

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ЗООЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

На правах рукописи

ЗАВАРЗИН  
Денис Сергеевич

**ЗООПЛАНКТОН ОЗЕРА ТУНАЙЧА  
И ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ  
ОПРЕСНЕНИЯ**

03.00.18 – гидробиология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург  
2006

Работа выполнена в Зоологическом институте Российской академии наук и Сахалинском научно-исследовательском институте рыбного хозяйства и океанографии Федерального агентства по рыболовству.

Научный руководитель:  
доктор биологических наук Иванова Марина Борисовна.

Официальные оппоненты:  
доктор биологических наук Сиренко Борис Иванович;  
кандидат биологических наук Авинский Валентин Анатольевич.

Ведущее учреждение: кафедра ихтиологии и гидробиологии Санкт-Петербургского государственного университета.

Защита диссертации состоится 1 марта 2006 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 002.223.02 при Зоологическом институте РАН по адресу: 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 1. Факс (812) 328-29-41.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЗИН РАН.

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» января 2006 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор биологических наук



В. Г. Сиделева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Исследования внутренних водоемов Сахалинской области в настоящее время заметно отстают от изучения прилегающих морских вод. Внутренние водоемы чрезвычайно уязвимы и часто страдают от антропогенного воздействия. Строительство объектов промышленности, сельского хозяйства, использование ресурсов внутренних водоемов требуют детального изучения всех компонентов водных экосистем, в том числе и во временном аспекте.

Озеро Тунайча является одним из крупнейших внутренних водоемов Сахалинской области и отнесено к памятникам природы. Строительство в середине 1970-х гг. автодорожного моста и, как результат, обмеление протоки Красноармейская привело к серьезным изменениям гидрологии озера (Микишин и др., 1995). Встал вопрос об изучении произошедших в озере, и в том числе в его биоте, изменений.

В соответствии с утвержденной губернатором Сахалинской области комплексной программой изучения экологического состояния озера Тунайча сотрудники отдела прикладной экологии СахНИРО в 2001–2003 гг. провели ряд комплексных гидробиологических экспедиций, в которых были собраны обширные материалы по фито-, зоо-, ихтиопланктону, бентосу и ихтиофауне озера, а также условиям обитания гидробионтов. Исследования выполнены по тематическому плану научно-исследовательских работ СахНИРО и договору № ХД-25/01 между Сахалинским областным управлением гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды (СахУГМС) и СахНИРО при финансовой поддержке администрации Сахалинской области.

В печатных изданиях материалов по зоопланктону озера крайне мало – имеется одна статья в сборнике «Распределение и рациональное использование водных зооресурсов Сахалина и Курильских островов» (Усова, Филатова, Чернышева, 1980). В то же время имеющийся архивный материал СахНИРО позволяет провести анализ изменений зоопланктона озера, произошедших после строительства дамбы моста через протоку.

**Цель и задачи работы.** Целями данной работы являются описание микро- и мезозоопланктона озера Тунайча на современном этапе (по данным съемок 2001–2003 гг.) и анализ произошедших в зоопланктоне изменений в результате опреснения, вызванного постройкой дамбы, на основе имеющихся архивных данных.

Задачами работы определены:

- краткое описание условий обитания зоопланктона в озере;
- описание видового состава, количественных показателей и распределения зоопланктона на современном этапе;
- сравнительный анализ изменений по полученным и архивным данным.

**Научная новизна.** Впервые приводится видовой список зоопланктеров оз. Тунайча после опреснения. Часть видов впервые указываются не только для озера, но и для Сахалинской области. Обнаружено наличие у *Shmackeria inopina* половозрелых самок без типичных для вида шипов на фурках. Выде-

лены пять сообществ зоопланктеров озера. Для основного из них – пелагического – описаны сезонные фазы развития. Получены сезонные данные по динамике численности и биомассы зоопланктона озера. Проведен анализ изменений, произошедших в зоопланктоне озера в связи с опреснением ниже пределов критической солености.

**Защищаемые положения.** В связи с опреснением водоема произошло изменение видового состава и структурно-функциональных показателей зоопланктона озера, в то время как биомасса осталась практически прежней.

**Практическое значение.** Результаты исследований, в комплексе с прочими данными, полученными при проведении на водоеме гидробиологических и гидролого-гидрохимических изысканий, позволят дать рекомендации по проведению работ, направленных на стабилизацию происходящих в озере изменений, а также оценить кормовую базу промысловых и потенциально промысловых рыб озера.

**Апробация.** Материалы, легшие в основу работы, были доложены на чтениях, посвященных памяти В. Я. Леванидова (БПИ, г. Владивосток) в 2003 и 2005 гг., на пяти коллоквиумах отдела прикладной экологии СахНИРО, а также на отчетной сессии СахНИРО в 2002 г. и заседании ученого совета СахНИРО в 2005 г.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано шесть работ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов и списка литературы. Содержит 121 страницу, 62 рисунка, 15 таблиц. Список цитируемой литературы насчитывает 74 работы, из них шесть – на иностранных языках.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность всем участникам экспедиций, а также лично начальнику отдела прикладной экологии кандидату биологических наук А. Д. Саматову и заведующему лабораторией гидробиологии кандидату биологических наук В. С. Лабаю; сотрудникам отдела прикладной экологии М. Г. Роготневу, И. Б. Пискунову, Н. К. Заварзиной, П. В. Полупанову за ценные рекомендации, помощь при сборе и обработке материала; сотрудникам лаборатории гидробиологии Н. В. Коноваловой и И. В. Мотыльковой за предоставленные данные по фитопланктону; сотруднику лаборатории болезней рыб С. А. Виноградову за определение эргазиллид; сотруднику лаборатории экологии рыб ВНИРО С. В. Френкель и старшему научному сотруднику ЗИН РАН кандидату биологических наук Л. А. Степановой за помощь в определении ряда видов. Особую благодарность автор выражает своему руководителю доктору биологических наук М. Б. Ивановой (ЗИН РАН, г. Санкт-Петербург) за всестороннюю помощь и поддержку.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Глава 1. Физико-географическая характеристика района исследований

Озеро Тунайча – крупный и самый глубокий водоем Сахалина – расположено на юге острова, занимает северную, наиболее пониженную часть Муравьевской низменности. Узкая и мелководная протока Красноармейская длиной 3 км связывает его с морем (Бровко, Микишин и др., 2002; Атлас Сахалинской области, 1967).

Длина озера составляет около 30 км, максимальная ширина – 10 км, средняя глубина – 12,8 м, наибольшая – более 49 м, площадь водного зеркала – 174 км<sup>2</sup>, водосбора – 554 км<sup>2</sup>.

В северо-западной части озера между мысами Макарова и Меньшикова располагается остров Птичий. Линия м. Макарова – о. Птичий – м. Меньшикова служит воображаемой границей, разделяющей озеро на два плеса: западный называется Малая Тунайча, восточный – Большая Тунайча.

История озера Тунайча тесно связана с голоценовой трансгрессией Мирового океана, благодаря которой и произошло возникновение водоема в современном виде.

В последние десятилетия резко увеличилось антропогенное воздействие на озеро. В середине 1970-х гг. был построен мост через приустьевую часть протоки Красноармейская, при этом большая ее часть была просто засыпана грунтом, что вызвало резкое обмеление устьевой зоны и полное прекращение доступа морских вод в озеро (Микишин и др., 1995; Микишин, Гвоздева, 1996). В результате ускорился процесс опреснения, особенно заметный в верхнем 15-метровом слое. Так, в 1960–1970-е гг. соленость активного слоя находилась на уровне около 6–6,25‰, в 1989 г. – уже 5,6‰. К 1990 г. соленость понизилась до 4,0‰, и в настоящее время (2001–2004 гг.) находится на уровне 2,4–2,6‰. Таким образом, воды озера прошли  $\alpha$ -хорогалинную зону в 5–8‰ (Хлебович, 1989) и на данный момент являются олигогалинными.

Цвет воды в озере Тунайча изменяется от зеленовато-желтого до желто-зеленого во время цветения планктонных водорослей. Прозрачность воды по диску Секи колеблется от 1 см во время пика цветения водорослей в Малой Тунайче до 10 м зимой.

Вода представляет собой разбавленную морскую (Микишин и др., 1995). Для озера характерна устойчивая хемотратификация. По классификации Фореля, Тунайча относится к умеренным озерам – с нормальной стратификацией летом и обратной зимой. Верхний слой, до глубины 15 м, подвержен волновому перемешиванию (высота волны в озере может достигать более 3,5 м) и в результате весьма однороден как по температурным, так и по химическим параметрам. Придонный слой воды (глубже 15 м) практически не подвержен перемешиванию – по классификации Хатчинсона (1969), озеро относится к меромиктическим водоемам.

Таким образом, озеро Тунайча является меромиктическим водоемом, с опресненным верхним слоем – миксолимнионом и реликтовым соленым, насыщенным сероводородом нижним слоем – монимолимнионом. С начала 1970-х гг. наблюдалось распреснение миксолимниона, ныне приостановившееся.

## Глава 2. Материал и методика

Материалом для работы послужили пробы, собранные сотрудниками отдела прикладной экологии СахНИРО в ходе экспедиций 2001, 2002 и 2003 гг.

В 2001 г. нами были проведены рекогносцировочные исследования для изучения пространственного распределения и видового состава микро- и мезозoopланктона в озере (Саматов и др., 2002, 2002а; Заварзин, 2003).

Для съемки был выбран август, так как численность животных планктона в это время обычно достигает годового максимума. На 49 станциях (рис. 1) было отобрано две качественные и 78 количественных сетных проб, 78 интегральных батометрических проб.

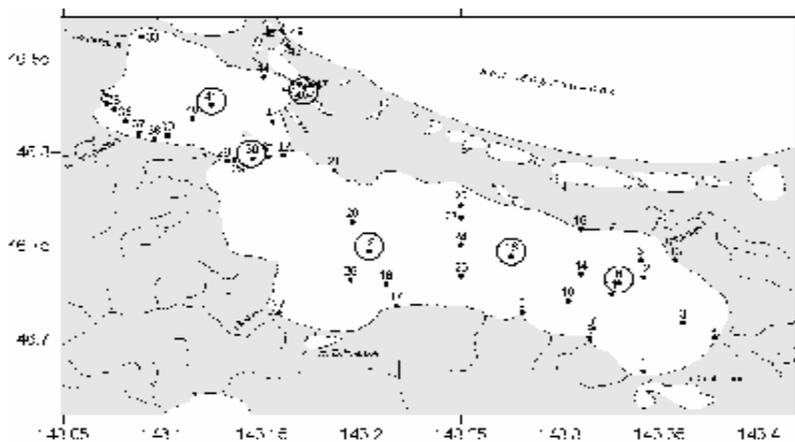


Рис. 1. Схема расположения гидролого-гидробиологических станций в 2001 г. и (в кругах) 2002, 2003 гг.

Для количественного учета зоопланктона на каждой станции проводили лов от дна до поверхности. На больших глубинах, где отслеживался слой скачка, – послойно (от дна до хемоклина и от хемоклина до поверхности) малой моделью сети Джеди с диаметром входного отверстия 18 см и газом № 73 (ячейка 0,081 мм). На мелководье количественные пробы брали путем зачерпывания 100–200 л воды и процеживания ее через ту же планктонную сеть. Для учета коловраток параллельно проводилась батометрическая съемка. Отбор проводился при помощи трехлитрового батометра Chalsico послойно от дна (или хемоклина) до поверхности, после чего пробы со всех горизонтов сливались в одну емкость, перемешивались, и из нее отбиралась интегральная проба объемом 1,5 л. На глубоководных станциях отдельно отбирались пробы под хемоклином. Кроме того, на каждой станции послойно (через 5 м) с помощью зонда YSI 63 измерялись pH, температура и соленость.

С марта 2002 г. по февраль 2003 г. для выяснения сезонной и межгодовой динамики были проведены сборы на шести станциях. Съемки производили

каждые две–три недели в теплый период года, и по одному разу в год из-под льда (Лабай, 2004; Заварзин, 2004, 2005). Так как съемка 2001 г. показала отсутствие планктона под хемоклином и в связи с гидрологической однородностью миксолимниона, вызванной почти постоянным волновым перемешиванием, послойный лов не проводили. На шести станциях было отобрано 156 сетных проб и столько же интегральных батометрических.

Всего за период исследований было отобрано 236 сетных и 234 интегральных батометрические пробы. Кроме того, для сравнения фаунистического состава были использованы пробы зоопланктона, взятые по аналогичной методике в заливах северо-запада острова в сентябре–августе 2001–2004 гг.

Сетные пробы фиксировали 40%-ным формалином до 4%-ного раствора. Для нейтрализации формалина использовали раствор  $\text{NaHCO}_3$ . Батометрические пробы фиксировали раствором Уотермея, добавляя его из расчета 2–3 мл раствора на 1 л пробы (Руководство по методам гидробиологического анализа..., 1983). Идентификацию организмов зоопланктона производили, по возможности, до видов и подвидов по определителям (Рылов, 1940, 1940а, 1948; Боруцкий, 1960; Мануйлова, 1964; Кутикова, 1970; Смирнов, 1971, 1976; Определитель..., 1977; Боруцкий, Степанова, Кос, 1991; Определитель..., Т. 1, 1994; Определитель..., Т. 2, 1995; Определитель..., Т. 6, 2004).

Обработку количественных проб проводили счетно-весовым методом (Свирская, 1987). В относительно «бедных» планктонных пробах тотально просчитывались все организмы. Однако в большинстве случаев в камере Богорова просматривали организмы в 1–10 см<sup>3</sup> объема пробы, доведенной до 50–200 см<sup>3</sup>, после чего в осадке пробы, вылитом в чашку Петри, просчитывали крупные организмы. Батометрические пробы полностью просматривались в камере Богорова. Вес организмов определяли по имеющимся в литературе таблицам средних весов и формулам линейной зависимости «длина–масса» (Уломский, 1952; Мордухай-Болтовской, 1954; Брагинский, 1957; Боруцкий, 1960; Балушкина, Винберг, 1979, 1979а), при отсутствии данных – по номограммам Численко (1968). Численность и биомасса рассчитывались на 1 м<sup>3</sup>. Учитывая опыт ряда исследователей (Дажо, 1975; Одум, 1986), поправочные коэффициенты при работе с планктонной сетью не вводились.

Для выявления сходства в видовом составе зоопланктона использовали критерий степени сходства Жаккара–Алехина (Чернышева, 1980), рассчитанный по формуле:

$$K = S * 100\% / (D_1 + D_2 - S),$$

где: K – степень сходства; S – число общих форм для обеих выборок; D<sub>1</sub> – число форм в первой выборке; D<sub>2</sub> – число форм во второй выборке.

Выделение сообществ и сезонных фаз основывали на индексе ценотического сходства:

$$C_{xy} = 100 - 0,5(p_x - p_y),$$

где p – доля (%) данного вида в общей биомассе соответственно на станциях x и y.

Данный индекс общности был впервые предложен Шорыгиным (1939) и в последующем под разными названиями использовался многими российскими и зарубежными авторами (Shoener, 1970). Этот показатель мало чувствителен к различиям по редким видам, что позволяет нивелировать влияние редких форм.

Определяющим при структуризации сообществ был выбран коэффициент относительности (КО). Для его вычисления использовали формулу, приведенную Палием (1961):

$$KO = B \cdot Ч,$$

где В – средняя относительная биомасса (%); Ч – частота встречаемости данной формы (%).

Данный индекс не зависит от колебаний абсолютной биомассы и, следовательно, меньше зависит от субъективности исследователя, чем широко используемый в отечественной гидробиологии индекс плотности (произведение частоты встречаемости на среднюю биомассу) (Броцкая, Зенкевич, 1939). Форма считалась доминирующей, если значение КО попадало в предел 10000–1000; характерной 1-го порядка – 1000–100; характерной 2-го порядка – 100–10; второстепенной 1-го порядка – 10–1; второстепенной 2-го порядка – менее 1.

Для оценки видового разнообразия использовали индекс видового разнообразия Симпсона (Одум, 1986):

$$R = 1 - S(n_i/N)^2,$$

где  $n_i$  – оценка значимости каждого вида (численность, биомасса и т. д.); N – сумма оценок значимости.

Расчет продукции доминирующих видов проводили физиологическим методом (Иванова, 1985; Алимов, 1989), по скорости траты кислорода на обмен для ракообразных (Сушня, 1972), учитывая способ питания планктонных животных (Монаков, 1976, 1998):

$$P = R_1 K_2 / (1 - K_2),$$

где Р – продукция, кал./м<sup>3</sup> в сут.; R<sub>1</sub> – траты на обмен при температуре t°С, кал./м<sup>3</sup> в сут.; K<sub>2</sub> – коэффициент использования ассимилированной энергии пищи на образование продукции, где его значение для коловраток равно 0,4–0,5, для ветвистоусых рачков – 0,3–0,4, а для веслоногих, в зависимости от продолжительности развития, – 0,1–0,3 (Методические рекомендации..., 1984).

Энергетический эквивалент массы был принят равным 0,5 кал./мг сырого веса.

### Глава 3. Видовая структура зоопланктона озера

Как показали наши исследования, микро- и мезозоопланктон озера представлен четырьмя группами организмов: Rotifera (12 форм), Cladocera (5), Sorepoda (15) и Mollusca (larvae) (2). Всего в пробах было отмечено 34 формы зоопланктеров, относящихся к 18 семействам (табл. 1).

Таблица 1

### Список видов и форм зоопланктеров, встреченных в пробах (с краткой зоогеографической характеристикой)

№	Вид, форма	Зоогеографическая характеристика*
Rotifera		
Сем. Trichocercidae		
1	<i>Trichocerca longiseta</i> (Schrank, 1802)	К
2	<i>T. capucina</i> (Wierzejski et Zacharis, 1893)	К
Сем. Synchaetidae		
3	<i>Synchaeta lakowitziana</i> Luck, 1912	Преимущественно ПА
4	<i>Polyarthra dolichoptera dolichoptera</i> Idelson, 1925	ПА
Сем. Lecanidae		
5	<i>Lecane brachydactyla</i> (Stenroos, 1898)	ГА
6	<i>L. luna</i> (Muller, 1776)	К
7	<i>L. flexilis</i> (Gosse, 1886)	К
Сем. Euchlanidae		
8	<i>Euchlanis luksiana</i> Hauer, 1930	Вероятно, ПА (+Новая Зеландия)
9	<i>E. dilatata b-larga</i> Kutikova, 1959	К
Сем. Brachyonidae		
10	<i>Keratella cruciformis eichwaldi</i> (Levander, 1894)	ЦБ
11	<i>Notholca acuminata extensa</i> Oloffson, 1918	К
Сем. Filinidae		
12	<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)	К
Cladocera		
Сем. Chydoridae		
13	<i>Alonella nana</i> (Baird, 1850)	ГА
14	<i>Chydorus sphaericus</i> s. lato	К
15	<i>Alona rectangula</i> Sars, 1862	К
16	<i>Disparalona rostrata rostrata</i> Koch, 1841	ГА
Сем. Bosminidae		
17	<i>Bosmina longirostris</i> s. lato O. F. Muller, 1785	К
Copepoda		
Сем. Centropagidae		
18	<i>Sinocalanus tenellus</i> (Kikuchi, 1928)	ТПСНБ
Сем. Pseudodiaptomidae		
19	<i>Schmackeria inopina</i> (Burckhardt, 1913)	ТПСНБ
Сем. Temoridae		
20	<i>Eurytemora affinis</i> (Poppe, 1880)	АБ
Сем. Cyclopidae		
21	<i>Acanthocyclops venustus</i> Norman et Scott, 1906	ПА
22	<i>Diacyclops nanus</i> Sars, 1863	ПА
23	<i>D. languidoides</i> Lilljeborg, 1901	ПА
24	<i>D. crassicaudis</i> Sars, 1863	ПА
25	<i>D. bicuspidatus</i> Claus, 1857	К
26	<i>Mesocyclops leuckarti</i> Claus, 1857	К
27	<i>Halicyclops</i> sp.	?

Окончание таблицы 1 – на следующей странице.

Окончание таблицы 1

№	Вид, форма	Зоогеографическая характеристика*
Сем. Diosaccidae		
28	<i>Shizopera paradoxa</i> Daday, 1904	ПА
Сем. Ameiridae		
29	<i>Nitocra</i> sp.	?
Сем. D'Arcithompsoniidae		
30	<i>Horsielia trisetosa</i> Kunz, 1935	АБ
Сем. Ergasilidae		
31	<i>Ergasilus wilsoni</i> Markewitsch, 1933	ТПШБ
32	<i>E. hypomesi</i> Yamaguti, 1936	ТПСНБ
Mollusca (larvae)		
Сем. Assimineidae		
33	<i>Assiminea lutea</i> A. Adams, 1861	ТПСНБ
Сем. Corbiculidae		
34	<i>Corbicula japonica</i> Prime, 1864	ТПСНБ (интродуцент К)

\*К – космополит; ПА – преимущественно палеарктический; ГА – преимущественно голарктический; ЦБ – циркумбореальный; АБ – амфибореальный; ТПСНБ – тихоокеанский приазиатский субтропическо-низкобореальный; ТПШБ – тихоокеанский приазиатский широкобореальный.

Наибольшим разнообразием отличаются копеподы, представленные восьмью семействами из четырех подотрядов. По биомассе и численности из копепод в пелагиали озера преобладают *Sinocalanus tenellus* и *Eurytemora affinis*, прочие виды встречаются единично.

В озере встречаются половозрелые самки двух форм *S. inopina*. Первые – типичные для вида экземпляры с шиповидными щетинками на фуркальных ветвях (рис. 2 П), вторые отличаются строением ветвей, характерным для самцов или пятой копеподитной стадии (рис. 2 Г). Строение P5 как самцов, так и самок полностью соответствует описанию в определителе (Борущий и др., 1991). Самки с типичной для вида фуркой встречаются в пробах с июня по октябрь, с атипичной – с сентября по ноябрь. Подробное препарирование обеих форм позволило установить полную идентичность их морфологии, за исключением строения фуркальных ветвей, что, в комплексе с выявленной сезонностью изменений, позволяет говорить о наличии у данного вида цикломорфоза.

Следующей по количеству видов в озере стоит группа коловраток, сформированная 12-ю видами из шести семейств. По численности и биомассе в прибрежных биотопах наиболее заметна роль представителей рода *Euchlanis*, имеющего в водах озера двух представителей – *E. lucksiana* и *E. dilatata b-larga*. Несмотря на то, что первенство по количеству видов принадлежит прибрежным формам коловраток, наибольшую численность и биомассу образуют эупланктические пелагические формы. Весной, до начала июня, в озере наиболее многочисленна *Synchaeta lakovitziana*, летом и осенью – *Keratella cruciformis*, представленная в озере формой, наиболее близкой к *K. cruciformis eichwaldi*.

Кладоцеры в озере немногочисленны и представлены всего двумя семействами – *Bosminidae* и *Chydoridae*. Наиболее значимым среди кладоцер озера является *Chydorus sphaericus* s. lato, вклад которого в формирование общей численности зоопланктона озера наиболее заметен в прибрежных зарослях макрофитов. Представители прочих видов встречаются в планктоне водоема лишь единично.

Группа моллюсков в планктоне озера представлена велигерами двустворки *Corbicula japonica* и гастроподы *Assiminea lutea*. Корбикула имеет промысловое значение, но на данный момент, несмотря на значительный запас (Лабай и др., 2003), не добывается, что связано в первую очередь с природоохранным статусом озера (памятник природы областного значения).

При описании зоогеографического характера компонентов зоопланктона для форм континентального происхождения остановились на делении, предложенном Л. С. Бергом (1962) и А. Я. Таранцом (1938) для рыб и основном на их значительной вагильности. Это связано с тем, что организмы зоопланктона, как и рыбы, обладают большой способностью к расселению.

К солоноватоводным видам, имеющим исходно морское происхождение, применяли зоогеографическое деление, предложенное для морских акваторий (Кафанов, Кудряшов, 2000), так как заселение данными видами континентальных водоемов шло со стороны моря.

Согласно выбранным схемам, пресноводный компонент зоопланктона озера представлен широко распространенными в Голарктике видами. Солоноватоводный же компонент, кроме широко распространенных видов (*E. affinis*, *K. cruciformis*), состоит из гораздо более специфичных форм – эндемиков солоноватых вод бассейнов дальневосточных морей (*S. tenellus*, *S. inopina*, *E. wilsoni*, *E. hypomesi*, *C. japonica*, *A. lutea*).

Открытую пелагиаль населяют типично эупланктические организмы. Сильно развит меропланктон, представленный личинками моллюсков *A. lutea* и *C. japonica*, а также свободноплавающими стадиями паразитических копепод рода *Ergasilus*. В литорали озера заметное развитие получают планктобентические формы. Псевдопланктон (*Gastrotricha*, *Nematoda*, *Oligochaeta*, *Tardigrada* и прочие случайно вынесенные в пелагиаль формы) не рассматривали.

Для сопоставления видового состава микро- и мезозоопланктона озера Тунайча с таковым других солоноватых водоемов были выбраны лагуны северо-востока острова – заливы Пильтун, Чайво, Набилский, Ныйский и Луньский, несколько лагунных озер юга острова – Выселковое, Айнское и Лебяжье, а также одно озеро с севера Хоккайдо – Абашири. Выбор водоемов в первую очередь обусловлен схожими гидрологическими условиями.

Общим для всех сравниваемых водоемов видом является *S. tenellus*. *S. inopina* не обнаружен только в оз. Айнское, *E. affinis* – в оз. Лебяжье. Данная группа видов, видимо, обычна для олигогалинной зоны большинства водоемов морских побережий о. Сахалин и о. Хоккайдо.

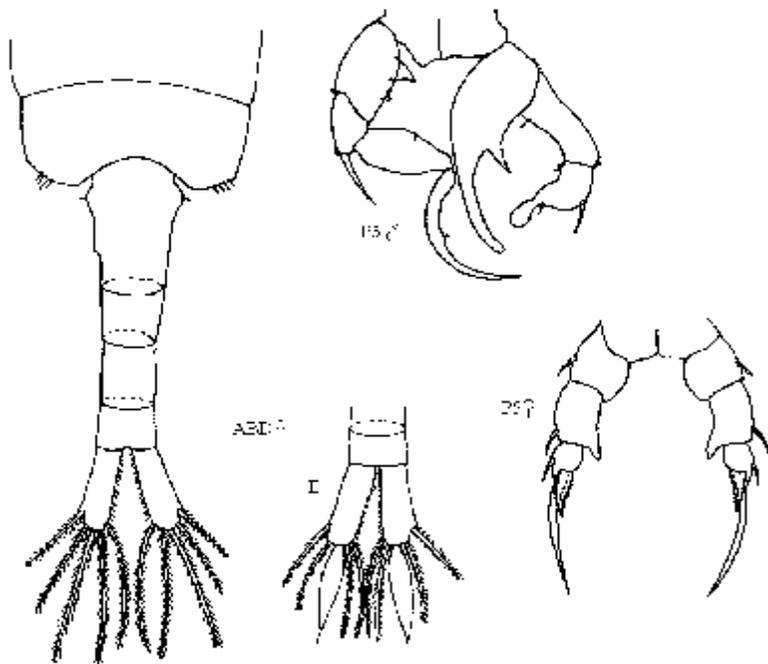


Рис. 2. *Schmackeria inopina* из оз. Тунайча

#### Глава 4. Пространственная структура зоопланктона озера

Кластерным анализом были выделены одно основное пелагическое и четыре береговых сообщества.

Сообщество «*Sinocalanus*» занимало в августе всю пелагиаль водоема. Именно это сообщество образовывало основную биомассу зоопланктона озера, которая в среднем составляла  $234,12 \pm 8,36$  мг/м<sup>3</sup>, достигая максимальных значений 1740 мг/м<sup>3</sup>. В состав сообщества входит 14 видов. Отмечено высокое сходство картин распределения по озеру общей биомассы зоопланктона и численности синокалянуса, что позволяет считать последнего эдификатором сообщества зоопланктона озера.

Из прибрежных необходимо отметить сообщество «*Ergasilus*», которое отличалось повышенной численностью (до 5000 экз./м<sup>3</sup>) свободноплавающих копепоидов жаберных паразитов рыб рода *Ergasilus*, что позволяет говорить о высокой зараженности ими рыб в оз. Тунайча.

Прибрежные сообщества, приуроченные к береговым зарослям макрофитов, занимают ограниченное пространство и не играют существенной роли. Основным сообществом озера является пелагическое.

В целом в озере доминировали копепоиды. Коловратки и ветвистоусые преобладали только в двух береговых сообществах.

#### Глава 5. Сезонная динамика зоопланктона озера

Сезонную динамику зоопланктона озера рассматривали только для пелагического сообщества озера как самого крупного и основного, формирующего большую часть биомассы.

Было выделено три фазы существования пелагического сообщества микро- и мезозоопланктона озера, разделенных периодами пониженной численности организмов, совпадающими со временем смены доминирующих форм в сообществе.

##### Фаза «*Synchaeta*»

Длилась, видимо, большую часть зимы и до достижения водами миксолимниона температуры 12°C в конце мая – начале июля. Представлена шестью видами из двух групп – коловраток и копепоид. Доминировала коловратка *S. lakowitziana*. В целом, как по численности (95,4%), так и по биомассе (94,4%), в этот период в сообществе преобладали коловратки. Средняя по станциям численность организмов подо льдом составила 1100 экз./м<sup>3</sup>, биомасса – 0,9 мг/м<sup>3</sup>. После таяния льда плотность организмов начинала повышаться, достигая максимума к середине мая (до 127600 экз./м<sup>3</sup> и 100 мг/м<sup>3</sup> в 2003 г.). К концу мая – началу июня, по достижении верхними слоями воды температуры 12°C, из планктона исчезали *Synchaeta*, численность организмов резко снижалась, фаза завершалась.

##### Фаза «*Keratella* – *Sinocalanus*»

Начинала оформляться сразу после завершения предыдущей. Также была представлена шестью видами, но относящимися уже к трем группам (добавляются моллюски). Доминировали в сообществе по-прежнему коловратки (70,8% общей биомассы и 95,1% численности). Существовала всего около месяца – до первых чисел июля, но отличалась крайне высокой численностью организмов (до 369000 экз./м<sup>3</sup>), формировавшейся коловраткой *K. cruciformis*. Биомасса сообщества в середине июня достигала 251 мг/м<sup>3</sup>. С начала июня постепенно трансформировалась в следующее сообщество.

##### Фаза «*Sinocalanus* – *Eurytemora*»

Развивалась с начала июля и до ледостава, существуя, вероятно, еще какое-то время подо льдом.

В данный период сообщество состояло из 16 видов (помимо прочего включая в себя все виды предыдущих сообществ), относящихся к четырем группам – к имевшимся в предыдущую фазу группам добавились кладоцеры. Основу формировали копепоиды (72,1% численности и 94,3% биомассы). Максимум (до 260 мг/м<sup>3</sup>) биомасса сообщества достигала в июле–августе. Эдификатором сообщества, численность которого составляла 60,0% общей, а биомасса – 59,8% в этот период являлся *S. tenellus*.

Ход биомассы заметно привязан к ходу температуры. В 2002 г. максимум биомассы и температуры совпали. В 2003 г. с июня численность и биомасса зоопланктона росли вместе с повышением температуры, достигая максимума в июле, после чего температура продолжала расти, а количественные показатели зоопланктона резко падали. Особенно снижение было заметно в оз. Малая Тунайча. Оно связано с наблюдавшимся бурным цветением в августе 2003 г. токсичной сине-зеленой водоросли *Anabaena spiroides*.

Таким образом, в озере на момент проведения исследований существовали три стабильных сезонных фазы развития сообщества, переход между которыми сопровождался резким понижением плотности организмов в озере. Коловратки имели наибольшее значение в первых двух фазах, веслоногие раки и личинки моллюсков – в третьей. Роль моллюсков особенно повышалась в теплые годы. Кладоцеры (*Chydorus*) не вносили заметного вклада в количественные показатели планктоценоза озера, встречаясь единично. Сезонную динамику плотности зоопланктона усложнили вспышки развития планктонных сине-зеленых водорослей. Основу численности зоопланктона водоема составляли коловратки, а основу биомассы – копеподы, среди которых эдификатором является *S. tenellus*.

#### Глава 6. Трофическая характеристика и продукция

По типу принятия пищи (Монаков, 1998) в планктоне озера можно выделить: а) фильтраторов – все Calanoida и Cladocera, велигеры моллюсков; б) собирателей – Nauplicoida и, вероятно, сфагнофильные Cyclopoida (*Diasyclops nanus*, *D. languidoides*, *D. crassicaudis*); в) хватателей – пелагические и литоральные Cyclopoida (*Mesocyclops leuckarti*, *D. bicuspidatus*, *Halicyclops* sp.), к этой же группе относятся коловратки, способные активно захватывать и удерживать пищу (*S. lakowitziana*); г) вертикаторов – большая часть коловраток.

По пищевому предпочтению в озере резко преобладают нехищные формы (фито-, триптоно- и детритофаги), к факультативным зоофагам, по аналогии с близкими видами рода, можно отнести *E. affinis*. Часть литоральных коловраток и циклопов (*D. languidoides* и *D. nanus*) относятся к полифагам. Обязательных хищников можно найти только на литорали, среди зарослей водной растительности – это половозрелые особи *D. bicuspidatus* и *M. leuckarti*. Необходимо отметить отсутствие на современном этапе развития озера облигатных хищников в планктоне открытой пелагиали.

В планктоне озера также встречаются паразитические копеподы (преобладает *E. wilsoni*). Однако в планктоне их, вероятно, правильнее рассматривать как фильтраторов.

Расчет точных значений величины продукции сообществ зоопланктона озера на сегодняшнем этапе изучения водоема провести невозможно. Это связано с отсутствием четких представлений о сезонных циклах большинства организмов зоопланктона озера и точных данных по трофической структуре сообществ и их пищевым цепям. В результате ориентировочные данные о продукции зоопланктона пелагиали озера можно получить, только рассчитав физиологическим методом продукцию доминирующих форм (табл. 2).

Таблица 2

#### Энергетические показатели пелагического сообщества зоопланктона по биологическим сезонам, кал./м<sup>3</sup>

Объект	R <sub>i</sub> (сумм.)	A (сумм.)	C (сумм.)	P (сумм.)	B (средн. сут.)	P/B (средн. сут.)
Весна 02 (44 сут.)						
<i>Keratella cruciformis</i>	0,63	1,05	1,74	0,42	0,05	0,18
<i>Synchaeta lakowitziana</i>	76,59	127,65	212,75	51,06	9,59	0,12
<i>Sinocalanus tenellus</i>	5,51	7,86	13,11	2,36	0,42	0,13
<i>Eurytemora affinis</i>	7,11	8,89	14,70	1,78	0,38	0,11
<b>Cinoz</b>	<b>179,67</b>	<b>145,45</b>	<b>242,29</b>	<b>55,23</b>	<b>10,44</b>	<b>0,12</b>
Лето 02 (139 сут.)						
<i>Keratella cruciformis</i>	726,71	1211,19	2018,65	484,47	13,85	0,25
<i>Synchaeta lakowitziana</i>	18,31	30,51	50,85	12,20	0,51	0,17
<i>Sinocalanus tenellus</i>	1871,17	2673,10	4455,16	801,93	34,78	0,17
<i>Eurytemora affinis</i>	782,16	977,70	1498,90	195,54	10,71	0,13
<b>Cinoz</b>	<b>6796,69</b>	<b>4892,49</b>	<b>8023,56</b>	<b>1102,38</b>	<b>59,85</b>	<b>0,13</b>
Осень 02 (45 сут.)						
<i>Keratella cruciformis</i>	2,97	4,96	8,26	1,98	0,13	0,34
<i>Synchaeta lakowitziana</i>	0,15	0,26	0,43	0,10	0,03	0,08
<i>Sinocalanus tenellus</i>	448,89	641,27	1068,79	192,38	38,37	0,11
<i>Eurytemora affinis</i>	368,89	461,12	685,89	92,22	22,05	0,09
<b>Cinoz</b>	<b>1641,83</b>	<b>1107,60</b>	<b>1763,37</b>	<b>38,78</b>	<b>60,57</b>	<b>0,01</b>
Весна 03 (61 сут.)						
<i>Keratella cruciformis</i>	39,09	65,15	108,59	26,06	1,78	0,24
<i>Synchaeta lakowitziana</i>	271,15	451,91	753,19	180,77	21,73	0,14
<i>Sinocalanus tenellus</i>	8,18	11,68	19,47	3,51	0,34	0,17
<i>Eurytemora affinis</i>	30,41	38,01	59,19	7,60	1,12	0,11
<b>Cinoz</b>	<b>697,65</b>	<b>566,76</b>	<b>940,45</b>	<b>205,48</b>	<b>24,97</b>	<b>0,13</b>
Лето 03 (108 сут.)						
<i>Keratella cruciformis</i>	1018,51	1697,51	2829,19	679,01	18,30	0,34
<i>Synchaeta lakowitziana</i>	0,07	0,12	0,19	0,05	0,00	0,22
<i>Sinocalanus tenellus</i>	2334,56	3335,09	5558,48	1000,53	46,38	0,20
<i>Eurytemora affinis</i>	2456,24	3070,30	4585,13	614,06	39,44	0,14
<b>Cinoz</b>	<b>11618,76</b>	<b>8103,02</b>	<b>12972,99</b>	<b>697,52</b>	<b>104,12</b>	<b>0,06</b>
Осень 03 (45 сут.)						
<i>Keratella cruciformis</i>	0,15	0,25	0,42	0,10	0,01	0,19
<i>Synchaeta lakowitziana</i>	0,03	0,06	0,09	0,02	0,01	0,08
<i>Sinocalanus tenellus</i>	655,23	936,04	1560,06	280,81	49,11	0,13
<i>Eurytemora affinis</i>	572,05	715,07	1079,55	143,01	31,74	0,10
<b>Cinoz</b>	<b>2454,93</b>	<b>1651,41</b>	<b>2640,13</b>	<b>87,26</b>	<b>80,87</b>	<b>0,02</b>

Как и для сезонной динамики плотности, для сезонной динамики продукции доминантов характерны те же тенденции – в первую фазу по величине продукции доминирует *S. lakowitziana*, во вторую – *K. cruciformis*, а в третью лидерство переходит к копеподам, с ведущей ролью *S. tenellus*.

Рассматривая распределение продукции зоопланктона озера по биологическим сезонам, необходимо отметить, что в разные годы их начало и длительность отличаются, что связано с погодными условиями, в первую очередь с температурой миксолимниона.

Биологическая весна полностью совпадает с первой фазой развития сообщества. Продукция сообщества составляет 55,23 кал./м<sup>3</sup> в 2002 г. и 205,48 кал./м<sup>3</sup> в 2003 г. Доминирует по величине продукции *S. lakowitziana*.

Период биологического лета включает в себя вторую и часть третьей фазы развития сообщества. Максимальные значения суточной продукции отмечены для *K. cruciformis*, однако непродолжительный период вспышки их численности не позволяет отнести им лидирующую роль в формировании летней продукции зоопланктона пелагиали. Максимальную среди прочих видов продукцию формирует летом *S. tenellus* – 801,93 кал./м<sup>3</sup> в 2002 г. и 1000,53 кал./м<sup>3</sup> в 2003 г.

Осенняя продукция достигает величины 38–87 кал./м<sup>3</sup> и формируется организмами третьей фазы.

Для сопоставления величин продукции зоо- и фитопланктона использовали данные о продукции фитопланктона, рассчитанные хлорофильным методом. Соотношение данных величин меняется по сезонам от 3,2 до 12,6%, в среднем составляя 9,2%, что обычно для внутренних водоемов умеренных широт.

В целом, можно отметить – величина продукции в озере невелика, что подтверждает определение трофического статуса озера как олиготрофного.

#### Глава 7. Изменения зоопланктона под влиянием опреснения

Исследования гидробионтов озера Тунайча до распреснения его вод до олигогалинных проводились неоднократно, в том числе и экспедициями СахНИРО (тогда еще СахТИНРО). В 1959 г. СахУГМС проводило гидрографические исследования на озере, попутно были собраны планктонные пробы. В течение 1977, 1978, 1980 гг. сотрудниками СахТИНРО и СахУГМС спорадически производились сборы зоопланктона в озере в весенне-летний период, всего было отобрано 47 проб, которые, тем не менее, дают некоторое представление о зоопланктоне озера в те годы. Позднее сбор планктона проводился во время совместных исследований ДВГУ и СахТИНРО в 1989–1991 гг. Результаты перечисленных исследований можно найти в работах Э. Р. Чернышевой (Чернышева, 1978, 1980), ее совместных работах с другими авторами (Усова и др., 1980) и в отчетах Л. В. Демина и В. А. Клюканова (Демин, 1990; Демин, Клюканов, 1991).

Перед сравнением наших данных с данными, собранными в озере в орогалинный период, необходимо отметить некоторые особенности, связанные с методикой отбора и обработки проб тех лет.

Пробы зоопланктона отбирались разными сетями – в 1977–1980 гг. использовали малую озерную сеть Джели с газом № 68, в 1989–1990 гг. – большую сеть Джели с неуказанным газом. Батометр для отбора коловраток не использовался. Пробы 1970-х гг. отбирались в основном в прибрежье и устьях рек. При расчете биомассы зоопланктона в 1989–1990 гг. учитывались, помимо зоопланктонов, все организмы, попавшие в пробу, включая бентические и нектобентические довольно крупные гаммариды и мизиды, что резко повышает рассчитанную биомассу, особенно для прибрежных станций. В материалах по сезонному ходу численности и биомассы за 1989 г. отсутствуют данные за большую часть августа и сентября. Анализ сезонной изменчивости планктона в 1989 г. проводился на основе наблюдений всего на одной постоянной станции.

Перечисленные особенности характеризуют имеющиеся данные как неполные и затрудняют их сравнение с нашими. Наиболее адекватным будет сравнение численности копепод, которые, как уже отмечалось в предыдущих главах, являются доминирующей группой в зоопланктоне озера.

К наиболее важным изменениям, произошедшим после распреснения вод миксолимниона ниже пределов критической солёности, относится выпадение из планктоценоза всех морских литоральных видов – клadoцер *Podon leuckarti* и *Evadne nordmani*, гарпактицид рода *Tachidius* и каляниды *Eurytemora thompsoni*. С исчезновением из озера указанных выше хищных ветвистоусых планктон пелагиали озера остался без облигатных хищников. Кроме того, с исчезновением морских клadoцер в водоеме резко уменьшилась доля мезопланктона, из имеющихся сейчас в озере планктонов размеры более 1 мм (до 1,3 мм) имеют только половозрелые особи копепод. Преобладает микропланктон.

Также к изменениям, произошедшим в результате понижения солёности вод миксолимниона, следует отнести выпадение из биоценозов озера морских двустворок – *Potamocorbula amurensis* и *Macoma baltica*, приведшее к заметному понижению доли личинок *Bivalvia* в планктоне озера.

Численность же и сезонная динамика доминирующих копепод после опреснения изменились мало. Особенно ярко выражено сходство для кривых численности обоих видов за 1989 и 2003 гг. Для примера рассмотрим кривые численности копеподитов *S. tenellus* (рис. 3). Разброс вершин пиков находится в пределах межгодовых изменений для 2002 и 2003 гг. Большое сходство с кривыми 2003 г. объясняется схожими погодными условиями в эти годы, а более высокая численность копепод во время летних пиков 1989 г. связана с более высокими летними температурами миксолимниона.

В итоге необходимо отметить, что видовой состав претерпел в результате сукцессии заметные изменения, связанные в первую очередь с выпадением из сообществ всех морских видов, не способных выдерживать солёность ниже критической. Вместе с тем состав доминирующих видов не изменился – эдификатором, как и до опреснения, является *S. tenellus*. Его численность, а также численность *E. affinis* до и после опреснения практически совпадают, отличия вполне укладываются в рамки межгодовых колебаний численности, связанных в основном с отличием температуры миксолимниона разных лет. Сравнение показателей обилия позволяет утверждать, что биомасса зоопланктона озера после опреснения осталась на том же или близком уровне.

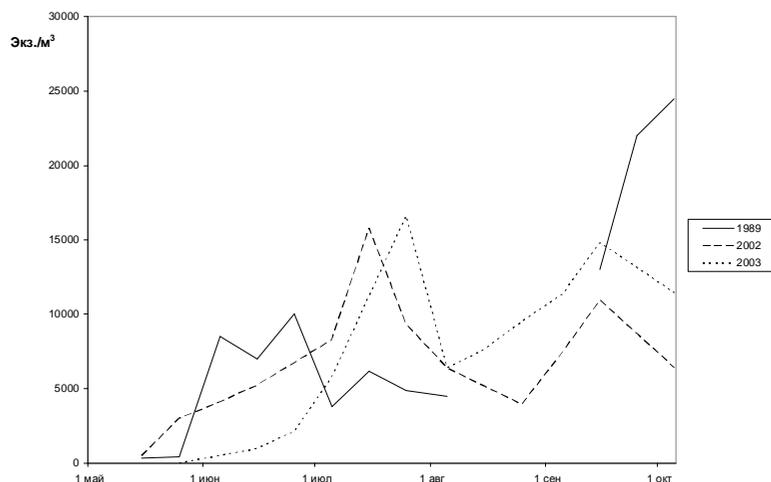


Рис. 3. Сезонная динамика численности копепоидов *S. tenellus* в 1989, 2002 и 2003 гг.

### ВЫВОДЫ

Микро- и мезозoopланктон озера представлен 34 формами организмов из четырех групп: Rotifera (12 форм), Cladocera (5), Copepoda (15) и Mollusca (larvae) (2). Преобладает микропланктон. Зоопланктон озера представлен широко распространенными видами, эндемики не обнаружены.

На современном этапе зоопланктон состоит из солоноватоводных элементов, попавших в озеро из окружающих морей в номскую фазу плейстоцена, и пресноводных форм, проникающих в озеро в настоящий момент из системы пресных придаточных водоемов.

К доминирующим формам пелагиали озера относятся четыре вида – *S. lakowitziana*, *K. cruciformis*, *S. tenellus* и *E. affinis*. Данная группа видов является обычной для солоноватых лагун о. Сахалина и о. Хоккайдо.

В озере выделяются четыре береговых и одно пелагическое сообщества, последнее из которых в связи с постоянным ветровым и волновым перемешиванием занимает большую часть акватории озера. Именно на это сообщество приходится основная часть биомассы зоопланктона водоема.

В сезонном ходе зоопланктона озера выделяется три фазы развития сообщества, каждая из которых отличается своим доминирующим видом или группой видов. Смена фаз сопровождается снижением численности и биомассы зоопланктонных организмов. Основу численности зоопланктона озера составляют коловратки, а основу биомассы – копепоиды.

Суточная продукция и биомасса достигают максимальных значений летом. Невысокие показатели биомассы и продукции зоопланктона подтверждают определение статуса озера как олиготрофного.

К наиболее заметным изменениям в зоопланктоне озера, произошедшим в связи с опреснением вод озера до олигогалинных, относится выпадение из сообществ водоема всех морских видов, в первую очередь это относится к полифемидам, обитавшим здесь ранее. С их исчезновением из водоема уменьшилась доля мезопланктона, пелагиаль озера осталась без облигатных хищников, что повлекло изменение трофической структуры зоопланктона озера, а вместе с ней и продукции сообщества в целом. Численность и, соответственно, биомасса доминирующих видов, в первую очередь копепоид, по-видимому, не претерпели заметных изменений в связи с опреснением.

### СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Заварзин Д. С., Сафронов С. Н. Зоопланктон озера Сладкое (северо-западный Сахалин) // Чтения памяти В. Я. Леванидова. – Владивосток : Дальнаука, 2001. Вып. 1. С. 187–194.
2. Саматов А. Д., Лабай В. С., Мотылькова И. В., Могильникова Т. А., Заварзин Д. С., Ни Н. К. Краткая характеристика водной биоты оз. Тунайча (южный Сахалин) в летний период // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Тр. СахНИРО. – Ю-Сах. : СахНИРО, 2002. Т. 4. С. 258–269.
3. Заварзин Д. С. Сезонная динамика зоопланктона озера Тунайча (южный Сахалин) // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Тр. СахНИРО. – Ю-Сах. : СахНИРО, 2003. Т. 5. С. 106–112.
4. Лабай В. С., Заварзин Д. С., Мотылькова И. В., Коновалова Н. В. Корбикла *Corbicula japonica* (Bivalvia) озера Тунайча: условия обитания, некоторые аспекты морфологии и биологии вида // Чтения памяти В. Я. Леванидова. – Владивосток : Дальнаука, 2003. Вып. 2. С. 143–152.
5. Заварзин Д. С. Состав и пространственное распределение зоопланктонных сообществ озера Тунайча (южный Сахалин) по данным летней съемки 2001 г. // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Тр. СахНИРО. – Ю-Сах. : СахНИРО, 2004. Т. 6. С. 331–338.
6. Заварзин Д. С. Некоторые вопросы сезонной динамики зоопланктона озера Тунайча (южный Сахалин) на современном этапе // Чтения памяти В. Я. Леванидова. – Владивосток : Дальнаука, 2005. Вып. 3. С. 95–105.

Подписано в печать 13.01.2006. Объем 1,25 п. л. Тираж 100. Заказ № 1

---

СахНИРО, 693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196