

ЛИТОРАЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА ЭСТУАРИЯ РЕКИ НЕВЫ: ИХ СТРУКТУРА И ДИНАМИКА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ПРЕССА

А.К. Бродский¹, Е.С. Панкова², Д.В. Сафронова³

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: ¹ brodsky-tempus@yandex.ru; ² lizapankova@yandex.ru; ³ dollydolly@mail.ru

Статья поступила в редакцию 06.12.2015; принята к печати 02.02.2016

После того как в невом эстуарии были проведены масштабные дноуглубительные работы, намыты значительные участки суши и увеличена территория Васильевского острова, шлейф мутных вод распространился вдоль северного берега Финского залива на 150 км, в акватории было зафиксировано резкое уменьшение прозрачности воды, что сказалось на состоянии донной фауны. Исследование состава и структуры литоральных сообществ макрозообентоса северного берега эстуария реки Невы было проведено в 2009–2011 гг. Были обнаружены 57 видов, особенно богато представлены хируномиды (28 видов). В единичных пробах встречались двусторчатые и брюхоногие моллюски, ручейники, двукрылые сем. *Ceratopogonidae*. Значительное влияние на местные бентосные сообщества оказывают чужеродные виды; их вселение сопряжено с исчезновением водяных осликов (*Asellus aquaticus*) и местных видов амфипод, ранее обычных в эстуарии реки Невы. Показано существенное изменение структуры сообществ макрозообентоса: отмечается повсеместное резкое снижение численности и биомассы всех групп макрозообентоса, снижается видовое богатство.

Ключевые слова: эстуарий реки Невы, макрозообентос, загрязнение, литораль, антропогенное воздействие.

LITTORAL COMMUNITIES OF THE RIVER NEVA ESTUARY: THEIR STRUCTURE AND DYNAMICS UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT

A.K. Brodsky¹, Ye.S. Pankova, D.V. Safonova
Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

After large-scale dredging had been carried out in Neva estuary, large ground areas deposited, and the territory of Vasil'yevskiy Island expanded, the tail of turbid water extended along the north coast of the estuary up to 150 km westward. Because of the resulting dramatic decrease in water transparency, bottom fauna was impacted. The composition and structure of the littoral communities of macrozoobenthos of the north coast of Neva estuary were studied in 2009–2011. Detected were 57 species, mostly chironomids represented by 28 species. Sporadic specimens contained bivalves, gastropods, caddis larvae, and/or *Ceratopogonidae* flies. The local benthic communities are significantly influenced by foreign species whose intrusion resulted in the disappearance of waterlouses (*Asellus aquaticus*) and local amphipods, which before that were common in Neva estuary. Significant changes in the structure of macrozoobenthic communities were shown to include overall decreases in the abundance and biomass of all components of macrozoobenthos and in their biodiversity.

Keywords: the river Neva estuary, macrozoobenthos, pollution, littoral, anthropogenic impact.

Введение

Экологические условия формирования и функционирования литоральных сообществ эстуария реки Невы привлекают внимание многих исследователей. Уже более ста лет проводятся исследования донной фауны Невской губы. Первые сведения о зообентосе и условиях его существования можно найти в работах А.С. Скорикова (1910) [11], где была дана характеристика грунтов и донного населения этого водоема. В последнее время интерес к изучению упомянутых выше сообществ резко вырос в связи с усилением антропогенного воздействия на невиский эстуарий.

Эстуарий – это полузамкнутый водоем, воронкообразное расширение устья реки, свободно соединяющееся с открытым морем (или озером) и потому подверженное действию приливов и отливов; морская вода в нем смешана с пресной водой материкового стока и обычно заметно опреснена. В результате смешения пресных и соленых вод в водоеме создаются градиенты солености, что в свою очередь определяет изменение многих физико-химических и биологических характеристик. Эстуарии можно рассматривать

как переходные зоны, или экотоны, между пресноводными и морскими местообитаниями, но многие из их наиболее важных физических и биологических признаков являются не промежуточными, а уникальными. В этих своеобразных биотопах складывается характерная флора и фауна, а непрерывная транспортировка аллохтонного материала создает совершенно особые условия биологического продуцирования [5, 17].

По предложенной Ю. Одумом и др. в 1969 г. [5] классификации, эстуарий реки Невы можно отнести к типу «естественных экосистем побережий умеренной зоны с сезонным программированием». Для эстуариев этого типа характерны правильные сезонные всплески первичной продуктивности и репродуктивной и поведенческой активности животных. Они часто регулируются во времени или «сезонно программируются». Более мягкие приливы, волны и течения здесь являются не причиной дополнительного стресса, а источником дополнительной энергии, в результате чего более отдаленные от берега зоны получают приток органического материала и питательных веществ из плодородных мелководных зон [5].

Невская губа (полузамкнутый мелководный водоем) и соединенная с ней двумя проливами восточная часть Финского залива, являясь эстуарием реки Невы, получают с ее водами широкий спектр загрязняющих веществ, сопутствующих хозяйственной деятельности человека в этом районе. Как полагают многие авторы [1, 2, 4], причину сложной эволюции зообентоса Невской губы (его состава, структуры, количественных параметров) следует искать в антропогенном воздействии на этот водоем.

Эстуарий реки Невы – наиболее эвтрофированная часть Балтийского моря. В результате колебаний уровня воды и штормов нитчатые водоросли отрываются от субстратов и скапливаются в прибрежной зоне на глубине до 1 м. При разложении водорослей возникают явления гипоксии, ухудшается качество среды обитания бентосных организмов, нарушается стабильность сообществ, снижается видовое богатство.

Как показали исследования сотрудников Зоологического института РАН [2, 18], в зооценозах литорали восточной части Финского залива преобладают эврибионтные формы (хируномиды, амфиподы). По-видимому, именно эвтрофированием объясняется успех вселения чужеродных видов амфипод, которые, будучи *r*-стратегами, характеризуются высокой толерантностью, коротким жизненным циклом, интенсивным размножением и широким спектром питания.

Проблема изучения и прогнозирования экологического состояния Невской губы и восточной части Финского залива остро встала в связи со строительством комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (дамба) [4]. В последние годы ситуация усугубилась: были проведены масштабные дноуглубительные работы, а также намывы значительные участки суши, в частности, была уве-

личена территория Васильевского острова. Шлейф мутных вод от места ведения работ распространился вдоль северного берега на 150 км. В 2005–2007 гг. в акватории в весенне-осенний период было зафиксировано резкое уменьшение прозрачности воды (до 20–30 см повсеместно и до 5 см в отдельных частях акватории), что не могло не сказаться на состоянии обитателей водоема, в частности, донной фауны [9].

Таким образом, при исследовании литоральных сообществ эстуария реки Невы необходимо учитывать не только своеобразие (уникальность) среды эстуария, но и значительный антропогенный пресс. Антропогенная нагрузка на экосистемы эстуария реки Невы особенно возросла в начале XXI века в связи со строительством Пассажира порта Санкт-Петербурга и намывом новых земель у западной оконечности Васильевского острова. В связи с этим целью нашей работы стало изучение структурных характеристик макрозообентоса литоральной зоны эстуария реки Невы на участках северного берега, которые испытывают значительную антропогенную нагрузку.

Материалы и методика

Для анализа воздействия антропогенных факторов на жизнедеятельность прибрежных сообществ были исследованы состав и структура литоральных сообществ макрозообентоса на шести станциях, расположенных вдоль северного берега на различном, все возрастающем удалении от места наиболее интенсивного поступления взмученного осадка в воду (рис. 1).

Количественные пробы макрозообентоса отбирали по методике, использованной в аналогичных исследованиях [2], в летние сезоны 2009–2011 гг. по три в каждой точке на глубине 0,5 м трубчатым пробоот-



Рис. 1. Расположение станций отбора проб в эстуарии реки Невы

борником. На каждой станции измеряли температуру воды.

Данные о солености были получены нами из литературных источников [12], соленость воды рассматриваемого участка эстуария увеличивается по мере уменьшения влияния речного стока (то есть от станции Ольгино к станции Смолячково). Пресная вода распространяется в западном направлении, а солоноватые воды в виде клина продвигаются в восточном направлении. Соленость воды у дна неевского эстуария изменяется с востока на запад от 0,3 до 8,5‰.

Донные отложения на станциях отбора проб представлены песком различной зернистости с примесью гравия и гальки. Повсеместно встречаются заросли высших водных растений, представленных в основном тростниками и камышами.

В лаборатории пробы макрозообентоса просматривали под бинокулярным микроскопом в счетной камере. Отобранных животных разделяли по систематическим группам (Amphipoda, Isopoda, Bivalvia, Gastropoda, Chironomidae, Ceratopogonidae, Diptera (прочие), Ephemeroptera, Trichoptera, Odonata, Hirudinea и Oligochaeta), пересчитывали и взвешивали с точностью до 0,0001 г. Все животные были определены до вида. Большую помощь в определении насекомых отряда Ephemeroptera оказала Е.А. Новикова.

Для каждой пробы численность и биомассу животных пересчитывали на 1 м² и вычисляли ошибки среднего. Кроме того, для обнаружения различий в численности и биомассе сообществ макрозообентоса между различными датами отбора на станциях, а также между исследуемыми станциями, данные были сопоставлены методом многомерного шкалирования, который используется для понижения размерности исходной информации (редукции данных) с использованием коэффициента Брея-Куртиса.

Сходство сообществ при таком анализе рассматривается как доля числа совпадающих особей относительно средней численности всех особей. Задача многомерного шкалирования заключается в том, чтобы сконструировать распределение данных в пространстве двух шкал. Возникающие координатные оси могут быть интерпретированы как некие неявные факторы, значения которых определяют различия объектов между собой. При применении метода многомерного шкалирования каждая проба помещается на «карту», что позволяет наглядно увидеть «близость» какой-либо характеристики исследуемых проб, при этом достоверность полученной картины можно оценить по показателю, который именуется «уровнем стресса» [14, 15].

Предварительно показатели численности и биомассы были трансформированы путем вычисления корня четвертой степени, что позволяет учесть в анализе не только доминирующие группы, но и малочисленные. Анализ был проведен в программе PAST 3. Программа, а также рекомендации по обработке данных были любезно предоставлены сотрудниками кафедры ихтиологии и гидробиологии Санкт-Петербургского государственного университета.

Результаты и обсуждение

Структура и динамика литоральных сообществ

Все изученные прибрежные экосистемы характеризуются отсутствием четких границ, короткими

пищевыми цепями и сходной трофической структурой. Соседние экосистемы вдоль береговой линии постепенно переходят одна в другую. Здесь энергия приливов повышает продуктивность сообществ, замещающая часть энергии, используемой на дыхание, которая иначе расходовалась бы на перенос минеральных веществ, а также на транспорт пищи и отходов.

Основу энергетики всех шести сообществ составляет, главным образом, детрит, накапливающийся в донных отложениях и поступающий сюда с волнами. Среди детритофагов доминируют хируномиды семейств/подсемейств Ortyocladinae, Ciromonidae (Diptera) и поденки сем. Caenidae. Особую роль играют Naididae (олигохеты), которые потребляют детрит как растительного, так и животного происхождения, а также диатомовые водоросли, простейшие, различные микроорганизмы и бактерии; в выброшенных ими фекалиях процесс минерализации органического вещества значительно ускоряется. Тем самым олигохеты воздействуют на темпы илообразования и минерализации донных осадков и играют существенную роль в круговороте вещества водоемов [16]. Хищники первого порядка представлены в основном амфиподами, которые, в свою очередь, служат важным кормовым ресурсом для рыб. Последние поддерживают свою энергетику не только за счет хищников первого порядка, но и детритофагов этого и соседних литоральных сообществ. С увеличением глубины по мере удаления от берега характер сообществ постепенно меняется; здесь приливы уже не играют заметной роли в функционировании сообщества.

В результате исследования, проведенного в 2009–2011 гг., были обнаружены 57 видов представителей макрозообентоса. Видовая структура литоральных сообществ варьирует незначительно. Соотношение числа видов на разных станциях с количеством семейств (см. табл. 1) позволяет оценить разнообразие условий и их благоприятность для разных видов на разных станциях. Рассмотрим эти и другие параметры подробнее для каждой станции.

Прежде всего отметим, что проведенное исследование не показало существенного изменения видового состава макрозообентоса по градиенту солености, увеличивающемуся от станции Ольгино к станции Смолячково. Возможно, в условиях литорали изменение солености не столь выражено и не играет принципиальной роли в распределении видов. Тем не менее, на ближайшей к Санкт-Петербургу станции Ольгино отмечены два типичных представителя пресноводной фауны – брюхоногие моллюски *Viviparus viviparus* и *Bithynia tentaculata*, а также интродуцированный вид амфипод *Gmelinoides fasciatus*, предпочитающий в условиях эстуария реки Невы местообитания с меньшей соленостью воды. Этот же вид бокоплавов обитает на станции Горская. По мере удаления от Санкт-Петербурга (начиная со станции Комарово в настоящем исследовании) видовой состав амфипод меняется: *Gmelinoides fasciatus* вытесняется другим видом-интродуцентом *Pontogammarus robustoides*, терпимо относящимся к небольшой солености.

Чужеродные виды оказывают значительное влияние на местные бентосные сообщества. Так, не были найдены водяные ослики *Asellus aquaticus*, ранее обычные в эстуарии реки Невы и достигавшие здесь значительной численности и биомассы [7]. Отсутствие водяных осликов отчасти может быть связано с

Табл. 1
Распределение числа видов по семействам в литоральных сообществах эстуария реки Невы

| ТАКСОНЫ | | | | Станция | | | | | | |
|-----------------|----------------------|----------------------|---|----------------------|-----------|-----------|-------------|-----------|------------|---|
| | | | | Ольгино | Горская | Комарово | Зеленогорск | Ушково | Смолячково | |
| Тип Annelida | Класс Clitellata | Подкласс Oligochaeta | Сем. Naididae | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | |
| | | | Отр. Naidomorpha | Сем. Enchytraeidae | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | | Подкласс Hirudinea | Отр. Lumbricomorpha | Сем. Lumbriculidae | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | | | Сем. Erpobdellidae | | | | | | 1 | |
| | | | | Сем. Glossiphoniidae | | | | | | 1 |
| Тип Mollusca | Класс Bivalvia | Отр. Luciniformes | Сем. Sphaeriidae | 1 | | | 1 | 1 | | |
| | | | Сем. Euglesidae | 1 | 1 | | 1 | | 1 | |
| | Класс Gastropoda | Отр. Ectobranchia | Сем. Valvatidae | | | 1 | 1 | | | |
| | | | Отр. Vivipariformes | Сем. Viviparidae | 1 | | | | | |
| | | | Отр. Rissoiformes | Сем. Bithyniidae | 1 | | | | | |
| | | | Отр. Lymnaeiformes | Сем. Planorbidae | | | | 1 | | |
| | Тип Arthropoda | Класс Malacostraca | Отр. Mysida | Сем. Mysidae | | | 1 | 1 | | |
| Отр. Amphipoda | | | | Сем. Gammaridae | 1 | 1 | | | | |
| | | Сем. Pontogammaridae | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| Класс Insecta | | Отр. Trichoptera | Сем. Hydroptilidae | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | | | Сем. Hydropsychidae | 1 | | | | 1 | | |
| | | Отр. Ephemeroptera | Сем. Caenidae | 4 | 1 | 2 | 4 | 2 | 4 | |
| | | | Сем. Baetidae | | | | | 1 | 1 | |
| | | | Сем. Polymitarcyidae | 1 | 1 | | | | 1 | |
| | | | Сем. Ephemerellidae | 1 | | 1 | | | | |
| | | Отр. Diptera | Сем. Chironomidae | | | | | | | |
| | | | Подсем. Diamesinae | 1 | 1 | | 1 | | 1 | |
| | | | Подсем. Orthoclaadiinae | 9 | 7 | 4 | 6 | 5 | 11 | |
| | | | Подсем. Chironominae, Триба Tanytarsini | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 | 4 | |
| | | | Подсем. Chironominae, Триба Chironomini | 5 | 8 | 3 | 7 | 3 | 9 | |
| | | | Подсем. Tanypodinae | | 1 | 1 | 1 | | | |
| | Сем. Ceratopogonidae | | 1 | 1 | | | | | | |
| Отр. Coleoptera | Сем. Haliplidae | | | | 1 | | | | | |
| Итого: | | | | 38 | 32 | 24 | 37 | 22 | 42 | |

активным хищничеством интродуцированных видов амфипод, которые характеризуются слабой пищевой избирательностью [3, 19, 20].

В литоральных сообществах северного берега эстуария реки Невы особенно разнообразны хирономиды – 28 видов. По видовому составу хирономид значительные различия между станциями не найдены. Можно отметить, что особи вида *Diamesa sp.* не выявлены на станциях Комарово и Ушково, а вида *Ablabesmyia phatta* – на станциях Ольгино и Ушково. Сообщества хирономид наиболее богаты видами на станциях Ольгино, Горская и Смолячково, а наименьшее видовое разнообразие отмечено на станциях Ко-

марово и Ушково, что может быть связано с меньшей общей численностью животных данной группы на указанных станциях.

В единичных экземплярах в разные даты отбора на исследованных станциях встречались двустворчатые и брюхоногие моллюски, ручейники, двукрылые сем. Ceratopogonidae. На станциях Комарово и Зеленогорск был однократно найден солоноватоводный рачок *Neomysis integer*. На станциях Зеленогорск, Ушково и Смолячково двустворчатые моллюски были представлены двумя видами – *Sphaerium corneum* и *Euglesa sp.* Брюхоногие моллюски встречались только на станциях Ольгино, Комарово, Зеленогорск,

где были отмечены виды *Valvata depressa*, *Viviparus viviparus*, *Bithynia tentaculata*, *Planorbis planorbis*.

Численность ручейников относительно высока на станциях Ольгино и Ушково; животные данной группы представлены двумя видами: *Agraylea multipunctata* и *Hydropsyche contubernails*. На станциях Комарово, Зеленогорск и Смолячково встречались редкие экземпляры ручейников вида *Agraylea multipunctata*, на станции Горская животные данной группы не встречались вообще. Двукрылые семейства Ceratopogonidae в незначительном количестве отмечены на станциях Ольгино и Горская.

На ближайшей к Санкт-Петербургу станции Ольгино отмечено большое число таксономических групп в ранге семейства (18) при относительно небольшом числе видов (38), что соответствует разнообразию условий на данном участке эстуария. При этом сами условия не вполне благоприятны для обитания здесь большого числа видов.

На станции Горская число семейств относительно прочих станций невелико – всего 12, тогда как число видов лишь незначительно уступает таковому на станции Ольгино – 32. По всей видимости, условия обитания здесь недостаточно благоприятны, так как данный участок литорали находится в непосредственной близости от дамбы, в связи с чем при отборе проб почти всегда отмечались значительные скопления нитчатых водорослей в прибрежной и пляжной зонах, резкий запах, пленка нефтепродуктов на поверхности воды. В данном месте зафиксировано только 2 вида поденок (*Caenis macrura* и *Ephoron nigradorsum*).

На станции Комарово общее число видов невелико – 24 из 12 семейств (подсемейств для сем. Chironomidae). Здесь же среди всех изученных станций отмечено наименьшее разнообразие хирономид – 11 видов, что может быть связано с невысокой общей численностью макрозообентоса в данном местобитании.

Для станции в Зеленогорске характерно относительно большое, по сравнению с другими станциями, число видов макрозообентоса (38), которые относятся к 16 семействам. Условия обитания здесь, по-видимому, весьма разнообразны, что способствует совместному обитанию значительного числа животных разных видов. Однократно, в июле 2009 г., здесь был отмечен солоноватоводный рачок; тогда же общее число зафиксированных видов было относительно невелико, что может быть связано с гибелью животных некоторых видов в результате затопления вод с более высокой соленостью.

Минимальное число видов и таксонов высокого ранга обнаружено на станции Ушково, которая среди прочих станций выделяется своеобразием условий среды: грунт здесь представлен крупным рыхлым песком, а глубина быстро возрастает у самого берега.

На самой удаленной от Санкт-Петербурга станции Смолячково зарегистрировано максимальное число видов – 42, тогда как число семейств и подсемейств (для Chironomidae) составляет всего 14. Столь высокое видовое богатство здесь обусловлено большим числом видов хирономид (25) (табл. 1). Здесь и на станции Ушково отмечены поденки вида *Baetis vernus*, предпочитающие более чистые местообитания. Бокоплавы встречаются здесь лишь изредка, возможно, к настоящему моменту еще не произош-

ла стабилизация популяции недавно обнаруженного интродукта в новом местообитании.

Таким образом, на всех изученных станциях по численности и биомассе доминируют хирономиды и олигохеты, обладающие высокой устойчивостью к неблагоприятным условиям среды: дефициту кислорода, эвтрофированию, заилению, химическому и бактериальному загрязнению [10], а также амфиподы и поденки (рис. 2, 3). На всех станциях северного берега эстуария реки Невы по мере удаления от Санкт-Петербурга прослеживается тенденция к снижению численности и биомассы всех групп донных животных с 2009 по 2011 г.

Численность и биомасса различных групп макрозообентоса значительно колеблются в течение летнего сезона. Так, в 2009 г. численность и биомасса амфипод на станциях Ольгино и Горская максимальны в июле. Температуры воздуха и воды в летний сезон 2010 г. были необычно высокими, с чем, вероятно, и связано достижение амфиподами максимальных значений количественных показателей уже к июню. В июле 2010 г. численность и биомасса амфипод уменьшаются, что совпадает с вылетом имаго хирономид и поденок и соответственно ухудшением кормовой базы бокоплавов. В 2011 г. численность и биомасса бокоплавов максимальны в июле (рис. 2, 3).

На станции Комарово в 2009 г. максимальная численность амфипод приходится на июнь (рис. 2, 3), а максимальная биомасса – на август, что связано с появлением большого количества молоди в начале лета и постепенным ростом особей к концу сезона; в июле-августе биомасса бокоплавов составляла основную часть биомассы макрозообентоса в данном местообитании; взрослые особи этого вида отличаются значительными размерами по сравнению с другими представителями донной фауны. Резкое сокращение численности животных на станции Комарово в начале июля 2009 г. (рис. 2) отчасти могло произойти из-за вылета имаго хирономид, а также из-за пресса со стороны значительного количества хищных амфипод. В поисках лучшей кормовой базы бокоплавов могли мигрировать из данного местообитания либо погибнуть из-за недостатка пищи, вследствие чего их численность тоже снижается. В литературе, посвященной литоральным сообществам невисского эстуария [17], показано, что в последнее десятилетие максимальный уровень смертности донных животных отмечается в июле-августе, в период гипоксии. Исследования [17] показывают, что гипоксия затрагивает не только чувствительные виды, но и организмы, такие как амфиподы, которым свойственна *r*-стратегия. В 2010–2011 гг. максимальная численность и биомасса амфипод отмечена в июле, в первой половине лета их биомасса превышала биомассу всех прочих групп макрозообентоса. К концу летнего сезона 2010 г. на станции Комарово резко снижается биомасса амфипод, одновременно возрастает численность и биомасса олигохет, что, возможно, связано с ухудшением условий обитания для бокоплавов.

На станции Смолячково амфиподы были обнаружены лишь однажды – в конце июля 2009 г., а на соседней станции Ушково в 2009 г. эти животные обнаружены не были (рис. 2, 3). Численность и биомасса амфипод сильно варьирует на разных станциях в разное время отбора проб; зачастую животные этой группы вообще не были отмечены в пробах. На всех станциях наблюдается следующая закономерность:

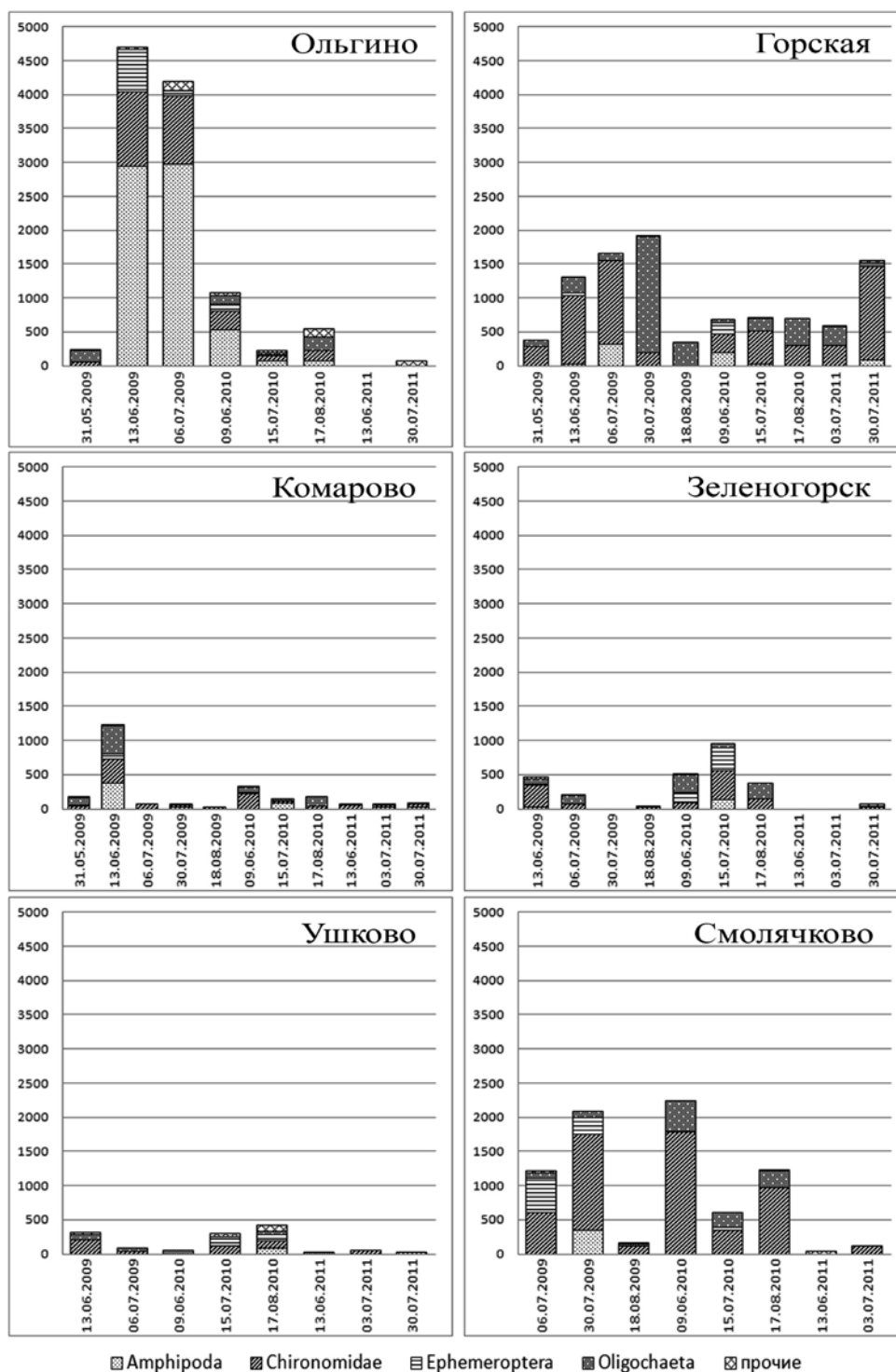


Рис. 2. Численность групп макрозообентоса на изученных станциях, экз./м² (в группу «прочие» объединены *Bivalvia*, *Ceratopogonidae*, *Coleoptera*, *Gastropoda*, *Hirudinea*, *Mysida*, *Trichoptera*)

при высокой численности амфипод численность олигохет мала, и наоборот.

Численность хирономид на станциях Ольгино, Горская, Комарово, Зеленогорск, Смолячково практически не изменяется от июня к июлю 2009 г., тогда как биомасса несколько увеличивается, что связано с подрастанием личинок; вылет насекомых произойдет в июле-августе. В 2010–2011 гг. вылет имаго хирономид отмечен к середине июля, в августе на некоторых станциях появляется молодь второй генерации (рис. 2, 3). На станции Ушково вылет хирономид происходит несколько позже.

Снижение биомассы хирономид на станции Горская в начале июля 2009 г. при несколько возрастающей численности (рис. 2, 3) может быть связано с появлением некоторого количества молоди этих насекомых и выеданием амфиподами более крупных особей. В поддержку этого предположения говорит тот факт, что к началу июля заметно возрастает численность и биомасса амфипод. При этом снижаются аналогичные показатели популяции олигохет, которые могут выедаться бокоплавами.

В июне 2009 и 2010 гг. на станциях Ольгино, Горская, Комарово, Зеленогорск велика численность и

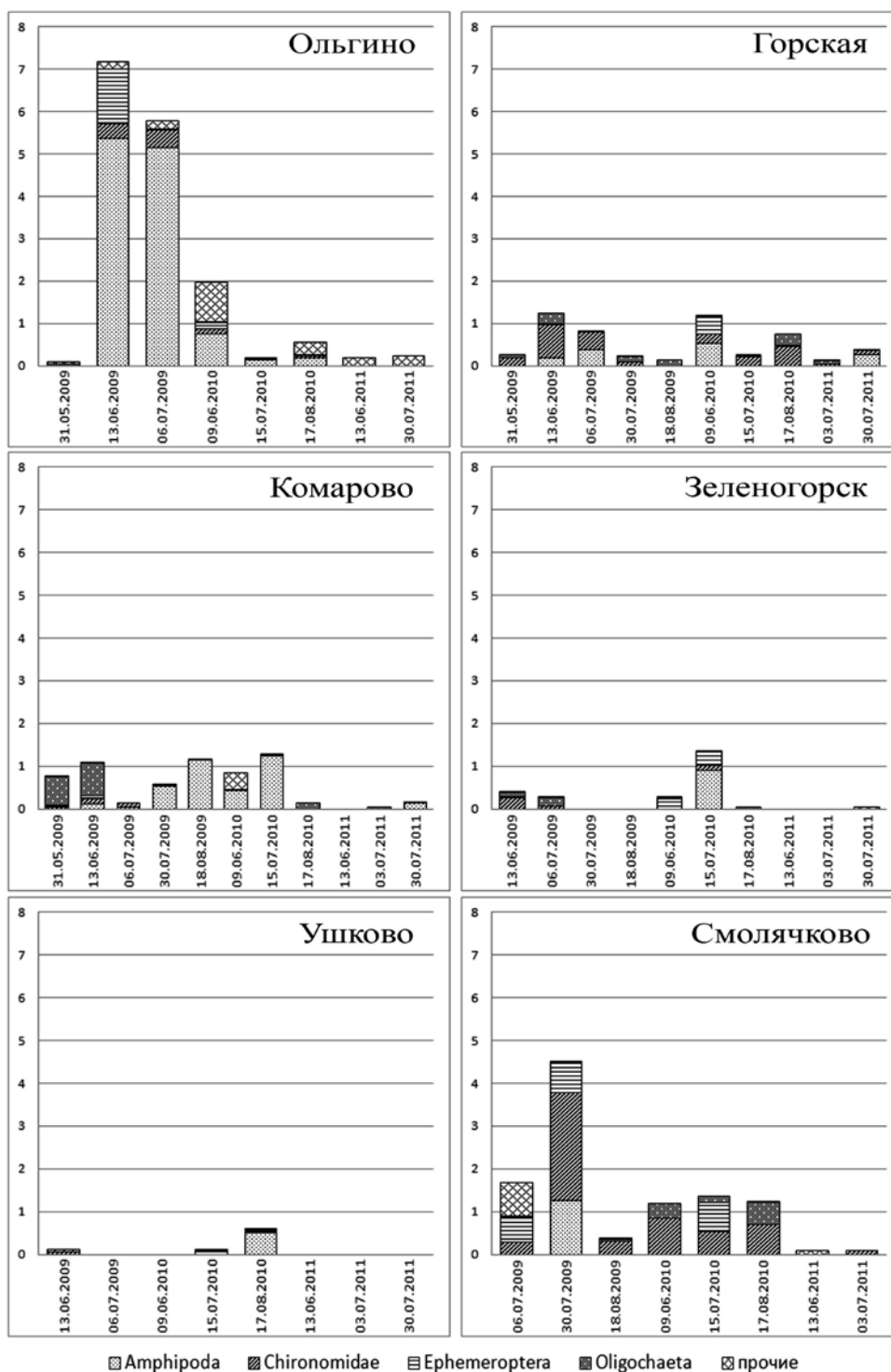


Рис. 3. Биомасса групп макрозообентоса на исследованных станциях, г/м² (группа «прочие» см. рис. 2)

биомасса поденок (рис. 2, 3), затем, к июлю, данные показатели резко снижаются, что связано с вылетом имаго этих насекомых.

В целом можно отметить тенденцию в 2009–2011 гг. к снижению численности и биомассы макрозообентоса по градиенту солености от станции Ольгино к станции Ушково; при этом на самой удаленной станции (Смолячково) количественные показатели макрозообентоса снова возрастают примерно до показателей сообщества станции Ольгино (рис. 2, 3), а в 2010 г. численность животных в Смолячково превышала таковую в Ольгино в 3–5 раз.

Антропогенное влияние на литоральные сообщества

Экологическая обстановка в эстуарии реки Невы непрерывно меняется. Наиболее значительные изменения в экосистемах эстуария вызваны такими факторами, как прямое антропогенное воздействие (разрушение местообитаний: строительство дамбы, намыв новых территорий), эвтрофикация, вселение чужеродных видов, токсическое загрязнение.

Особый интерес представляют последствия проведения интенсивных дноуглубительных и намывных работ, начатых в 2005 г. Практически по всей акватории эстуария отмечаются аномально высокие по-

казатели мутности, возрос вынос загрязненных вод в восточную часть Финского залива [8].

Сравнение полученных в ходе исследования данных о численности и биомассе макрозообентоса на станциях Ольгино и Зеленогорск с данными по сборам 1999, 2003–2005 гг., любезно предоставленными лабораторией пресноводной и экспериментальной гидробиологии Зоологического института РАН, позволяет оценить изменения, произошедшие в составе и структуре литоральных сообществ, вызванные негативным влиянием гидротехнических работ, проводимых у западной оконечности Васильевского острова.

С 1999 по 2011 г. на станции Ольгино наблюдается постепенное снижение численности (с 15–20 тыс. экз./м² в 1999 г. до сотни экз./м² в 2011 г.) и биомассы (с 20–25 г/м² в 1999 г. до 10–15 г/м² в 2003–2004 гг. и до 1–3 г/м² в 2009–2011 гг.) всех групп макрозообентоса (рис. 4). Исследования, проведенные в 2002, 2004–2005 гг., показали доминирование хирономид и амфипод в литоральных сообществах, а также снижение биомассы макрозообентоса по сравнению с 1985 и 1999 гг., тогда же в сборах отсутствовал местный вид амфипод *Gammarus lacustris*, по всей видимости, вытесненный интродуцированными бокоплавами вида *Gmelinoides fasciatus* [2].

В литературе [6] отмечается, что изменения состояния окружающей среды в 2007–2008 гг. имели различные причины. В 2007 г. они преимущественно были связаны с гидротехническими работами в Невской губе, а в 2008 г. были связаны также с мягкой, почти безледной зимой. Для 2008 г. было характерно увеличение прозрачности и снижение содержания неорганической фракции во взвешенном веществе, при этом в прибрежье сохранялась повышенная мутность воды, высокая концентрация биогенных веществ, на-

блюдалось массовое развитие микро- и нитчатых водорослей, сопровождавшееся накоплением детрита в толще воды и заморами у дна в ночное время.

Исследования макрозообентоса в Невской губе, проведенные в августе 2007 г., показали, что биомасса и видовое разнообразие бентоса резко снизились, особенно в восточной части Невской губы. Такие низкие показатели были зарегистрированы впервые за последние 100 лет с начала изучения бентоса в Невской губе. Подобные негативные изменения произошли и в прилегающей части Финского залива (Пассажирский порт Санкт-Петербург. Ремонтное крепление дна акватории вдоль линии причалов пассажирского порта Санкт-Петербург. Экологическое обоснование хозяйственной деятельности, 2011).

До 2004 г. в донных сообществах доминировали хирономиды и олигохеты, позже доминирование переходит к амфиподам, при этом происходит замена местных видов амфипод на интродуцированные (в 2009–2011 гг. отмечен один вид амфипод – *Gmelinoides fasciatus*), крайне редко становятся пиявки (отмечен один вид – *Erpobdella octoculata*), не встречаются совсем стрекозы и водяные ослики (рис. 4).

Гистограммы, приведенные на рис. 4, ярко демонстрируют изменения, произошедшие в литоральных сообществах в начале XXI века. Тем не менее данные о численности и биомассе животных дополнительно были проанализированы нами при помощи метода многомерного шкалирования (см. Материалы и методы), позволяющего учесть более тонкие различия в структуре сообществ и представить результаты в виде наглядной «карты», где близость точек (обозначающих в нашем исследовании даты отбора проб) говорит о схожести сообществ в разные моменты времени. Выводы о близости или различии проб

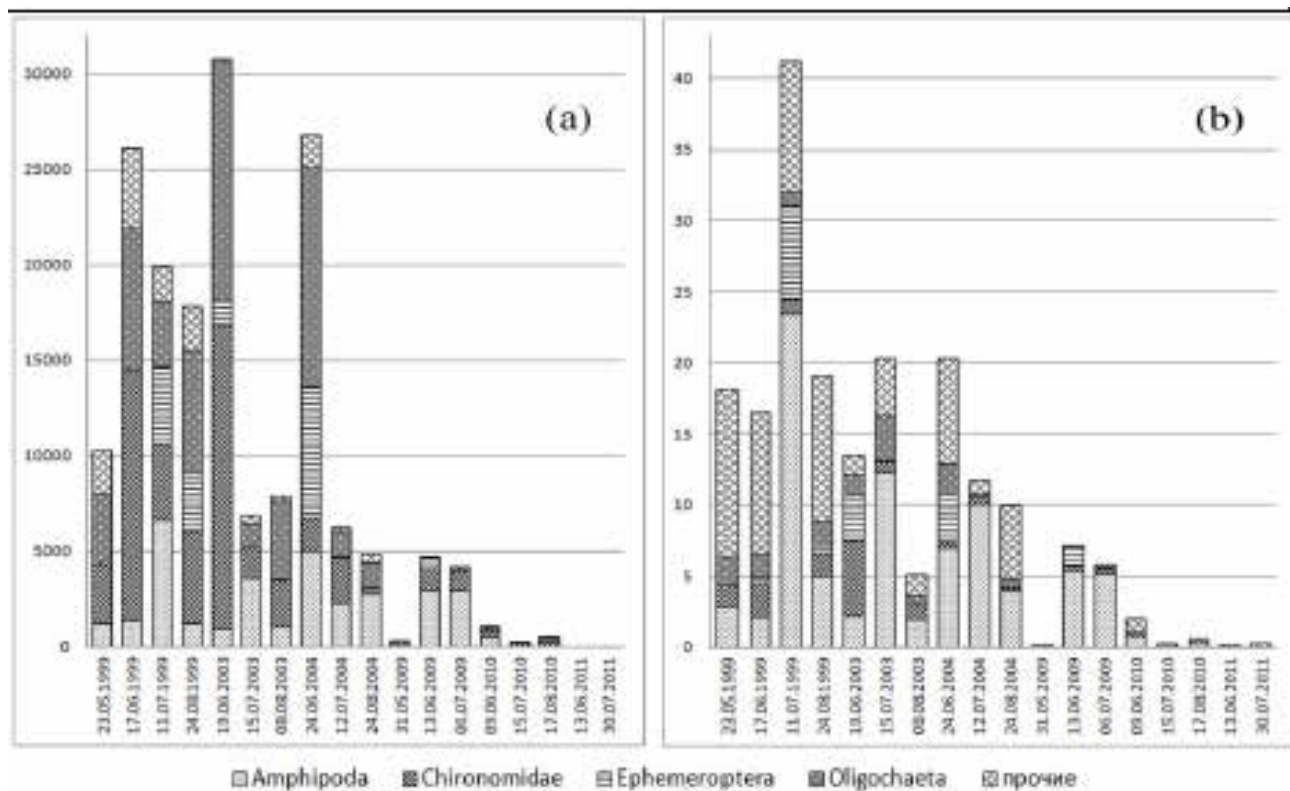


Рис. 4. Численность (а), экз./м², и биомасса (б), г/м², групп макрозообентоса на станции Ольгино (в группу «прочие» объединены *Acroloxus*, *Bivalvia*, *Ceratopogonidae*, *Coleoptera*, *Gastropoda*, *Hirudinea*, *Isopoda*, *Trichoptera*, *Turbellaria*, *Zygoptera*)

оцениваются по показателю, именуемого «уровень стресса», величина которого в проведенном анализе говорит об их достоверности. Градации «уровня стресса», установленные для метода многомерного шкалирования, приведены в специализированной литературе. Результаты проведенного многомерного шкалирования (рис. 5) подтверждают тот факт, что структура сообществ макрозообентоса в 2011 г. заметно отличается от таковой в остальные годы наблюдений, несколько отличаются показатели численности и биомассы в некоторые даты 2009 и 2010 гг. На рис. 5 видно, что точки, показывающие отбор проб в 1999, 2003–2004 гг., расположены более компактно (для удобства восприятия обведены рамкой), а точки других дат пробоотбора рассредоточены по «карте», что позволяет говорить о нестабильности литоральных сообществ в эти годы. Оси координат можно трактовать как действие неких факторов, однако в нашем случае на сообщества макрозообентоса вли-

яет такое их множество, что интерпретация осей не представляется возможной.

Переменчивость условий 2006–2008 гг. в разной мере коснулась всех наблюдаемых группировок живых организмов. Существенным изменениям подверглись биотопы прибрежья в Курортном районе на глубинах от уреза воды до 1,5 м. Условия в них были неблагоприятны для развития беспозвоночных, даже для относительно эврибионтных бокоплавов-вселенцев, количественные показатели популяций которых в эти годы, особенно в августе, были существенно ниже, чем в предшествующие годы [6].

Аналогичные изменения в составе и структуре сообществ произошли на станции Зеленогорск. Так, средняя численность организмов макрозообентоса снижается с 15–20 тыс. экз./м² в 2005 г. до 500–1000 экз./м² в 2009–2010 гг. и до нескольких десятков экземпляров на квадратный метр в 2011 г., из сообществ исчезают пиявки (рис. 6).

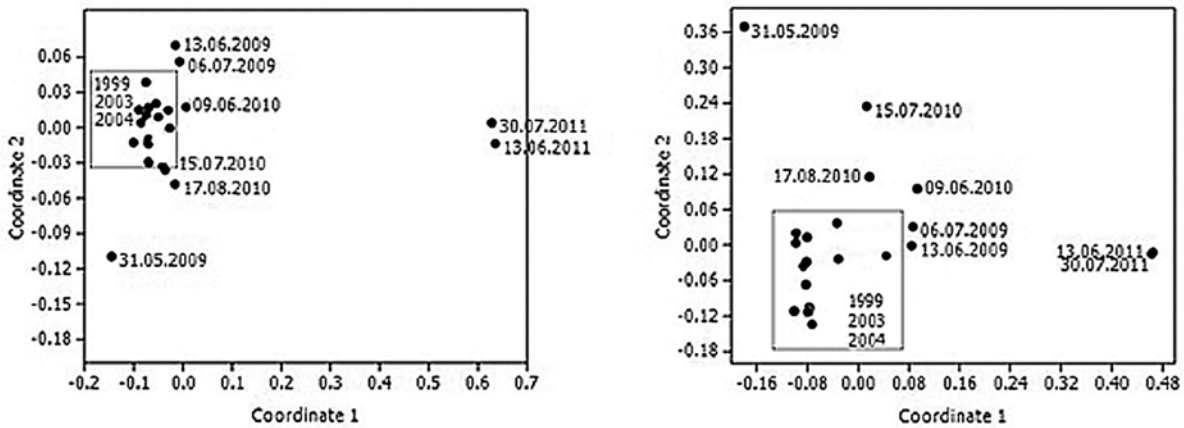


Рис. 5. Сравнение сообществ макрозообентоса на станции Ольгино методом многомерного шкалирования в разные даты отбора проб: по численности (слева), «уровень стресса» 0,14; по биомассе (справа), «уровень стресса» 0,09

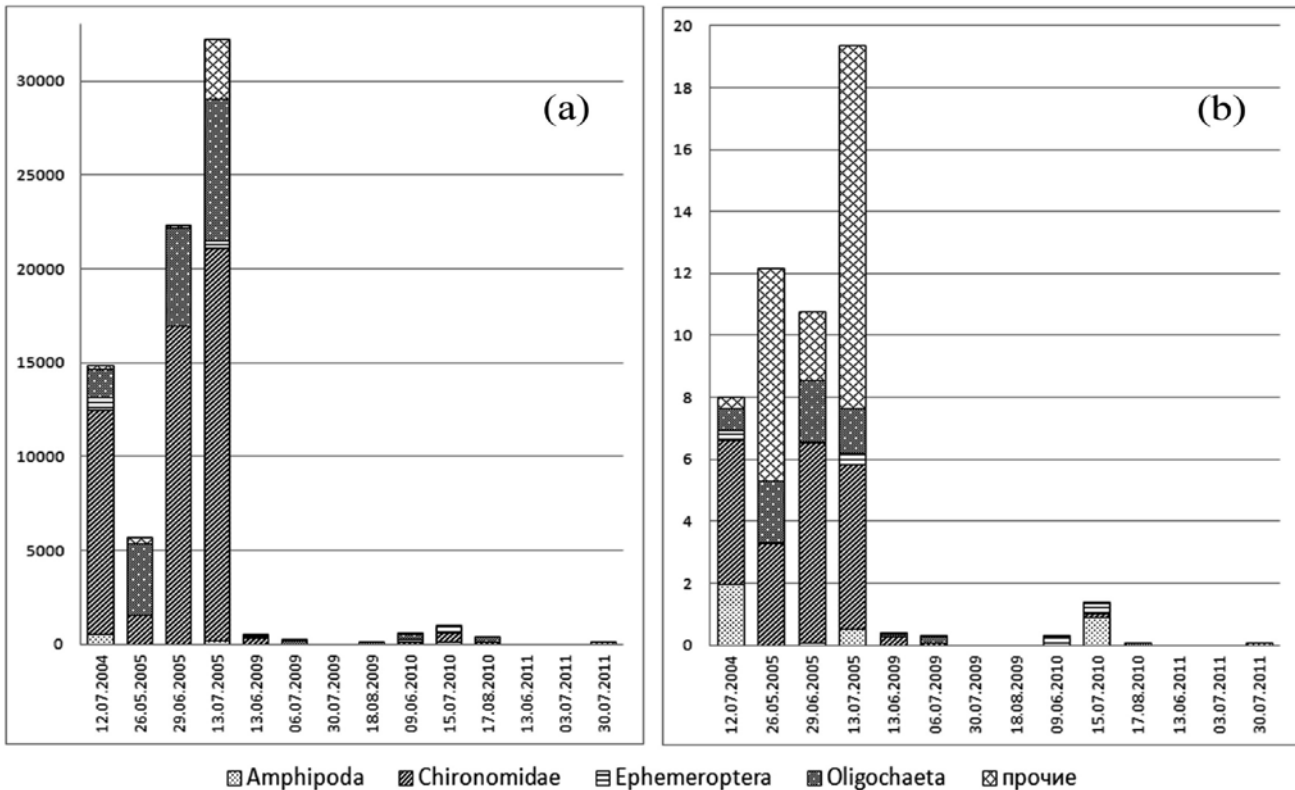


Рис. 6. Численность (а), экз./м², и биомасса (б), г/м², групп макрозообентоса на станции Зеленогорск (в группу «прочие» объединены *Bivalvia*, *Ceratopogonidae*, *Coleoptera*, *Gastropoda*, *Hirudinea*, *Mysida*, *Trichoptera*)

Доминируют по численности хирономиды и олигохеты. По биомассе во все года доминируют олигохеты (в 2011 г. олигохеты отмечены не были) и в 2010 г. – амфиподы (*Pontogammarus robustoides*). Средняя биомасса макрозообентоса снижается с 8–10 г/м² до менее чем 1 г/м² (рис. 6).

Данные о количественных показателях макрозообентоса на станции Зеленогорск также были проанализированы при помощи метода многомерного шкалирования, однако малочисленность дат отбора проб делает графическое представление результата анализа не столь наглядным, как для станции Ольгино, и здесь не показано. Однако численные оценки «уровня стресса» свидетельствуют о достоверности различий сообществ станции Зеленогорск в разное время.

Описанные выше результаты, полученные для станций в Ольгино и Зеленогорске, иллюстрируют изменение структуры сообществ макрозообентоса, характерное для всей Невской губы и Восточной части Финского залива: происходит резкое снижение численности и биомассы всех групп макрозообентоса, снижается видовое богатство, исчезают стрекозы и пиявки.

Заключение

Значительная антропогенная нагрузка, появление новых видов хозяйственной деятельности, таких как интенсивные намывы новых участков суши, а также доступность результатов многочисленных исследований, проведенных ранее, – все это делает невиский эстуарий интересным и перспективным объектом для всестороннего изучения процессов антропогенного преобразования литоральных сообществ.

Неоднородность местообитаний литорали эстуария реки Невы создает условия для формирования сообществ, которые, несмотря на различие условий, сохраняют общие черты. Исследования показали, что как по численности, так и по биомассе в литоральных сообществах северного берега невиской губы на протяжении многих лет доминируют амфиподы, хирономиды и олигохеты. Амфиподы на всех станциях представлены двумя видами-интродуцентами. В сообществах двух ближайших к Санкт-Петербургу станций обычен один вид (*Gmelinoides fasciatus*), в открытой части эстуария – другой (*Pontogammarus robustoides*). Многочисленны и поденки, играющие в пищевых цепях важную роль переноса энергии от детрита к консументам второго порядка (амфиподы, рыбы). Типичные представители пресноводной фау-

ны малочисленны и не играют существенной роли в функционировании сообществ. Так, крайне редки пиявки, не встречаются совсем стрекозы, водяные ослики, местные виды амфипод (*Gammarus lacustris*), что подтверждает значительное влияние интродуцированных видов амфипод на литоральные сообщества.

Наиболее удаленные от Санкт-Петербурга станции (Ушково и Смолячково) характеризуются преобладанием видов, предпочитающих относительно чистые местообитания; на станции в Смолячково велика численность и биомасса всех групп макрозообентоса. На более близких к Санкт-Петербургу станциях Ольгино и Зеленогорск условия обитания менее благоприятны, но при этом разнообразны, о чем свидетельствует тот факт, что в состав биотических сообществ входит большое число таксономических групп ранга семейства при относительно малом числе видов в каждом из них.

Видовой состав сообществ существенно не меняется по мере удаления от Санкт-Петербурга вдоль градиента солености. На самой близкой к Санкт-Петербургу станции (Ольгино) отмечены два типичных представителя пресноводной фауны: брюхоногие моллюски *Viviparus viviparus* и *Bithynia tentaculata*. Также отмечена тенденция к умеренному снижению численности и биомассы макрозообентоса по мере удаления от Санкт-Петербурга; данные показатели вновь возрастают на самой удаленной от города станции (Смолячково).

Сравнение результатов исследований с опубликованными ранее данными позволило установить, что с началом гидротехнических работ в устье реки Невы в составе и структуре литоральных сообществ произошли значительные изменения. Так, в период с 2009 по 2011 г. количественные характеристики сообществ макрозообентоса резко снижаются. Следует отметить также, что по мере удаления от основного источника загрязнения наблюдается лишь незначительное увеличение видового разнообразия представителей донной фауны, а также их численности и биомассы. За три года изучения литоральных сообществ невиского эстуария не было отмечено явной тенденции к восстановлению количественных характеристик бентосных сообществ. Иными словами, с началом гидротехнических работ численность и биомасса макрозообентоса литоральных сообществ резко падают и крайне медленно восстанавливаются при снятии (снижении) нагрузки.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Балущкина ЕВ, Финогонова НП, Слепухина ТД. Изменение характеристик в системе Ладога – р. Нева – Невская губа – восточная часть Финского залива. В кн.: Экологическое состояние водоемов и водотоков бассейна реки Невы. СПб.; 1996, с. 91-131.
2. Березина НА, Голубков СМ, Губелит ЮИ. Структура литоральных зооценозов в зоне

нитчатых водорослей эстуария реки Невы. Биология внутренних вод. 2009;(4):48-56.

3. Березина НА, Панов ВЕ. Популяции амфипод в прибрежных зонах эстуария р. Невы и крупных озер бассейна Балтийского моря. В кн.: Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа. М.; 2004, с. 179-190.

4. Веремьев АВ, Гришман ЗМ, Евдокимов ИИ, Левченко ВФ, Уральский ВЛ. Создание

экологических баз данных для Финского залива. В кн.: Информационные системы в науке (материалы симпозиума). М.; 1995, с. 31.

5. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир; 1975.

6. Орлова МИ, Флоринская ТМ. Биологическое загрязнение водных экосистем бассейна Финского залива. В кн.: Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2009 году. СПб.; 2009, с. 244-51.

7. Панов ВЕ. Высшие ракообразные и их роль в зообентосе. В кн.: Невская губа: гидробиологические исследования. Труды Зоологического института АН СССР. Том 151. Л.; 1987, с. 145-51.

8. Рыбалко АЕ, Федорова НК. Донные отложения эстуария реки Невы и их загрязнение под влиянием антропогенных процессов. В кн.: Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2008, с. 39-59.

9. Усанов БП, Викторов СВ, Сухачева ЛЛ. Новый «удар» по Невской губе. Транспорт Российской Федерации. 2008;5(18):60-3.

10. Финогонова НП, Балужкина ЕВ, Голубков СМ. Макрозообентос Невской губы в 90-е годы. В кн.: Структурно-функциональная организация пресноводных экосистем разного типа. Труды Зоологического института РАН. Том 279. СПб.; 1999, с. 253-68.

11. Финогонова НП, Голубков СМ, Панов ВЕ, Балужкина ЕВ, Панкратова ВЯ, Лобашова ТМ, Павлов АМ. Макробентос. В кн.: Невская губа: гидробиологические исследования. Труды Зоологического института АН СССР. Том 151. Л.; 1987, с. 111-21.

12. Фрумин ГТ, Басова СЛ. Физико-географическое описание восточной части Финского залива. В кн.: Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2008, с. 16-20.

13. Хлебков ВВ. К биологической типологии эстуариев Советского Союза. В кн.: Гидробиологические исследования эстуариев. Труды Зоологического института СССР. Том 141. Л.; 1986, с. 3-9.

14. Шитиков ВК, Розенберг ГС. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R. Тольятти; 2013.

15. Шитиков ВК, Розенберг ГС, Костина НВ. Методы синтетического картографирования территории (на примере эколого-информационной системы «VOLGABAS»). В кн.: Количественные методы экологии и гидробиологии. Тольятти; 2005, с. 167-228.

16. Шурова НМ. Проблемы и перспективы изучения фауны малощетинковых червей (Oligochaeta) Черного моря. Экология моря. 2003:63.

Общий список литературы/Reference List

1. Balushkina YeV, Finogenova NP, Slepuhina TD. [Changing characteristics of the system the lake

Ladoga – the river Neva – the Neva Bay – the eastern part of the Gulf of Finland]. In: Ekologicheskoye Sostoyaniye Vodoyeomov i Vodotokov Basseyna Reki Nevy. Saint Petersburg; 1996. (In Russ.)

2. Berezina NA, Golubkov SM, Gubelit YuI. [The structure of littoral zoocenoses in the filamentous algae zone of the Neva river estuary]. *Biologiya Vnutrennikh Vod.* 2009;(4):48-56. (In Russ.)

3. Berezina NA, Panov VYe. [Populations of amphipods in the coastal zones of the Neva river estuary and the large lakes of Baltic Sea basin]. In: *Zakonomenosti Gidrobiologicheskogo Rezhima Vodoyeomov Raznogo Tipa.* Moscow; 2004. (In Russ.)

4. Veremyev AV, Grishman ZM, Yevdokimov II, Levchenko VF, Uralskiy VL. [Development of environmental databases for the Gulf of Finland]. In: *Informatsionnye Sistemy v Nauke (Materialy Simpoziuma).* Moscow; 1995. (In Russ.)

5. Odum U. *Osnovy Ekologii.* Moscow: Mir; 1995. (In Russ.)

6. Orlova MI, Florinskaya TM. [Biological pollution of aquatic ecosystems of the Gulf of Finland basin]. In: *Okhrana Okruzhayushchey Sredy, Prirodopolzovaniye i Obespecheniye Ekologicheskoy Bezopasnosti v Sankt-Peterburge v 2009 g.* Saint Petersburg; 2009. (In Russ.)

7. Panov VYe. [Higher crustaceans and their role in zoobenthos]. In: *Nevskaya Guba: Gidrobiologicheskkiye Issledovaniya.* Trudy Zoologicheskogo Instituta AN SSSR. Tom 151. Leningrad; 1987. (In Russ.)

8. Rybalko AYe, Fedorova NK. [Bottom sediments of the Neva river estuary and their pollution under the impact of anthropogenic processes]. In: *Ekosistema Estuariya Reki Nevy: Biologicheskoye Raznoobrazie i Ekologicheskkiye Problemy.* Moscow: Tovarishchestvo Nauchnykh Izdaniy KMK; 2008. (In Russ.)

9. Usanov BP, Viktorov SV, Sukhacheva LL [New “punch” in the Neva Bay]. *Transport Rossiyskoy Federatsii.* 2008;5(18):60-3. (In Russ.)

10. Finogenova NP, Balushkina YeV, Golubkov SM. [Macrozoobenthos of the Neva Bay in the 90-ies]. In: *Strukturno-Funktsionalnaya Organizatsiya Presnovodnykh Ekosistem Raznogo Tipa.* Trudy Zoologicheskogo Instituta RAN. Tom 279. Saint Petersburg; 1999. (In Russ.)

11. Finogenova NP, Golubkov SM, Panov VYe, Balushkina YeV, Pankratova VYa, Lobashova TM, Pavlov AM. [Macrozoobenthos]. In: *Nevskaya Guba: Gidrobiologicheskkiye Issledovaniya.* Trudy Zoologicheskogo Instituta AN SSSR. Tom 151. Leningrad; 1987. (In Russ.)

12. Frumin GT, Basova SL. [Physico-geographical description of the Eastern part of the Gulf of Finland]. In: *Ekosistema Estuariya Reki Nevy: Biologicheskoye Raznoobrazie i Ekologicheskkiye Problemy.* Moscow: Tovarishchestvo Nauchnykh Izdaniy KMK; 2008. (In Russ.)

13. Khlebovich VV. [On the biological typology of the Soviet Union estuaries]. In: *Gidrobiologicheskkiye Issledovaniya Estuariyev.* Trudy Zoologicheskogo Instituta SSSR. Tom 141. Leningrad; 1986. (In Russ.)

14. Shitikov VK, Rozenberg GS. *Randomizatsiya i Butstrep: Statisticheskii Analiz v Ecologii i Biologii s Ispolzovaniem R.* Togliatti; 2013. (In Russ.)

15. Shitikov VK, Rozenberg GS, Kostina NV. [Methods for synthetic mapping of a territory (as ex-

emplified with the environmental informational systems "VOLGABAS"]]. In: *Kolichestvennye Metody Ekologii i Gidrobiologii*. Togliatti; 2005. (In Russ.)

16. Shurova NM. [Problems and prospects of studying the oligochaete fauna (Oligochaeta) of the Black sea]. *Ekologiya morya*. 2003:63.

17. Berezina NA. Spatial distribution of macrofauna in a littoral zone with drifting macroalgae in the Neva estuary. *Estonian J Ecol*. 2008;57(3):198-213.

18. Berezina NA, Golubkov SM. Effect of drifting macroalgae *Cladophora glomerata* on benthic

community dynamics in the easternmost Baltic Sea. *J Marine Systems*. 2008;74:80-5.

19. Berezina NA, Tsiplenkina IG, Pankova ES, Gubelit JI. Dynamics of invertebrate communities on the stony littoral of the Neva Estuary (Baltic Sea) under macroalgal blooms and bioinvasions. *Transitional Waters Bull*. 2007:65-76.

20. Pankova ES, Berezina NA. Predation rate and size selectivity of the invasive amphipod *Gmelinoides fasciatus* preying upon the native isopod *Asellus aquaticus*. *Acta Zoologica Lituanica*. 2007;17(2):144-50.

