheme of location of the sampling sites in the Vistula Lagoon (Russian part): I – sampling sites; II – resulting wind direction

Метеорологические наблюдения проводились в основные сроки стандартными приборами по стандартной методике [6]. Для измерений скорости ветра использовали анемометр, направление ветра определяли по ориентирам. Модуль скорости был разделён на градации в соответствии со шкалой Бофорта [7]:  $< 3.3 \text{ м с}^{-1}$  – 0 – 1 – 2 балла;  $3.4 – 7.4 \text{ м с}^{-1}$  – 3 – 4 балла;  $7.5 – 12.4 \text{ м с}^{-1}$  – 5 – 6 баллов и  $12.5 – 18.2 \text{ м с}^{-1}$  – 7 – 8 баллов. Синоптическую ситуацию определяли по картам приземного анализа метеоцентра Бракнелл [13].

Нами рассмотрены два сезона: летний и осенний, найдены средние численности для всех видов и групп бентоса при волнении от 0 до 4 баллов. Для статистического анализа взяты три станции, расположенные в центральной части залива, для которых имеются наиболее полные ряды данных.

**Результаты и их обсуждение.** Донное население Вислинского залива представлено эвригалинными видами морского и пресноводного происхождения, а также небольшим числом солоноватоводных видов. Массовыми представителями бентоса являются полихеты, хирономиды, олигохеты, моллюски – гидробииды и остракоды [5].

При изучении зависимости между количеством бентосных организмов до волнения

и при слабом волнении (2 балла) наилучшая аппроксимация получена с помощью линейной зависимости; регрессионный анализ не выявил связи между исследуемыми параметрами:

$$y = 2370.4 - 174.0x \text{ (коэффициент корреляции } r = -0.09),$$

где  $y$  – численность организмов зообентоса,  $x$  – волнение.

При исследовании зависимости между количеством бентосных организмов до усиления ветра и во время штормового ветра (4 балла) регрессионный анализ выявил существенную зависимость между исследуемыми параметрами:

$$y = 2874.8 - 572.2x \text{ (коэффициент корреляции } r = -0.70),$$

где  $y$  – численность организмов зообентоса,  $x$  – волнение

При возрастании волнения до 4 баллов общая численность организмов зообентоса в верхнем 10-сантиметровом слое осадка уменьшается в 2 – 8 раз, большей частью за счёт *Oligochaeta*, *Chironomidae*, *Hydrobiidae*. Число видов в пробах при этом снижается незначительно, в основном происходит выпадение мелких полихет и остракод. В табл. 1 и 2 пред-

ставлены наиболее показательные станции в летний (табл. 1) и осенний периоды (табл. 2).

Табл. 1 Численность (экз. м<sup>-2</sup>) организмов зообентоса в Вислинском заливе: 0 баллов – июль 1998 и начало августа 2000 гг., 4 балла – июль 1997 г.

Table 1 Mean abundance (ind. m<sup>-2</sup>) of zoobenthos in the Vistula lagoon: 0 points – 1998, June and 2000, early August, 4 points – 1997, July

Станции	6		10	
	отсутствует, 0	значительное, 4	отсутствует, 0	значительное, 4
Численность	N ср.	N ср.	N ср.	N ср.
Виды, группы животных				
<i>Spongilla</i> sp. (геммулы)	27 ± 14.25	0	-	-
<i>Oligochaeta</i>	2333 ± 512.97	387 ± 57.61	7953 ± 905.76	680 ± 555.22
<i>Manayunkia aestuarina</i>	127 ± 73.09	0	107 ± 36.90	0
<i>Alkmaria romijni</i>	200 ± 79.04	0	-	-
<i>Marenzelleria neglecta</i>	447 ± 126.92	173 ± 76.21	267 ± 51.35	200 ± 163.30
<i>Hediste diversicolor</i>	53 ± 28.51	13 ± 10.89	-	-
<i>Macoma balthica</i>	7 ± 5.63	40 ± 18.86	-	-
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	1860 ± 577.07	813 ± 60.61	1273 ± 396.48	27 ± 21.77
<i>Hydrobia ventrosa</i>	-	-	147 ± 43.83	0
Hydrobiidae, juv.	20 ± 11.55	0	27 ± 15.40	0
Ostracoda	6673 ± 2830.76	2533 ± 881.73	413 ± 80.92	0
Mysidacea	-	-	13 ± 7.70	0
Chironomidae	700 ± 127.62	40 ± 18.86	1527 ± 396.59	635 ± 533.44
Общая численность	12447 ± 3166.3	3999 ± 912.77	11727 ± 1016.2	1542 ± 1273.74

Табл. 2 Численность (экз. м<sup>-2</sup>) организмов зообентоса в Вислинском заливе: 0 баллов – сентябрь 1997 и 1998 гг., 4 балла – 1999 г.

Table 2 Mean abundance (ind. m<sup>-2</sup>) of zoobenthos in the Vistula lagoon: 0 points – 1998 and 1997, September; 4 points – 1999.

Станции	6		10	
	отсутствует, 0	значительное, 4	отсутствует, 0	значительное, 4
Численность	N ср.	N ср.	N ср.	N ср.
Виды, группы животных				
<i>Oligochaeta</i>	1420 ± 232.05	907 ± 128.35	4593 ± 1007.46	1993 ± 596.59
<i>Marenzelleria neglecta</i>	87 ± 23.77	80 ± 32.66	60 ± 19.02	80 ± 19.52
<i>Hediste diversicolor</i>	20 ± 11.55	0	-	-
<i>Alkmaria romijni</i>	447 ± 202.73	0	-	-
<i>Manayunkia aestuarina</i>	-	-	2068 ± 1077.67	0
<i>Macoma balthica</i>	7 ± 5.63	13 ± 10.89	-	-
<i>Mya arenaria</i>	7 ± 5.63	13 ± 10.89	-	-
Hydrobiidae, juv.	227 ± 123.96	0	-	-
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	1293 ± 266.14	747 ± 189.81	1993 ± 596.59	840 ± 191.37
<i>Hydrobia ventrosa</i>	40 ± 17.46	80 ± 18.86	80 ± 19.52	40 ± 18.86
Mysidacea	7 ± 5.63	0	13 ± 7.13	13 ± 10.89
Ostracoda	2567 ± 601.93	1040 ± 75.42	27 ± 14.25	0
Chironomidae	493 ± 102.42	280 ± 130.64	713 ± 131.63	453 ± 138.99
Общая численность	6615 ± 1399.07	3160 ± 140.65	9547 ± 1793.61	3400 ± 195.96

В бентосных пробах, взятых на следующие сутки после 4-бального волнения, не

наблюдаются изменений в видовом составе и количественных показателях (табл. 3).

Волнение, баллы	2 (слабое)	2 (было 4)
Численность	N ср.	N ср.
Виды, группы животных		
<i>Oligochaeta</i>	1173 ± 483.11	3040 ± 231.71
<i>Marenzelleria neglecta</i>	280 ± 66.67	1120 ± 443.42
<i>Hediste diversicolor</i>	20 ± 12.47	0
<i>Alkmaria romijni</i>	0	13 ± 10.89
<i>Macoma balthica</i>	40 ± 13.33	0
Hydrobiidae, juv.	1100 ± 689.59	893 ± 66.22
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	580 ± 141.97	13 ± 10.89
<i>Hydrobia ventrosa</i>	40 ± 13.33	40 ± 32.66
<i>Neomysis integer</i>	0	13 ± 10.89
Ostracoda	2850 ± 475.90	1000 ± 184.75
Chironomidae	940 ± 403.18	12313 ± 103.85
Общая численность	7023 ± 1324.59	7332 ± 834.87

Табл. 3 Численность (экз. м<sup>-2</sup>) организмов зообентоса при слабом волнении (2 балла) в июне 1997 и 1998 гг. и на следующий день после штормового волнения (4 → 2 балла) в июне 2000 г. в Вислинском заливе, станция 6  
Table 3 Mean abundance (ind. m<sup>-2</sup>) of zoobenthos at weak roughness (2 points): June 1997 – 1998, and at the next day after storm (4 points → 2 points): June 2000, in the Vistula lagoon, station 6.

По нашему мнению, эти явления можно объяснить следующими гидрометеорологическими и гидробиологическими особенностями.

Мелководность залива и его изолированность от моря создают условия для преобладающего развития в нём ветровых волн, высота которых определяются скоростью и продолжительностью воздействия ветра, а также глубиной лагуны. С усилением ветра волнение быстро развивается, и через 1 – 2 ч высота волн достигает максимальных значений, возможных для данной глубины водоёма [4]. Во время волнения концентрация взвешенного вещества возрастает прямо пропорционально скорости ветра за счёт перехода донного материала во взвешенное состояние. Общее количество взвеси в толще вод за короткий промежуток времени может возрасти ~ в 6 раз (с 69 тыс. т до 400 тыс. т и более) [11]. Таким образом, часть донных некрупных организмов, таких как олигохеты, мелкие полихеты, ювенильные формы гидробиид, во время штормового волнения пассивно поднимается в толщу воды вместе с ресуспендированными осадками.

В настоящее время в Вислинском заливе в верхнем 10-сантиметровом слое осадка сосредоточено в среднем 54 % общей биомассы бентоса, в нижележащих горизонтах – 45 %, что заметно отличается от наблюдавшегося в 1950 – 1960 гг. – соответственно 83 и 17 % [1, 12]. Видимо, это связано с вселением в залив североамериканской полихеты *Marenzelleria*

*neglecta*, которая сейчас является руководящим видом на большей части площади залива, внося до 90 % в общую биомассу. Её биомасса в разных участках изменяется от 4.6 до 286.3 г м<sup>-2</sup>. В центральной зоне российской части залива она максимальна [8]. Полихета изменила структуру верхних горизонтов осадка. Разветвленные норки червя, до 40 см уходящие вглубь осадка, обеспечивают возрастание биомассы бентобионтов, приходящейся на единицу площади дна посредством расширения доступного им жизненного пространства. Разрыхление и аэрирование осадка, связанное с биотурбационной активностью полихеты, позволяет обитать на более глубоких горизонтах также некоторым бентобионтам (олигохеты, гидробииды, остракоды и др.) [5].

То, что явление ухода организмов бентоса в более глубокие слои осадка при штормовой погоде может иметь место, хорошо иллюстрируют данные, полученные нами в Юго-Восточной Балтике на глубинах 15 – 30 м на достаточно плотных осадках, не подвергающихся такому взмучиванию, как в мелководном Вислинском заливе. Пробы бентоса отбирали на участке со смешанным средне- или грубозернистым песком, местами с гравием [10] в июле 2002, мае 2003, июне 2007 и 2010 гг. В июне 2007 г. при волнении 5 – 6 баллов на станциях выявлено уменьшение численности организмов зообентоса (табл. 4).

Как уже отмечалось, для залива харак-

Волнение, баллы	0 – 2	5 – 6
Численность	N ср.	N ср.
Виды, группы животных		
<i>Oligochaeta</i>	346 ± 154.13	0
<i>Marenzelleria neglecta</i>	638 ± 305.71	389 ± 274.86
<i>Hediste diversicolor</i>	22 ± 8.10	10 ± 7.16
<i>Pygospio elegans</i>	848 ± 489.78	0
<i>Fabricia stellaris</i>	2 ± 1.83	0
<i>Mya arenaria</i>	7 ± 3.08	0
<i>Macoma balthica</i>	21 ± 10.00	14 ± 10.02
<i>Mytilus edulis, ad.</i>	634 ± 352.82	94 ± 66.47
<i>Mytilus edulis, juv.</i>	1189 ± 504.31	50 ± 35.36
<i>Hydrobia ventrosa</i>	16 ± 9.23	0
<i>Hydrobia neglecta</i>	7 ± 3.85	2 ± 1.43
<i>Amphibalanus improvisus</i>	162 ± 61.10	32 ± 22.63
<i>Jaera albifrons</i>	5 ± 3.07	0
Gammaridae, juv.	21 ± 10.61	0
Общая численность	3919 ± 543.82	591 ± 169.01

**Выводы. 1.** При возрастании волнения до 4 баллов в мелководном Вислинском заливе Балтийского моря общая численность организмов зообентоса уменьшается в верхнем 10-сантиметровом слое осадка в 2 – 8 раз. **2.** Во время штормовых волнений часть донных организмов пассивно поднимается в толщу воды вместе с ре-суспензированным осадком, другая мигрирует в глубь осадка. **3.** При скорости ветра 8 – 10 м с<sup>-1</sup> и больше, приводящей к волне-

терна прямо пропорциональная нелинейная зависимость между концентрацией взвешенного вещества и скоростью ветра. При стихании ветра волнение быстро затухает, и крупная взвесь в течение нескольких часов переходит в донные отложения [10]. Поэтому при взятии бентосных проб на следующий день после штормовых волнений мы не наблюдаем никаких количественных изменений.

Табл. 4 Численность (экз. м<sup>-2</sup>) организмов зообентоса при слабом волнении (0 – 2 балла) в июле 2002, мае 2003 и июне 2010 гг. и во время штормового волнения (5 – 6 баллов) в июне 2007 г., в российской зоне Юго-Восточной Балтики  
Table 4 Mean abundance (ind. m<sup>-2</sup>) of zoobenthos at weak roughness (0 – 2 points) in 2002, July 2003, May and 2010, June and during storm roughness (5 – 6 points) in June, 2007, Russian EEZ, Baltic Sea.

нию в 3 – 4 балла, происходит резкое снижение числа организмов в бентосных пробах, поэтому при работах по оценке количественных показателей зообентоса в мелководных прибрежно-морских акваториях следует учитывать гидрометеорологические условия.

**Благодарности.** Авторы благодарны сотрудникам лаборатории морской экологии и лаборатории морской метеорологии, принимавшим участие в сборе и обработке материала.

1. Аристова Г. И. Бентос Вислинского залива // Исследования в Куршском и Вислинском заливах / Сб. науч. тр. Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. – Калининград, 1965. – С. 40 – 49.
2. Беренбейм Д. Я. Гидрометеорологическое описание Вислинского залива // Экологические рыбохозяйственные исследования в Вислинском заливе Балтийского моря: Сб. науч. тр. Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. – Калининград, 1992. – С. 5 – 14.
3. Блажчишин А. И. Подводные ландшафты Калининградского взморья в районе Самбийского полуострова. – Калининград, 1992. – С. 90 – 99.
4. Гидрометеорологический режим Вислинского залива. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 279 с.
5. Ежова Е. Е., Рудинская Л. В., Павленко-Лятун М. В. Вислинский залив. Макрозообентос / Закономерности структурно-функциональной организации водных экосистем различного типа. – М.:

- Научный мир, 2004. – С. 146 – 164.
6. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. – Вып. 9, Ч. III. – Л., 1971. – 150 с.
7. Океанографические таблицы: табл. 5.45. 4-е издание, перераб. и дополн. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 477 с.
8. Перетертова О. В., Ежова Е. Е. Особенности распределения зообентоса в донных осадках Вислинского залива Балтийского моря // Водные и наземные экосистемы: проблемы и перспективы исследований: Сб. тр всерос. конф (Вологда, 24–28 ноября 2008 г.). – Вологда, 2008. – С. 205 – 208.
9. Справочник по климату СССР. Вып. 6: Литовская ССР и Калининградская область РСФСР. Часть 3. Ветер. – Л.: Гидрометеоиздат, 1966. – 92 с.
10. Чечко В. А. Анализ пространственно-временной изменчивости взвешенного вещества Калининградского залива Балтийского моря // Водные ресурсы. 2002. – 29, № 4. – С. 425 – 432.

10. Чечко В. А. Процессы современного осадкообразования в Вислинском заливе Балтийского моря: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Калининград, 2007. – 28 с.
11. Ezhova E. E., Zmudzinski L., Maciejewska K.. Long term trends in macrobenthos state of the Vistula Lagoon, SE Baltic Sea. Species composition and biomass distribution // Bull. Sea Fish. Inst. – 2005. – 1 (164). – P. 55 – 73.
12. *State of the Coast of South East Baltic: an indicators-based approach to evaluating sustainable development in the coastal zone of the South East Baltic Sea.* – C. Gilbert (Ed.). Drukamia WL, Gdansk, 2008. – 166 p.
13. [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

*Поступила 30 сентября 2011 г.  
После доработки 15 августа 2012 г.*

**Вплив вітрових умов на розподіл організмів зообентосу в осадах мілководної лагуни. О. В. Кочешкова, Ж. І. Стонт.** Відзначено, що при зростанні хвилювання до 4 балів у верхньому 10-сантиметровому шарі осадів Віслінської затоки загальна чисельність організмів зообентосу зменшується в 2 – 8 разів. Під час штормових хвилювань частина донних організмів пасивно піднімається в товщу води разом з ресуспензірованим осадом, інша мігрує в його глибину. Даний факт слід враховувати при плануванні робіт щодо оцінки кількісних показників зообентосу та інтерпретації таких даних у мілководних прибережно-морських акваторіях.

**Ключові слова:** зообентос, штормове хвилювання, Віслінська затока, Балтійське море

**Influence of wind condition on distribution of zoobenthic organisms in bottom sediments of a shallow lagoon. O. V. Kocheshkova, Zh. I. Stont.** The total density of benthic organisms in the upper 10-cm horizon of sediments in the Vistula lagoon has decreased in 2 – 8-fold when the waves reach 4 mark of the Beaufort Wind Force Scale. A part of benthic organisms floats passively with re-suspended sediments in the water column, the other one migrates deeper into sediments. This fact should be taken into account when planning of quantitative benthic assessment and interpretation of data are done.

**Key words:** zoobentos, storm wind, Vistula lagoon, Baltic Sea