

УДК 574.587

**ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА МАКРОЗООБЕНТОСА НА ПОЛИГОНЕ ОЗЕРА ТУНАЙЧА (ЮЖНЫЙ САХАЛИН)**

В. С. Лабай, М. Г. Роготнев, Т. С. Шпилько (СахНИРО)



По результатам бентической съемки 2002 г. на оз. Тунайча (Южный Сахалин) описана вертикальная структура и сезонная динамика количественных показателей сообщества макрозообентоса. В прибойной полосе доминируют бокоплавы *Eogammarus kygi*, глубже — двустворчатые моллюски *Corbicula japonica*. Ядро сообщества *Corbicula japonica* приходится на диапазон глубин 2–3 м. Нижняя граница распространения макрозообентоса отмечена на глубине 15 м. Наибольшая устойчивость сообществ характеризует весенний период.

*V. S. Labay, M. G. Rogotnev, T. S. Shpilko (SakhNIRO). Vertical distribution and seasonal dynamics of macrobenthos in the Tunaycha Lake ground, South Sakhalin // Research of water biological resources of Kamchatka and of the northwest part of Pacific Ocean: Selected Papers. Vol. 7. Petropavlovsk-Kamchatski: KamchatNIRO. 2004. P. 111–121.*

On the results of benthic survey in 2002 in the Tunaycha Lake, South Sakhalin, vertical structure and seasonal dynamics of macrobenthos community quantitative parameters has been described. Freshwater shrimps *Eogammarus kygi* dominated in littoral zone, bivalves *Corbicula japonica* — deeper down. *Corbicula japonica* community core was situated in the depth 2–3 m. Mesobenthos distribution low boundary was laying in the depth 15 m. The most stable the community was characteristic in spring.

Озеро Тунайча является крупнейшим внутренним водоемом Сахалинской области и отнесено к памятникам природы. Оно расположено в юго-восточной части о. Сахалин и соединяется с заливом Мордвинова Охотского моря протокой Красноармейская. Максимальная длина озера составляет 28 км, ширина — 10 км. Морфологически озеро делится на два плеса — Малую Тунайчу и Большую Тунайчу; воображаемая линия раздела проходит от м. Меньшикова на востоке к острову Птичий и м. Макарова на западе. Максимальная глубина озера — 49 м — отмечена в 500 м к западу от м. Меньшикова. Строительство в середине 1970-х годов автодорожного моста и обмеление протоки привело к серьезным изменениям гидрологии озера (Микишин и др., 1995).

Российские исследования биоты озера Тунайча начались еще в 70-х годах прошлого века. В 1977 г. С.Э. Сабитовым было проведено рекогносцировочное обследование оз. Тунайча с целью определения степени его зарастания и разработки мелиоративных мероприятий. Гидробиологические исследования той поры сводились к изучению планктонного сообщества. В 1989–1991 гг. экспедициями А.Н. Володарского, Л.Д. Демина и В.А. Клоканова в рамках подробных геоэкологических исследований оз. Тунайча были проведены сбор и обработка проб фито-, зоопланктона и бентоса (Микишин и др., 1995; Иванков и др., 1999).

Исследования СахНИРО последних лет помогли расширить наши познания о донной биоте озера и изменениях в её составе и структуре (Саматов и др., 2002), значительно расширен список видов гидробионтов, описаны новые для науки виды (Макарченко, 2003; Labay, 2003), для ценного промыслового вида беспозвоночных — японской корбикулы — описаны запасы, особенности ее биологии и продукционные характеристики (Лабай и др., 2003). Исследования лаборатории гидробиологии СахНИРО на озере

Тунайча в 2002 г. были призваны не столько расширить описание состава донной биоты озера, сколько проследить основные закономерности вертикального распределения и её сезонную изменчивость.

Целью данной работы является описание вертикального распределения и сезонной изменчивости макрозообентоса на полигоне озера Тунайча в 2002 г.

Исследования выполнены по тематическому плану НИР СахНИРО и по утвержденной губернатором Сахалинской области И.П. Фарахутдиновым комплексной программе изучения экологического состояния озера Тунайча, при финансовой поддержке Администрации Сахалинской области.

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА**

Материалами для отчета послужили пробы гидробиологической съемки в мае, июле и ноябре 2002 г. Периоды бентосной съемки соответствовали биологическим сезонам года в оз. Тунайча. Температура воды — главный фактор при определении биологических сезонов года в водоемах, однако единого критерия для выделения температурных границ биологических сезонов до сих пор нет (Дрягин, 1968; Николаев, 1971; Алабастер, Ллойд, 1984). В наших исследованиях приняты температурные границы, предложенные Солововым (1986) для озер умеренной зоны: весна — 0,2–15°C, в том числе ранняя — 0,2–4,0°C и поздняя — 4,0–15°C; лето — 15–10°C, в том числе раннее — 15–25°C и позднее — 25–10°C; осень — 10–4°C. Для южно-сахалинского лета с небольшим количеством солнечных дней (повторяемость сплошной облачности достигает 70–80% (Сахалинская область..., 1994)) в таком глубоком водоеме как оз. Тунайча активный слой не прогревается летом до 25°C, поэтому за термограницу между ранним и поздним летом мы берем максимальную среднесуточную температуру прогрева активного слоя, которая летом 2002 г. составила 18°C. Таким образом, бен-

тосная съемка проводилась в следующие биологические сезоны: в мае — поздняя весна, в июле — середина биологического лета, в ноябре — осень.

Общая продолжительность биологической весны (от схода ледового покрова до  $15^{\circ}\text{C}$ ) в 2002 г. составила 45 суток, биологического лета — 140 суток; осени — 45 суток.

Пробы макробентоса отбирали на акватории Большой Тунайчи в пределах ранее выбранного полигона, находящегося в юго-восточной части озера (рис. 1). Нами было признано целесообразным провести исследования по сезонной динамике макробентоса на ограниченном реперном полигоне. Основанием этому послужило наличие сходных закономерностей в пространственном распределении макробентоса (Саматов и др., 2002) и однообразность вертикального распределения донных отложений и гидрологических характеристик (солености, температуры воды, pH, содержания растворенного кислорода и сероводорода) по акватории озера (исключая протоку Красноармейская). Выбранный полигон имел стандартные гидрологические характеристики и полный набор биотопов, представленных в Большой Тунайче. Полигон располагался в угловых координатах: 1)  $46^{\circ}44'$  с. ш.,  $143^{\circ}20'$  в. д.; 2)  $46^{\circ}43'$  с. ш.,  $143^{\circ}22'$  в. д.; 3)  $46^{\circ}41'$  с. ш.,  $143^{\circ}20'$  в. д.; 4)  $46^{\circ}42'$  с. ш.,  $143^{\circ}18'$  в. д. Станция с глубиной 17 м имела координаты  $46^{\circ}74'$  с. ш.,  $143^{\circ}28'$  в. д.

Отбор проб осуществляли в соответствии с существующими методиками (Руководство по..., 1983; Эллиот и др., 1981). Работы проводили на супралитерали, литерали и профундали озера до глубины 17 м, охватывая все обнаруженные биотопы. На супралитерали пробы отбирали рамкой площадью  $0,2 \times 0,2$  м<sup>2</sup> на глубину 0,4–0,5 м. На литерали — бентометром Леванидова с площадью отбора 0,16 м<sup>2</sup> (Леванидов, 1976; Богатов, 1994). На глубине более 1 м исследования проводили с лодки утяжеленным стандартным дночерпателем с площадью захвата 0,025 м<sup>2</sup>. С каждого биотопа отбирали не менее 8 проб.

Дночерпательные пробы сопровождали отбором бентонектических гидробионтов пробоотборником

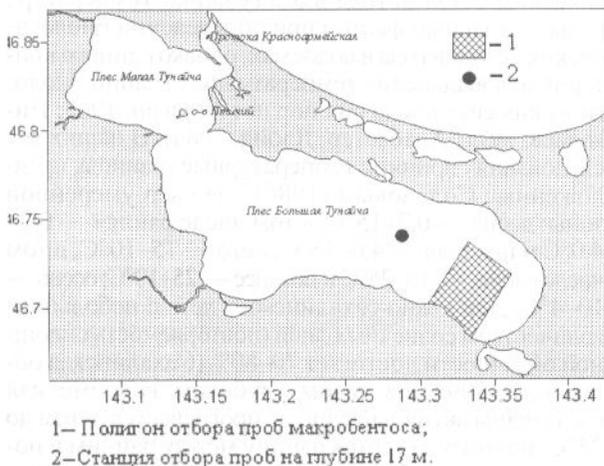


Рис. 1. Карта-схема района исследований. Координаты десятичные

собственной конструкции с площадью захвата 0,31 м<sup>2</sup> (рис. 2), который представляет собой обратноконическую сеть с газом № 49, входное отверстие которой натянута на шарнирной раме, одним краем закрепленной на внешней жесткой утяжеленной раме. Пробоотборник снабжен чекелем, обеспечивающим самозакрытие входного отверстия по достижению дна, при вытягивании троса. Прибор показал гораздо лучшую улавливаемость нектобентических ракообразных (например, мизид) по сравнению с сетными орудиями лова, применявшимися нами при гидробиологической съемке на озере Тунайча (малая сеть Джеди, ИКС-50), что позволило учесть при описании эту часть макробентоса, совершенно не облавливаемую дночерпателями.

Всего за весенний период отобрано 98, летом — 104 и осенью — 96 проб макробентоса.

В лабораторных условиях отобранные пробы промывали через набор сит, последнее из которых имело ячейку не более 1 мм. Малощетинковые черви, моллюски и ракообразные фиксировались 75% этиловым спиртом, все остальные таксоны беспозвоночных — 4% раствором формальдегида. Извлеченные и определенные организмы пересчитывали, обсушивали на фильтровальной бумаге до исчезновения влажного пятна и взвешивали на электронных весах ER-120A с точностью до миллиграмма. В последующем количественные данные пересчитывали на метр квадратный. Первичную обработку проб производили Т.С. Шпилько и Т.А. Малиняк (СахНИРО). Видовое определение организмов бентоса проводили: М.Г. Роготнев (СахНИРО) — ракообразные; Т.С. Шпилько (СахНИРО) — брюхоногие моллюски; Е.А. Макаренко (БПИ) — водные насекомые; В.С. Лабай (СахНИРО) — водные насекомые (часть), двустворчатые моллюски; Е.В. Абрамова (СахНИРО) — малощетинковые черви.

При описании количественных параметров биоты применяли следующие параметры: числен-

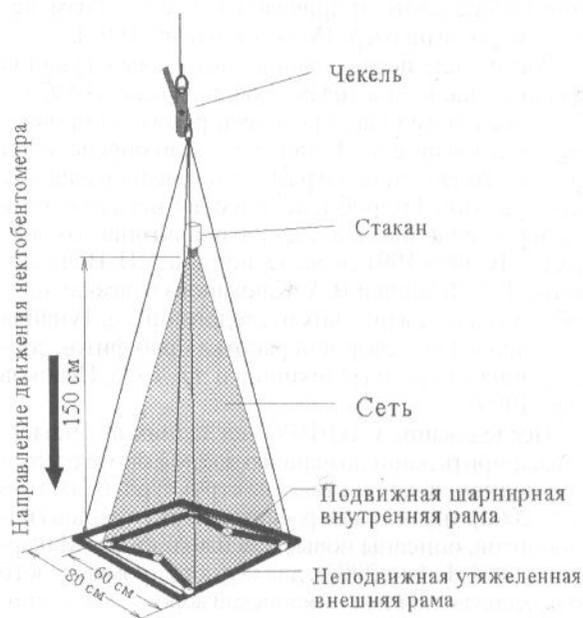


Рис. 2. Прибор для отбора проб нектобентоса собственной конструкции

ность (N); биомасса (B); относительная биомасса. При вычислении коэффициента относительности (КО) использовали формулу:

$$КО = B \times ЧВ,$$

где В — средняя относительная биомасса (%); ЧВ — частота встречаемости данной формы (%) (Палий, 1961).

При вычислении значимости отдельной формы и для более полной количественной характеристики учитывали вклад каждой формы в создание средней общей биомассы, ЧВ и КО при превалировании КО. Форма считалась доминирующей, если значение КО попадало в предел 10 000–1000; характерной 1-го порядка (субдоминирующей) — 1000–100; характерной 2-го порядка — 100–10; второстепенной 1-го порядка — 10–1; второстепенной 2-го порядка — менее 1.

Для оценки видового разнообразия донных сообществ использовали индекс видового разнообразия Шеннона-Уивера (Константинов, 1979). Для оценки степени зрелости сообществ в ряду сукцессионных изменений применяли АВС-метод (Abundance, Biomass, Comparison) (Warwick, 1986; Warwick et al., 1987; Аверинцев, Жуков, 1987; Аверинцев, Жуков, 1992). Данный метод хорошо зарекомендовал себя при описании донных сообществ (Warwick, 1986; Аверинцев, Жуков, 1992). По мнению Аверинцева и Жукова (1992), все многообразие функциональных состояний донных биоценозов сводится к трем примерам. На ранних стадиях сукцессии (неустойчивое состояние сообществ или пограничные системы) кумулятивная кривая численности располагается выше кумуляты биомасс: сообщество более олигодоминантно по численности, нежели по биомассе. На поздних стадиях сукцессии (устойчивое состояние сообщества) кумулята биомасс превышает таковую для численности: сообщество более олигодоминантно по биомассе входящих в него видов. Третий пример характеризует состояние неустойчивого равновесия — кумулятивные кривые сближены и пересекаются.

Несмотря на все достоинства, у метода есть существенный недостаток. Конечным продуктом, применительно к отдельно взятому сообществу или участку, всегда является графическое изображение. Сравнение большого количества сообществ или участков акватории приводит к перенасыщению графическими изображениями и трудности восприятия. Мы предлагаем дальнейшее развитие АВС-метода, выражая его через простой индекс соотношения кумуляты  $I_{ABC}$ :

$$I_{ABC} = \frac{\sum_{i=1}^{10} Bc_i - \sum_{i=1}^{10} Nc_i}{1000}$$

где  $Bc_i$  — кумулятивная биомасса  $i$ -го вида ( $Bc_1$  — относительная биомасса доминирующего вида (%);  $Bc_2$  — сумма относительных биомасс доминирующего и следующего за ним по биомассе вида и т. д.);  $Nc_i$  — кумулятивная численность  $i$ -го вида.

Положительные значения этого индекса соответствуют сообществам на поздних стадиях сукцессии

(стабильным); отрицательные — сообществам на ранних стадиях сукцессии; близкие к 0 — сообществам в состоянии неустойчивого равновесия. Применение данного индекса позволит сравнивать сообщества и участки акватории по численным значениям.

В работе использовались программы Microsoft Office: Excell и Windows.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Условия обитания макрозообентоса

Температура поверхностного слоя воды за весь период наблюдений колебалась от 0,2° до 18,6°С, соленость была практически постоянной, изменяясь в пределах 2,3–2,5‰.

В марте температура воды подо льдом от поверхности до глубины 10–12 м увеличивалась с глубиной от 0,2° до 1,0°С. Глубже вертикальный градиент был более значительным, и в придонном слое температура достигала 2,5–2,9°С. В апреле после таяния льда и радиационного прогрева верхний 10-метровый слой прогрелся до 4°С, нижний слой имел температуру 3,5–2,5°С, но его большая плотность, за счет высокой солености, препятствовала конвективному перемешиванию. В первой половине мая период осенне-зимней конвекции закончился и температурная стратификация приобрела классический характер с практически однородной водной массой (температура составляла около 8°С) до глубины 10–12 м и устойчиво стратифицированной в более глубоких слоях (вертикальный градиент порядка 0,5°С/м). На глубине более 15 м температура воды составляла 4°С, что является температурой наибольшей плотности.

Распределение температуры в июне характеризовалось стабильностью до изобаты 15 м, во всем активном слое она составляла 12,7°С. Далее до глубины 20 м температура понижалась до 5,4°С, термоклин наблюдался на глубине 15–16 м. В августе отмечена устойчивая стратификация до глубины 17 м, где температура понижалась от 18° до 15°С, далее до изобаты 20 м температура понижалась до 11,2°С. Отмечено вполне объяснимое повышение температуры воды (порядка 1°С на 25 км) от протоки к восточной части озера, связанное с косвенным влиянием более холодных морских вод через протоку Красноармейскую. Осенью имела место противоположная картина, когда в уже охладившуюся до 8–9°С от поверхности до дна водную массу озерной воды вливались теплые воды из протоки с температурой около 10°С. Адвекция тепла от притока морских вод происходила на расстоянии до 3 км от протоки.

Распределение солености на разрезе характеризовалось теми же закономерностями, что и температура. Однако есть и существенные отличия — соленость во всем слое от 0 до 15–16 м оставалась практически неизменной и составляла 2,3–2,5‰. Исключение составляет зимний период, когда слой скачка плотности размывался и в слое 12–18 м соленость менялась с вертикальным градиентом 0,5‰/м. Глубже 17 м соленость за все время съемки практически не менялась, составляя 10–12‰, что говорит об отсутствии перемешивания в нижнем слое. Горизонтальное распределение солености подтверждает тезис о том, что адвекция тепла происходит без адвекции соли.

Минимальные значения рН наблюдались глубже 17 м от 6,7 в апреле до 7,1 в июне. В верхнем слое значения рН изменялись от 8,15 в апреле до 6,89 осенью; вертикальный ход значений рН сильно зависит от процессов, связанных с жизнедеятельностью растений, поэтому не имеет такой явной структуризации, как по температуре и солености. Скачок рН отмечался на глубине 16–17 м, что говорит о плохой вентиляции придонных вод. Летом наибольшие концентрации растворенного кислорода — 5–6 мг/л — характеризовали восточную часть озера (на глубинах менее 15 м), наименьшие — менее 1 мг/л — глубоководную зону на изобатах более 15 м.

По данным СахУГМС, летом 2002 г. отмечено резкое возрастание содержания  $H_2S$  на глубинах более 15 м, что совпадает с нашими данными по вертикальному распределению кислорода. Верхняя граница сероводородного слоя поднималась до глубин 10–12 м, однако концентрации его здесь были незначительны (не более 2–10 мкг/л); на изобате 20 м, а в глубоководной части и на 15 м, происходило резкое увеличение содержания  $H_2S$  до 300–320 мкг/л. Подобная картина связана с застойными явлениями в неветилируемом придонном слое и отмечалась практически всеми исследователями (Микишин и др., 1995).

Для биогенов (фосфаты, нитритный азот, аммонийный азот) характерна аналогичная картина вертикального распределения — увеличение концентрации глубже 15–17 м. Повышенные концентрации некоторых биогенов (фосфатов и аммонийного азота) в верхнем слое Малой Тунайчи, видимо, связаны со стоком основных бассейновых рек озера — Комиссаровка и Подорожка.

### Весенний период

В составе макрозообентоса полигона Большой Тунайчи обнаружено 40 видов и форм. Состав, структура и количественные показатели макрозообентоса изменялись с глубиной, что отражено в дальнейшем описании.

**С у п р а л и т о р а л ь.** Макробентос представлен только одним видом — бокоплавом *Talorchestia crassicornis*, который встречен только в 50% проб, имел низкую численность — 13 экз./м<sup>2</sup> при биомассе 0,188 г/м<sup>2</sup>.

**П р и б о й н а я п о л о с а.** Состав и структура макрозообентоса неоднородны и зависят от типа грунта и наличия растительности. Существование в условиях сильного волнения обуславливает массовое развитие здесь вагильных форм.

Гравийно-галечные грунты. Береговая полоса в районе полигона представлена чередой слабовыраженных широкооткрытых бухт. Изредка наблюдаются выходы коренных пород, представленных бенчами и перекрытыми грубообломочным осадочным материалом. Прибрежная полоса сложена гравийно-галечными отложениями с песчаным заполнителем. Вдоль берега наблюдаются свободно перемещаемые плавающие в придонном слое скопления нитчатых водорослей шириной 1–2 м, исчезающие при волновом воздействии. Температура воды составляла 12,6°C, при амплитуде солености от 2‰ (у выходов грунтовых вод и ручьев) до 2,3‰ и рН, равной 8.

Основу видового состава формировали водные стадии развития комаров-звонцов (6 видов и форм из 10), прочие группы были представлены единичными видами. Хиროномиды же доминировали по численности (718 экз. из 998). Основу биомассы создавали двустворчатые моллюски и бокоплав (60,7 и 32%, соответственно).

Доминировали бокоплав *Eogammarus kygi* (160 экз./м<sup>2</sup>, 13,7 г/м<sup>2</sup>, 32% от общей биомассы) и встречавшиеся реже (50%) двустворчатые моллюски *Corbicula japonica* (34,4 экз./м<sup>2</sup>, 25,9 г/м<sup>2</sup>, 60,7%). Среди прочих видов некоторую роль играли личинки хиროномид *Glyptotendipes gripekoveni* и равноногие раки *Gnорimosphaeroma ovatum*, создававшие совместно 7,2% общей биомассы. Перечисленные виды формировали ядро сообщества — 99,9% общей биомассы). Интегральные характеристики составляли: 10 видов/форм, 998 экз./м<sup>2</sup>, 42,7 г/м<sup>2</sup>.

Песчаные грунты с наносами нитчатых водорослей. Пробы отобраны в бухте, закрытой от волнения зарослями камыша, что способствовало накоплению здесь значительных скоплений нитчатых водорослей и бурному развитию эпифауны. У берега наблюдается слой гальки, обросшей подушечками кладофоры. Температура воды в районе отбора проб составляла 15,9°C, при солености 2,3‰ и рН — 7,96.

Наибольшее число видов принадлежало водным стадиям развития комаров-звонцов (3 вида/формы из 9) и малощетинковым червям (2 вида). Основу биомассы создавали двустворчатые моллюски и бокоплав (83,5 и 15,3%, соответственно), бокоплав же преобладали по численности (31 экз. из 58).

Преобладали бокоплав *E. kygi* (31 экз./м<sup>2</sup>, 1,9 г/м<sup>2</sup>, 15,3% от общей биомассы) и встречавшиеся реже (25%) двустворки *C. japonica* (7 экз./м<sup>2</sup>, 10,4 г/м<sup>2</sup>, 83,5%). Перечисленные виды и мелкие гастроподы *Assiminea lutea*, личинки хиროномид *G. gripekoveni* и олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* f. *tupica* формировали ядро сообщества в данном биотопе (99,96%). Интегральные характеристики: 9 видов, 58 экз./м<sup>2</sup>, 12,4 г/м<sup>2</sup>.

Заросли камыша. В пределах полигона заросли камыша обнаружены на 3 отрезках побережья. На первом на протяжении 100 м берега на глубине 0,35–0,5 м встречено 2 участка длиной по 5 м и шириной 3 м с проективным покрытием 2–5%. Пробы отбирались только в зарослях, промежутки между ними представлены типичным гравийно-галечно-песчаным дном с сопутствующим населением. Второй отрезок: на 50 м побережья приходится 2 участка камышей длиной по 10 м и шириной 4 м с проективным покрытием 50%. Третий участок расположен на мысу; берег песчаный с примесью гальки и ракушки. Иногда у берега наблюдались скопления нитчатых до 2 м шириной. На удалении в 70 м от берега на глубине 0,35–0,5 м встречено 3 участка зарослей камышей и элеохариса длиной по 5, 15, 15 м и шириной 3–4 м с проективным покрытием 80%, промежутки между ними представлены типичным песчаным дном с сопутствующим населением.

Основу видового состава формировали водные стадии развития комаров-звонцов (6 видов/форм

из 13), бокоплав (3) и малощетинковые черви (2). Хируномиды, амфиподы и изоподы доминировали по численности (5571, 1045 и 403 экз. из 7046, соответственно). Основу биомассы создавали десятиногие раки, бокоплав и водные стадии хируномид (46,5, 27,5 и 22,2%, соответственно).

Доминантами сообщества были *E. kygi* (1042 экз./м<sup>2</sup>, 19,4 г/м<sup>2</sup>, 27,5% от общей биомассы), встречавшиеся реже (50%) креветки *Palaemon paucidens* (23 экз./м<sup>2</sup>, 32,7 г/м<sup>2</sup>, 46,5%) и личинки хируномид *G. gripekoveni* (4398 экз./м<sup>2</sup>, 14,9 г/м<sup>2</sup>, 21,2%). Ядро сообщества, сформированное доминирующими, характерными и второстепенными I порядка видами, составляло 99,9% от общей биомассы. Интегральные характеристики: 15 видов/форм, 7046 экз./м<sup>2</sup>, 70,4 г/м<sup>2</sup>.

Глубина 0,5–0,7 м. На расстоянии 6–15 м от берега на глубине 0,5–0,7 м простирается пояс нитчатых водорослей. Дно выстлано крупными камнями и скалистыми образованиями, промежутки между которыми заполнены гравием и галькой. Во время исследований температура придонного слоя воды варьировала от 13,6 до 15,5°C, соленость — 2,2–2,3‰, рН — 7,93–8,1.

Значительным количеством видов представлены водные стадии развития хируномид (9 видов/форм из 15) и разноногие раки (2 вида). Масовыми группами были хируномиды, бокоплав и двустворчатые моллюски (408, 181 и 149 экз. из 836, соответственно). Биомасса была сформирована преимущественно двустворчатыми моллюсками (96,4%).

По биомассе доминировали *C. japonica* (149 экз./м<sup>2</sup>, 133,4 г/м<sup>2</sup>, 96,4%). Среди прочих видов наиболее заметны были *E. kygi*, *G. ovatum* и личинки *G. gripekoveni* — 3,4% общей биомассы. Интегральные показатели: 15 видов/форм, 836 экз./м<sup>2</sup>, 138,4 г/м<sup>2</sup>.

Глубина 2–3 м. На расстоянии 25–30 м от берега на глубине 2–3 м наблюдается пояс рдеста нитчатого с проективным покрытием макрофитов около 30%. Дно покрыто крупными камнями с гравийно-галечным заполнителем. Температура придонного слоя воды в районе отбора проб составляла 10–10,3°C, соленость — 2,3‰ и рН — 7,88–8,02.

Основу видового состава здесь, как и на меньших глубинах, формировали хируномиды (9 видов и форм из 17). Они же, совместно с бокоплавами, брюхоногими и двустворчатыми моллюсками, доминировали по численности (1228, 645, 835 и 542 экз. из 998, соответственно). Основу биомассы создавали двустворчатые моллюски (92,7%).

Доминантой были *C. japonica* (835 экз./м<sup>2</sup>, 326,6 г/м<sup>2</sup>, 92,7% от общей биомассы). Субдоминантами являлись *E. kygi* и *A. lutea*, менее значимы были мизиды *Neomysis awatschensis*, амфиподы *Melita nitidafotmis* и личинки хируномид *Stictochironomus* sp., создававшие совместно до 7% общей биомассы. В целом количественные характеристики составляли: 17 видов/форм, 3362 экз./м<sup>2</sup>, 352,5 г/м<sup>2</sup>.

Глубина 4–5 м. Дно выстлано гравием, галькой с песчаным наполнителем. Из макрофитов отмечены редкие кустики нитчатого рдеста и кладо-

форы. Придонный слой воды имел температуру 10–10,4°C, соленость — 2,3‰ и рН — 8–8,25.

Основу видового состава также формировали хируномиды (5 видов/форм из 13), разноногие раки и малощетинковые черви (по 2 вида). По численности преобладали двустворчатые моллюски, хируномиды, мизиды и бокоплав (582, 379, 251 и 107 экз. из 1433, соответственно). Биомасса была сформирована преимущественно двустворчатыми моллюсками (95,9%).

Сохранялась доминанта *C. japonica* (582 экз./м<sup>2</sup>, 195,6 г/м<sup>2</sup>, 95,9%). *N. awatschensis*, *G. ovatum* и *A. lutea* создавали совместно до 3,7% общей биомассы. Интегральные характеристики: 13 видов/форм, 1433 экз./м<sup>2</sup>, 204 г/м<sup>2</sup>.

Глубина 9–10 м. Дно выстлано песчано-илистым грунтом, часто с примесью ракуши. Вероятно, по данной изобате проходит нижняя граница фотической зоны, и макрофиты представлены чрезвычайно редкими чахлыми кустиками кладофоры. Температура воды уменьшилась до 8,7–9°C, соленость, наоборот, возросла до 2,3–2,4‰ и рН составил 7,1–7,37.

Количество видов хируномид уменьшилось по сравнению с меньшими глубинами, (4 вида/формы из 16), начиная с этой изобаты возрастает количество видов двустворчатых моллюсков (3 вида), впервые появляются типично солоноватоводные виды *Potamocorbula amurensis* и *Macoma balthica*. По численности преобладали двустворки (7460 экз. из 8518). Биомасса сформирована почти исключительно двустворчатыми моллюсками (99,8%).

Доминанта сообщества — *C. japonica* (7445 экз./м<sup>2</sup>, 1596 г/м<sup>2</sup>, 99,2%). Количественные характеристики сообщества: 16 видов/форм, 8518 экз./м<sup>2</sup>, 1609 г/м<sup>2</sup>.

Глубина 13–14 м. Дно песчано-илистое, часто с галькой. Температура воды уменьшилась здесь до 8–8,2°C, соленость составляла 2,3–2,4‰ и рН — 7,13–7,37.

По числу обнаруженных видов таксономических групп сообщество макрозообентоса на данной глубине сходно с предыдущим. По численности и биомассе преобладали двустворчатые моллюски (2405 экз. из 2915; 99,7% от общей биомассы).

Явной доминантой сообщества были *C. japonica* (2385 экз./м<sup>2</sup>, 420 г/м<sup>2</sup>, 98,7%). *M. balthica*, *P. amurensis*, *A. lutea*, мизиды и кумовые раки *Lamprops korroensis* интегрально формировали 1,3% общей биомассы. Количественные характеристики сообщества составляли: 17 видов/форм, 2915 экз./м<sup>2</sup>, 426 г/м<sup>2</sup>.

Основные закономерности изменения структурных показателей макрозообентоса с глубиной. Эволюция суммарной биомассы макрозообентоса направлена в сторону увеличения от сублиторали (0,188 г/м<sup>2</sup>) к глубине 9–10 м (1609 г/м<sup>2</sup>) и дальнейшего уменьшения с возрастанием глубины (рис. 3А). В целом, вертикальная изменчивость суммарной биомассы схожа с таковой для двустворчатых моллюсков, но на малых глубинах большую роль играют ракообразные, преимущественно бокоплав (рис. 3). В прибойной зоне, кроме того, достаточно велика роль водных стадий развития комаров-звонцов. В прибойной полосе отчетливо проявляется закономерность увеличения биомассы и количества гидробионтов от песчаных

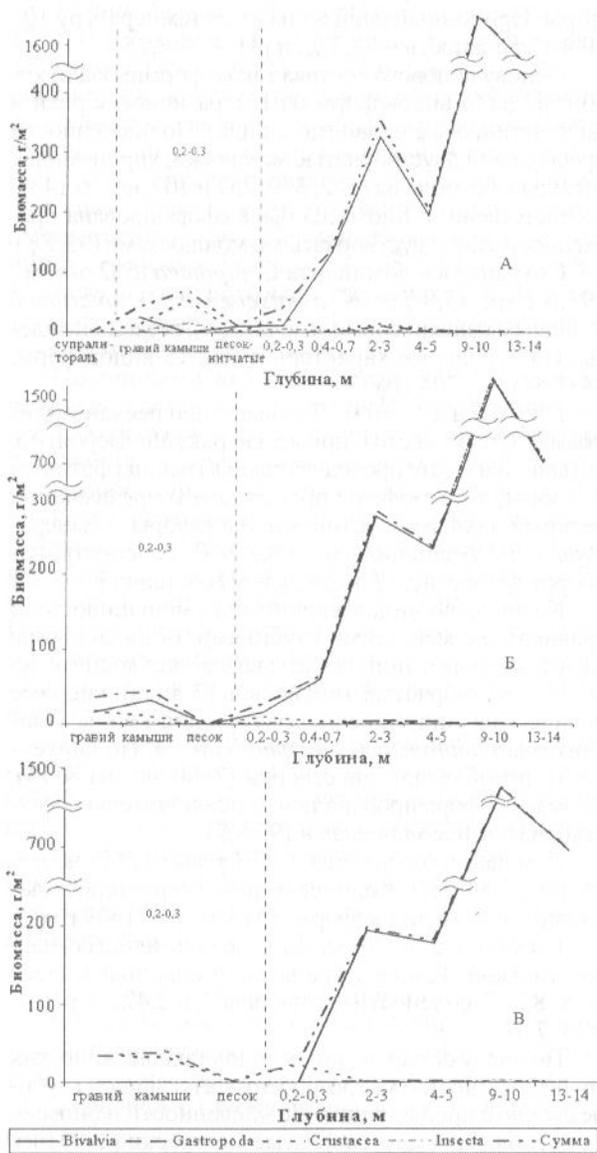


Рис. 3. Изменчивость биомассы отдельных групп макрозообентоса с глубиной: А — весенний период; Б — летний период; В — осенний период

подвижных грунтов к каменисто-гравийно-галечным и далее к зарослям камышей ( $12,4 > 42,7 > 70,4$  г/м<sup>2</sup>). Параллельно происходит увеличение доли бокоплавов (преимущественно *E. kygi*) и хирономид (*G. gripekoveni*). Отмеченные изменения в прибрежье, очевидно, связаны с уменьшением воздействия волнения в данной последовательности биотопов. Еще одна особенность заключается в смене массовых видов основных таксономических групп. Среди бокоплавов доминирующий на малых глубинах *E. kygi* уже на изобате 4–5 м сменяется эндемичным для Тунайчи *M. nitidafotmis*. Нижняя граница распространения бокоплавов совпадает с нижней границей распространения донной растительности. Массовый в прибрежье вид хирономид *G. gripekoveni*, начиная с изобаты 1 м, сменяется *Stictochironomus* sp. На больших глубинах также возрастает роль кумовых раков

*L. korroensis*. Как отмечено выше, начиная с глубины 9–10 м появляются также солоноватоводные моллюски *M. balthica* и *P. amurensis*.

Наибольшее значение индекса соотношения кумлят, а следовательно, и максимально устойчивое состояние сообщества, отмечается на изобате 2–3 м. Постепенное уменьшение устойчивости сообщества отмечено как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения глубины (рис. 4А). На глубине более 9 м сообщество находится в нестабильном состоянии, что, видимо, объясняется уменьшением содержания растворенного кислорода в воде и наибольшим содержанием илов в донных осадках. На мелководье отмечено повышение видового разнообразия по Шеннону-Уиверу от песков к зарослям камыша. Другая закономерность проявляется в уменьшении индекса от изобаты 2–3 м с увеличением глубины. Здесь точками перелома выступают изобаты 2–3 м и 9–10 м. В среднем по полигону индекс видового разнообразия составил 0,134.

#### Летний период

Макрозообентос представлен 38 видами и формами. В целом структурные параметры сообщества были схожи с таковыми для весеннего периода, поэтому в последующем описании мы будем давать только основные отличия.

**П р и б о й н а я п о л о с а.** Гравийно-галечные грунты. Температура воды в районе отбора проб менялась, в зависимости от погоды и времени суток, от 10,3 до 15°C, при амплитуде солености от 0,7‰ до 2‰, что связано с обильными дождями, распределением поверхностный слой, и рН, равной 7,83–9,11.

По сравнению с весной значительно увеличилось количество обнаруженных видов (21 против 10). Основу видового состава также формировали водные стадии комаров-звонцов (9 видов и форм), но численность их была невелика. Во много раз с весны увеличилась численность бокоплавов (1363 экз. из 1534). Основу биомассы создавали двустворчатые моллюски и бокоплав (44,6 и 47,1%, соответственно).

Доминанты сообщества — *E. kygi* (1361 экз./м<sup>2</sup>, 17,3 г/м<sup>2</sup>, 47,1% от общей биомассы) и *S. japonica* (28 экз./м<sup>2</sup>, 16,4 г/м<sup>2</sup>, 44,6%). Интегральные характеристики: 21 вид/форма, 1534 экз./м<sup>2</sup>, 36,8 г/м<sup>2</sup>.

**Песчаные грунты.** Пробы отобраны на открытом берегу. Температура воды составляла 16,5–18,7°C, соленость — 2,3–2,4‰ и рН — 8,29–8,73.

Основу биомассы создавали двустворчатые моллюски и бокоплав (23,4 и 60%, соответственно), бокоплав же преобладали по численности (53 экз. из 56).

Среди всех видов наиболее массовы были супралиторальные бокоплав *T. crassiocornis* (39 экз./м<sup>2</sup>, 0,07 г/м<sup>2</sup>, 44,5% от общей биомассы). Среди прочих видов были массовы *E. kygi*, *S. japonica* и *A. lutea* (52,3% от общей биомассы). Интегральные характеристики: 6 видов, 56,3 экз./м<sup>2</sup>, 0,16 г/м<sup>2</sup>.

**Заросли камыша.** Как и весной, основу видового состава формировали водные стадии развития комаров-звонцов (3 вида/формы из 14), бокоплав (2) и малощетинковые черви (3). Хирономиды и амфилоды доминировали по численности (125 и 702 экз. из 875, соответственно). Массовые ранее изоподы

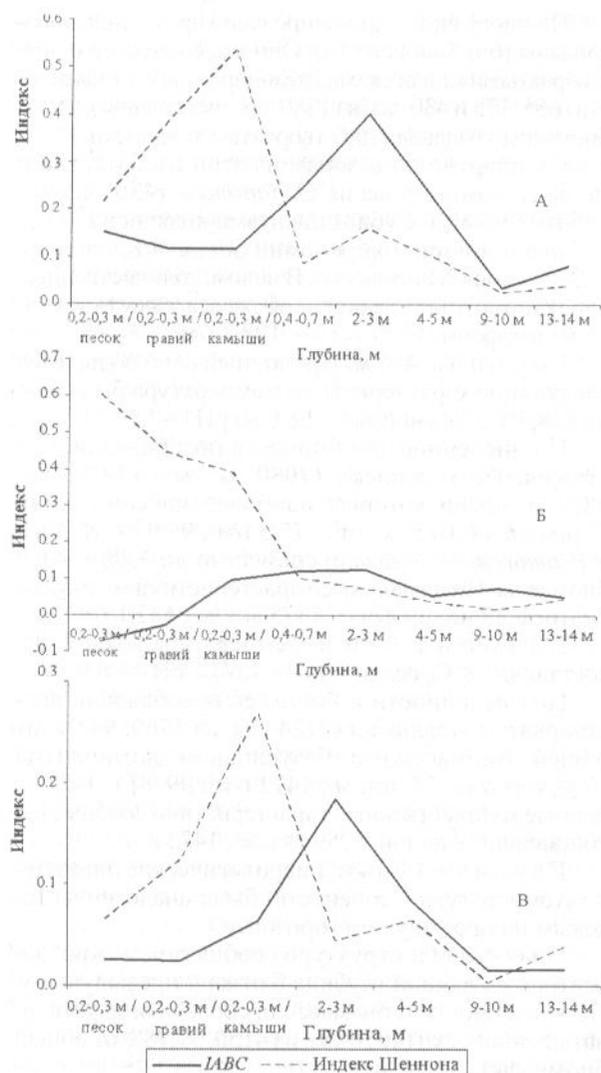


Рис. 4. Изменчивость показателей структурной устойчивости макрозообентоса с глубиной: А — весенний период; Б — летний период; В — осенний период

вообще исчезли из биотопа. Отсутствовавшие ранее двустворки стали доминантами по биомассе (72%). В данном случае камыши выполняли роль фильтра, задерживая сносимых волнением моллюсков.

Превалировали *S. japonica* (27 экз./м<sup>2</sup>, 32 г/м<sup>2</sup>, 72%) и *E. kygi* (700 экз./м<sup>2</sup>, 5,5 г/м<sup>2</sup>, 12,3%). Интегральные характеристики макрозообентоса: 14 видов, 875 экз./м<sup>2</sup>, 44,8 г/м<sup>2</sup>.

Г л у б и н а 0,5–0,7 м. Температура придонного слоя воды варьировала от 13,5 до 14,1°C, соленость составляла 1,8–2‰, рН — 8,24–8,3.

Основу видового состава на этой глубине формировали водные стадии комаров-звонцов и разноногие раки (по 3 вида). По численности преобладали бокоплавцы (440 экз. из 595), по биомассе — двустворчатые моллюски (94,8%).

Стандартно доминировали *S. japonica* (66 экз./м<sup>2</sup>, 60,8 г/м<sup>2</sup>, 94,8%). Некоторое уменьшение количественных показателей двустворок объясняется вымыванием части особей сильным волнением и небольшим приростом этого тепловодного вида

из-за экстремально холодного лета. Среди прочих видов наиболее заметны были бокоплавцы *E. kygi*. Интегральные характеристики: 10 видов/форм, 595 экз./м<sup>2</sup>, 64,1 г/м<sup>2</sup>.

Г л у б и н а 2–3 м. Температура воды составляла 14–14,3°C, соленость — 2,4‰ и рН — 7,83–8.

Разнообразие хирономид, по сравнению с весной, уменьшилось до 3 видов. По численности преобладали двустворчатые и брюхоногие моллюски и бокоплавцы (895, 245, 835 и 375 экз. из 1706). Основу биомассы формировали двустворчатые моллюски (97,1%).

В сообществе доминировали *S. japonica* (895 экз./м<sup>2</sup>, 278 г/м<sup>2</sup>, 97,1%). Субдоминантами стали *A. lutea*, менее значимы были *E. kygi* и *G. ovatum* (совместно — 2,7% биомассы). В целом количественные характеристики макрозообентоса составляли: 12 видов/форм, 1706 экз./м<sup>2</sup>, 286,4 г/м<sup>2</sup>.

Г л у б и н а 4–5 м. Характеристики придонного слоя воды: температура — 15,7–15,8°C, соленость — 2,4‰ и рН — 7,76–7,79.

Как и прежде, основу видового состава формировали хирономиды (5 видов/форм из 14) и разноногие раки (2 вида). По численности преобладали двустворчатые моллюски, гастроподы и бокоплавцы (1585, 161, и 135 экз. из 2000, соответственно). 98,6% биомассы формировали двустворчатые моллюски.

Как обычно, доминировали *S. japonica* (1585 экз./м<sup>2</sup>, 234 г/м<sup>2</sup>, 98,6%). *A. lutea* и *M. nitidaformis* создавали совместно 1,3% общей биомассы. Интегральные характеристики макрозообентоса: 14 видов/форм, 1999 экз./м<sup>2</sup>, 237,2 г/м<sup>2</sup>.

Г л у б и н а 9–10 м. Температура воды — 14,9–15,5°C, соленость — 2,4‰ и рН — 7,54–7,62.

Максимальным количеством видов (7 из 22) были представлены хирономиды. По численности и биомассе преобладали двустворчатые моллюски (5330 экз. из 6114; 99,8% общей биомассы). Среди них наиболее массовы были *S. japonica* (5320 экз./м<sup>2</sup>, 1431 г/м<sup>2</sup>, 99,6%). Количественные характеристики сообщества: 22 вида, 6114 экз./м<sup>2</sup>, 1438 г/м<sup>2</sup>.

Г л у б и н а 13–14 м. Температура воды в придонном горизонте упала до 14,4–14,7°C, соленость составляла 2,4‰ и рН — 7,12–7,47.

Среди представленных на этой глубине групп по всем показателям безусловно доминировали двустворчатые моллюски *S. japonica* (3520 экз./м<sup>2</sup>, 670 г/м<sup>2</sup>, 98,3%). Среди прочих видов наиболее значимы были *M. balthica*, *P. amurensis*, *L. korroensis* и *L. hoffmeisteri* f. *tipica* (интегрально формировали 1,6% от общей биомассы). В целом количественные характеристики составляли: 15 видов/форм, 4023 экз./м<sup>2</sup>, 701 г/м<sup>2</sup>.

Г л у б и н а 17 м. Дно выстлано толстым слоем неразложившихся органических остатков. Температура воды у дна составляла 11,5°C, соленость — 8,7‰ и рН — 6,9. Вода и грунт имеют отчетливый запах сероводорода. Макрозообентос не обнаружен.

Основные закономерности изменения структурных показателей макрозообентоса с глубиной. Изменчивость количественных показателей и состава макрозообентоса с глубиной в летний период схожа с таковым в

весенний (рис. 3Б). Однако летом существенно ниже была роль водных стадий развития хирономид.

Как и весной, наибольшие значения индекса  $I_{ABC}$ , а следовательно, и максимально устойчивое состояние сообщества, отмечены на изобате 2–3 м (рис. 4Б). Постепенное уменьшение устойчивости сообщества происходило как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения глубины. Нестабильное состояние характеризовало и прибойную часть побережья. Собственно, среди прибрежных сообществ наблюдалась тенденция уменьшения стабильности от зарослей камыша (где волнение минимально) до песчаных грунтов, где индекс  $I_{ABC}$  имеет отрицательное значение. Общее снижение устойчивости по всем глубинам связано с периодом размножения большинства бентосных форм, что отмечается и другими исследователями для водоемов умеренной зоны (Аверинцев, Жуков, 1992). В отличие от весны, на мелководье отмечено уменьшение индекса видового разнообразия от песчаных грунтов к зарослям камыша, что, по-видимому, связано с возрастанием роли ракообразных на песчаных и гравийно-галечных грунтах (рис. 4Б). Другой закономерностью является плавное уменьшение индекса с увеличением глубины. В среднем по полигону индекс видового разнообразия составил 0,066.

#### Осенний период

В составе макрозообентоса в ноябре 2002 г. обнаружено всего 25 видов и форм.

**П р и б о й н а я п о л о с а.** Гравийно-галечные грунты. Температура воды составляла 8–9°C, при амплитуде солености от 2,2 до 2,6‰ и pH, равной 7,1–7,2.

Бокоплавы и мизиды доминировали по численности (498 и 216 экз. из 719). Основу биомассы создавали бокоплавы (92,1%).

Доминировали *E. kygi* (498 экз./м<sup>2</sup>, 31,5 г/м<sup>2</sup>, 92,1% от общей биомассы). Роль субдоминанты играли мизиды *N. awatschensis* (7,7%). Интегральные характеристики макрозообентоса: 5 видов, 719 экз./м<sup>2</sup>, 34,1 г/м<sup>2</sup>.

**Песчаные грунты.** Характеристики придонного слоя воды: температура составляла 8–9°C, соленость — 2,4–2,6‰ и pH — 7–7,3.

Количественные характеристики таксономических групп были крайне минимальны, при доминанте амфипод *E. kygi* (50 экз./м<sup>2</sup>, 2,4 г/м<sup>2</sup>, 96,6%), субдоминанте *N. awatschensis* (9,4 экз./м<sup>2</sup>, 0,09 г/м<sup>2</sup>, 3,4%). Интегральные характеристики составляли: 4 вида, 63 экз./м<sup>2</sup>, 2,52 г/м<sup>2</sup>.

**Заросли камыша.** Температура воды достигала 9°C, соленость — 2,6‰ и pH — 7,3.

Амфиподы и мизиды доминировали по численности (403 и 137 экз. из 603, соответственно). Основу биомассы создавали бокоплавы и двустворчатые моллюски (79,3 и 17,1%, соответственно).

Преобладали *E. kygi* (401 экз./м<sup>2</sup>, 31,3 г/м<sup>2</sup>, 79,3%) и встречавшиеся реже (67%) *S. japonica* (24 экз./м<sup>2</sup>, 6,8 г/м<sup>2</sup>, 17,1%) при субдоминанте *N. awatschensis* (137 экз./м<sup>2</sup>, 1,3 г/м<sup>2</sup>, 3,2%). Интегральные характеристики сообщества: 10 видов, 603 экз./м<sup>2</sup>, 39,5 г/м<sup>2</sup>.

**Г л у б и н а 2–3 м.** Температура воды у дна составляла 8–9°C, соленость — 2,6‰, pH — 7–7,2.

По числу видов преобладали хирономиды и бокоплавы (6 и 3 вида из 16). Они же, совместно с двустворчатыми моллюсками, доминировали по численности (665, 175 и 430 экз. из 1380, соответственно). 98,5% биомассы создавали двустворчатые моллюски.

Стандартно по сезонам на этой изобате, как и глубже, доминировали *S. japonica* (430 экз./м<sup>2</sup>, 195 г/м<sup>2</sup>, 98,5%). Субдоминантами являлись *E. kygi*, *A. lutea* и личинки хирономид *Stictochironomus* sp. (1,3% от общей биомассы). В целом, количественные характеристики макрозообентоса составляли: 16 видов/форм, 1380 экз./м<sup>2</sup>, 198,2 г/м<sup>2</sup>.

**Г л у б и н а 4–5 м.** Придонный слой воды имел следующие характеристики: температура была равна 8–8,3°C, соленость — 2,6‰ и pH — 7,1.

По численности и биомассе преобладали двустворчатые моллюски (1080 экз./м<sup>2</sup>, 179,4 г/м<sup>2</sup>, 98,5%), среди которых наиболее массовые были *S. japonica* (1075 экз./м<sup>2</sup>, 177,5 г/м<sup>2</sup>, 95,9%). *A. lutea* и *P. amurensis* создавали совместно до 3,2% общей биомассы. Интегральные характеристики макрозообентоса: 12 видов/форм, 1375 экз./м<sup>2</sup>, 182,1 г/м<sup>2</sup>.

**Г л у б и н а 9–10 м.** Температура воды у дна составляла 8°C, соленость — 2,6‰, pH — 6,9–7.

По численности и биомассе преобладали двустворчатые моллюски (5124 экз. из 5760; 99,9% от общей биомассы) с безусловной доминантой *S. japonica* (5125 экз./м<sup>2</sup>, 1472 г/м<sup>2</sup>, 99,9%). Осредненные количественные характеристики сообщества составляли: 9 видов, 5759 экз./м<sup>2</sup>, 1473 г/м<sup>2</sup>.

**Г л у б и н а 13–14 м.** Гидрологические показатели (температура и соленость) были аналогичны таковым на предыдущем горизонте.

По составу и структуре сообщество макрозообентоса на данной глубине близко к предыдущему. По численности и биомассе преобладали двустворчатые моллюски (4010 экз. из 4150, 99,98% от общей биомассы).

Явной доминантой сообщества были двустворчатые моллюски *S. japonica* (3990 экз./м<sup>2</sup>, 685 г/м<sup>2</sup>, 98,4%). Среди прочих видов наиболее значимы были *M. balthica* и *P. amurensis* (1,5% от общей биомассы). Количественные характеристики сообщества составляли: 13 видов, 4151 экз./м<sup>2</sup>, 696 г/м<sup>2</sup>.

**Г л у б и н а 17 м.** Температура воды у дна составляла 11,5°C, соленость — 8,7‰ и pH — 6,9. Вода и грунт имели отчетливый запах сероводорода. Макрозообентос не обнаружен.

Основные закономерности изменения структурных показателей макрозообентоса с глубиной. Распределение количественных показателей и состава макрозообентоса с глубиной в осенний период подчинено тем же закономерностям, что и в весенний и летний периоды (рис. 3В). Главное отличие заключается в снижении роли всех таксономических групп, за исключением двустворчатых моллюсков и амфипод. Кроме того, на небольших глубинах отмечено почти полное исчезновение двустворчатых моллюсков, что связано с эрозийным действием волнения, при увеличении их биомассы на максимальных глубинах (13–14 м).

Как и в другие периоды, максимально устойчивое состояние сообщества наблюдалось на изобате

2–3 м (рис. 4В). На глубинах более 9 м, как и в прибойном прибрежье, сообщество находилось в нестабильном состоянии. Общий ход изменчивости индекса видового разнообразия аналогичен таковому в весенний период, хотя абсолютные значения ниже (рис. 4В). В среднем по полигону индекс видового разнообразия составил 0,091.

#### Межсезонная динамика количественных и структурных показателей

Суммарное число видов в донном сообществе на полигоне озера Тунайча определяется двумя группами — насекомыми (водными стадиями) и ракообразными, причем первые более многочисленны на мелководье. Анализируя изменчивость показателя на разных глубинах, отметим два противоположно направленных процесса. На мелководье и больших глубинах число видов донных гидробионтов минимально весной (19 и 16 видов, соответственно) и осенью (12 и 9), а в диапазоне глубин 2–3 м — летом (12).

В динамике общей численности гидробионтов (осредненной по горизонталю) прослеживается закономерность снижения показателя от весны к осени ( $3470 > 2330 > 1730$  экз./м<sup>2</sup>): более резкое в первой половине теплого периода и менее выраженное — во второй. На мелководье общее снижение численности связано с такой группой как водные насекомые и, в первую очередь, хирономиды. Общее снижение численности хирономид обусловлено, скорее всего, особенностями их биологии — вылетом имаго и выеданием их рыбами. На глубине 2–3 м и более в динамике численности водных насекомых (хирономид) минимум прослеживался в июле, что, скорее всего, связано со сменой массовых видов и особенностями их биологии (на мелководье преобладал *Glyptotendipes gripekoveni*, а на больших глубинах — *Stictochironomus* sp.). Ракообразные (преимущественно бокоплавы) резко увеличивали численность летом (до 460 экз./м<sup>2</sup>) (интенсивное размножение) с последующим ее падением осенью (элиминация особей и перераспределение по глубинам).

На больших глубинах общая численность гидробионтов определялась численностью двустворчатых моллюсков, которая снижалась по сезонам (впрочем, как и численность других групп макрозообентоса). Причина, на наш взгляд, кроется в необычайно холодном лете 2002 г. По данным синоптика СахУГМС Г.П. Галкиной, в Корсаковском районе в 2002 г. средняя температура воздуха в июле была на 1°C ниже среднестатистической, а в августе — на 3°C (табл.). Преобладающие ветры юго-восточного и северо-западных направлений создавали благоприятные условия для максимального разгона волны вдоль озера и интенсивного перемешивания всего верхнего слоя и активной придонной гидродинамики, что также ухудшало условия существования макрозообентоса. Происходил вынос малоподвижных форм на берег, при слабом восполнении за счет размножения. Летом 2002 г. из-за низкой температуры воды вымета личинок корбикулы в воду не происходило, поэтому закономерного осеннего увеличения численности за счет оседания спата также не наблюдалось.

В динамике биомассы по всем глубинам прослеживается закономерность ее уменьшения от мая к ноябрю (в среднем по глубинам:  $384 > 392 > 270$  г/м<sup>2</sup>). Если

Таблица. Характеристика среднемесячной температуры воздуха (°С) и преобладающего направления ветра в Корсаковском районе в теплый период 2002 г. (по данным Корсаковской ГМС)

Год	Июнь	Июль	Август
2002 г.	10,3	13,5	13,8
Норма	10	14,5	16,9
Направление ветра	ЮЮВ→СВ	ЮВВ→СВ	ЮЮВ

в прибрежье разница биомассы макрозообентоса в мае и ноябре составляла около 16 г, то на больших глубинах — 135–154 г. На мелководье снижение суммарной биомассы обеспечивалось снижением биомассы практически всех групп, кроме ракообразных. На наш взгляд, данное явление является следствием преобладания в оз. Тунайча среди макрозообентоса тепловодных субтропическо-низкобореальных видов: *S. japonica*, *A. lutea* и др. В холодное лето 2002 г. количественные показатели данных видов закономерно снижались. Среди донных ракообразных, наоборот, обильны широкобореальные виды с большой амплитудой температурной валентности, что обусловило стандартную динамику их биомассы: уменьшение к июлю при возросшей численности (элиминация крупноразмерных особей второго года жизни при увеличении количества сеголеток) и увеличение к ноябрю за счет роста. Изменчивость биомассы прочих групп прямо пропорциональна динамике численности.

Сравнивая изменчивость показателя сукцессии сообщества ( $I_{ABC}$ ), отметим весну как период наибольшей устойчивости сообщества во всем диапазоне глубин (рис. 5). Летом и особенно осенью стабильность сообщества значительно снижается, а на мелководье его состояние можно охарактеризовать как нестабильное. Аналогично изменяется и индекс видового разнообразия Шеннона-Уивера по «осредненному» сообществу: от 0,134 в мае до 0,066 в июле и до 0,091 в ноябре.

Таким образом, наиболее устойчивое состояние сообщества макрозообентоса Большой Тунайчи и его максимальные количественные показатели характеризуют весенний период.

Для солоноватоводных водоемов низкобореальной зоны «корбикульного» типа наиболее подробно с анализом сезонной динамики рассмотрен макрозоо-

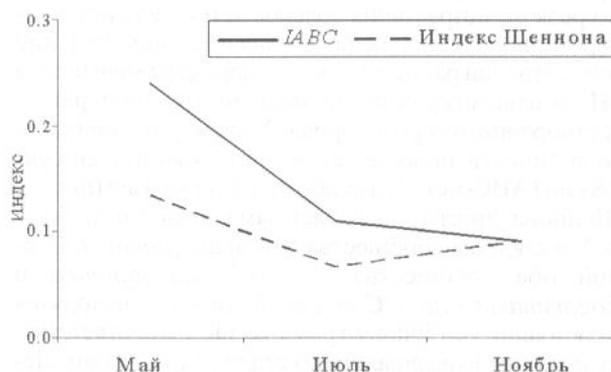


Рис. 5. Динамика показателей структурной устойчивости осредненного сообщества макрозообентоса в 2002 г.

бентос лагуны Зюсан-ко (Zyusan-ko) на острове Хоккайдо (Nakao, 1982). В ней наблюдается градиент солености от устья р. Иваки (Iwaki river) к протоке, соединяющей лагуну с морем. В зимние и весенние месяцы почти всю акваторию лагуны занимают сильно распресненные воды, летом лагуна заполняется солоноватыми водами. В соответствии с градиентным и сезонным распределением солености в лагуне наблюдается смена сообществ. Сообщества «корбикульного» типа занимают часть водоема, где соленость никогда не поднимается выше 16‰, что соответствует верхней границе солоноватоводной зоны по Римане (Хлебович, 1974; 1989). Распределение сообществ определяется не только градиентом солености, но и типом грунтов. Сезонная динамика сообществ «корбикульного» типа связана со сменой доминантных видов — различных видов полихет.

Другим примером водоемов «корбикульного» типа является оз. Айнское близ западного побережья о. Сахалин (Ключарева и др., 1964). В озере наблюдается отчетливо выраженный градиент солености в сторону протоки от пресной воды к солоноватой, что объясняется относительно небольшими размерами водоема и его водосбора. Доминирующим видом беспозвоночных является японская корбикула, но также велика роль прочих моллюсков. Состав массовых видов достаточно близок к таковому в озере Тунайча. В целом, в оз. Айнское, в отличие от Тунайчи, наблюдается большее разнообразие видов, соответствующее смене нескольких зон солености, образующих переходящие друг в друга биотопы. Кроме того, наличие в оз. Айнское четко выраженной зоны илов со своим населением значительно отличает его от Тунайчи, где илы большей частью находятся в абиотической зоне.

Горизонтальный градиент солености в озере Тунайча отсутствует, характер донных отложений, несмотря на его широкий спектр — от каменистых грунтов до песчано-илистых — также не оказывает влияния на тип сообществ макрозообентоса, а только на его количественные показатели. Видимо, основным фактором, влияющим на смену сообществ макрозообентоса, является волновая динамика: господствующее во всем диапазоне глубин сообщество *Corbicula japonica* в прибойном мелководье сменяется смешанным сообществом *Eogammarus kygi* + *Corbicula japonica*. Нижней границей сообщества *Corbicula japonica* является слой скачка (около 15 м), где помимо резкого возрастания солености и изменения температуры воды наблюдается значительное падение концентрации растворенного кислорода и уменьшение рН, соответствующие повышению концентрации растворенного сероводорода. Характер изменчивости количественных показателей и показателей сукцессии (АВС-метод) и видового разнообразия (индекс Шеннона-Уивера) позволяет нам соотнести глубину 2–3 м с ядром сообщества *Corbicula japonica*. Весной оба сообщества — *Corbicula japonica* и *Eogammarus kygi* + *Corbicula japonica* — находятся в состоянии устойчивого равновесия, что соответствует поздним (завершающим) стадиям сукцессии. Летом их состояние максимально приближено к неустойчивому равновесию, причем в прибойном мелководье

их состояние наиболее неустойчиво, что соответствует ранним стадиям сукцессии.

Таким образом, несмотря на солоноватоводный характер оз. Тунайча, сообщество макрозообентоса по своим структурным показателям резко отличается от солоноватоводных образований с выраженным горизонтальным градиентом абиотических факторов (Nakao, 1982; Буруковский, Столяров, 1995; Столяров, Буруковский, 1998; Кафанов и др., 2003).

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность всем сотрудникам СахНИРО, принимавшим участие в сборе и обработке материалов, доктору биологических наук Е.А. Макаренко (БПИ ДВО РАН) — за помощь в обработке проб водных насекомых, а также СахУГМС в лице Е.В. Золотухина — за переданные СахНИРО данные о химических характеристиках вод озера Тунайча (концентрация растворенного сероводорода и биогены).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аверинцев В.Г., Жуков Е.И. 1987. Соотношение кумулятивных процентов биомассы и численности как показатель состояния сообществ // Тез. докл. II Всес. конф. «Проблемы четвертичной палеоэкологии и палеогеографии северных морей». Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР. С. 3–4.
- Аверинцев В.Г., Жуков Е.И. 1992. АВС-метод оценки функционального состояния донных биоценозов // Теоретические подходы к изучению экосистем морей Арктики и Субарктики. Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР. С. 84–90.
- Алабастер Дж., Ллойд Р. 1984. Критерии качества воды для пресноводных рыб. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 344 с.
- Богатов В.В. 1994. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 218 с.
- Буруковский И.В., Столяров А.П. 1995. Особенности структурной организации макробентоса в биотопе с выраженным градиентом солености // Зоол. журн. Т. 74. Вып. 2. С. 32–46.
- Дрягин П.А. 1968. О сезонных наблюдениях биоритмов на водоемах // Докл. географ. об-ва СССР. Вып. 6. Л.: Наука. С. 19–26.
- Иванков В.Н., Андреева В.В., Тяткина Н.В. и др. 1999. Биология и кормовая база тихоокеанских лососей в ранний морской период жизни. Владивосток: Изд-во Дальневост. гос. ун-та, 260 с.
- Кафанов А.И., Лабай В.С., Печенева Н.В. 2003. Биота и сообщества макробентоса лагун Северо-Восточного Сахалина. Ю-Сахалинск: СахНИРО, 176 с.
- Ключарева О.А., Коренева Т.А., Сокольская Н.Л., Старобогатов Я.И. 1964. Донные беспозвоночные озер Южного Сахалина // Озера Южного Сахалина и их ихтиофауна. М.: МГУ. С. 47–81.

- Константинов А.С. 1979. Общая гидробиология. М.: Высш. шк., 480 с.
- Лабай В.С., Заварзин Д.С., Мотылькова И.В., Коновалова Н.В. 2003. Корбикула *Corbicula japonica* (Bivalvia) озера Тунайча: условия обитания, некоторые аспекты морфологии и биологии вида // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып. 2. Владивосток: Дальнаука. С. 143–152.
- Леванидов В.Я. 1976. Биомасса и структура донных биоценозов малых водотоков Чукотского полуострова. Пресноводная фауна Чукотского полуострова // Тр. биол.-почв. ин-та. Т. 36 (139). С. 104–122.
- Макарченко Е.А. 2003. Новый вид *Psectrocladius* Kieffer (Diptera, Chironomidae, Orthoclaadiinae) с юга российского Дальнего Востока // Евроазиатский энтомолог. журн. 2 (1). С. 61–66.
- Микишин Ю.А., Рыбаков В.Ф., Бровко П.Ф. 1995. Южный Сахалин. Озеро Тунайча // История озер Севера Азии (Серия: История озер). СПб.: Наука. С. 112–120.
- Николаев И.И. 1971. Очерк структуры и формирования лимнологического цикла водоемов умеренной зоны // Озера Карельского перешейка. Л.: Наука. С. 5–33.
- Палий В.Ф. 1961. О количественных показателях при обработке фаунистических материалов // Зоол. журн. Т. 40. Вып. 1. С. 3–6.
- Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. 1983. Л.: Гидрометеиздат, 239 с.
- Саматов А.Д., Лабай В.С., Мотылькова И.В., Могильникова Т.А. и др. 2002. Краткая характеристика водной биоты оз. Тунайча (Южный Сахалин) в летний период. Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов Сахалино-Курильского региона и сопредельных акваторий // Тр. Сах. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 4. С. 258–269.
- Сахалинская область: географический очерк. 1994. Приложение к «Атласу Сахалинской области. Ресурсы и экономика». Южно-Сахалинск, 234 с.
- Соловов В.П. 1986. Принципы выделения биологических сезонов года в водоемах умеренной зоны // Тез. докл. V съезда гидробиол. об-ва (Тольятти, 15–19 сентября 1986 г.). Т. 2. С. 152–153.
- Столяров А.П., Буруковский И.В. 1998. Межгодовые изменения структуры макробентоса в эстуарии р. Черной (Белое море) // Зоол. журн. Т. 77. Вып. 7. С. 755–762.
- Хлебович В.В. 1974. Критическая соленость биологических процессов. Л.: Наука, 230 с.
- Хлебович В.В. 1989. Критическая соленость и хорогалитикум: современный анализ понятий. Биология соленоватых и гипергалитических вод // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. Т. 196. С. 5–10.
- Эллиотт Дж.М., С.М. Дрейк, П.А. Тулетт. 1981. Выбор пробоотборника для бентосных макробеспозвоночных в глубоких реках. Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям // Тр. II советско-английского семинара. Л.: Гидрометеиздат. С. 230–245.
- Labay, V.S. 2003. A new species of *Melita* Leach (Amphipoda: Melitidae) from oligosaline waters of Russian Far East. *Zootaxa*. 356. P. 1–8.
- Nakao, Shigeru. 1982. Community structures of the macro-benthos in the shallow waters in northern Japan / Shigeru Nakao // *Memoirs of the Faculty of Fisheries Hokkaido University*. XXVIII, 2. P. 225–304.
- Warwick, R.M. 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Mar. biol.* V. 92. P. 557–562.
- Warwick, R.M., R.M. Warwick, T.H. Pearson. 1987. Detection of pollution effects on marine macrobenthos: further evaluation of species abundance / biomass method *Ruswahyuni. Mar. biol.* V. 95. № 2. P. 193–200.