

# ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА АМУРСКОГО ЗАЛИВА (ПО ИТОГАМ 20-ЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА)

*Зуенко Ю.И., Надточий В.В. (ТИНРО-Центр)*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Мониторинг зоопланктона в Амурском заливе проводился в период с 1994 по 2014 г. и заключался в ежемесячном, либо более частом сборе проб планктона тотальными ловами сетью Джели по всей акватории залива с их последующей полной разборкой в лабораторных условиях с определением численности и биомассы всех видов. Сбор проб сопровождался широким комплексом океанологических наблюдений. Полученные результаты позволили определить видовой состав планктонного сообщества и особенности его пространственной структуры, закономерности сезонной, межгодовой и климатической изменчивости состава и обилия зоопланктона, характер влияния на зоопланктон изменений условий среды обитания и основные аспекты функционирования сообщества.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В ходе 20-летнего мониторинга собраны данные о численности и биомассе зоопланктона, по видам, и о параметрах среды его обитания: температуре воды, солёности, плотности, содержании кислорода, концентрации биогенных элементов (фосфора, кремния и азота в 3 формах), а также рН и прозрачности воды. Для анализа изменений этих показателей привлечены также данные эпизодических наблюдений на этой же акватории в более ранние годы, данные о ветре на ГМС Владивосток и климатические индексы (Северо-тихоокеанский индекс – NPI: <http://www.cdg.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.data.html#npmon/> и Охотский индекс: <http://www.tinro-center.ru/home/informacionnyye-resursy/okhotsk-index>).

Обработка проб планктона, гидрохимических проб и показаний океанологических зондов проводилась по стандартным методикам, с учётом уловистости сети Джели. При анализе данных наблюдений использованы в основном статистические методы, широко применяемые в морской биологии, прежде всего кластерный и корреляционный анализ, а также экосистемная модель NEMURO в приложении для прибрежной зоны моря (Zuenko, 2007) и авторские балансовые модели для отдельных видов (Зуенко, Надточий, 2004; Надточий, Зуенко, 2016).

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

На собранном материале получено очень много результатов, большинство из которых опубликованы в тематических научных статьях (Надточий, Зуенко, 2000; 2001; Зуенко и др., 2004; Зуенко, Надточий, 2004; Надточий, Зуенко, 2009; 2016; Рачков, Надточий, 2013 и другие), но эти результаты не были обобщены с целью получения общего представления о состоянии и функционировании сообщества зоопланктона и экосистемы в целом. Поэтому в данном сообщении повторены основные, принципиальные научные выводы, полученные в разное время, и обсуждаются наиболее общие черты исследуемого сообщества.

## Состав сообщества зоопланктона Амурского залива и его пространственная структура

Особенностью Амурского залива является распространение на значительную его часть внешнего эстуария р. Раздольной. Поэтому в летний сезон, когда эстуарий хорошо развит, в заливе присутствует две принципиально разных по видовому составу эстуарная и морская группировки зоопланктона и область их смешения, расположение которых примерно совпадает с положением соответствующих водных масс поверхностного слоя моря (рис. 1). Хотя на всей акватории залива в зоопланктоне преобладают мелкие копеподы, в зависимости от степени влияния материкового стока среди них доминируют, соответственно, либо *Acartia aff. clausi* и *Oithona brevicornis*, либо *Oithona similis*, *Pseudocalanus newmani* и *Paracalanus parvus*, причём численность эстуарного вида *A. aff. clausi* обнаруживает тесную обратную связь с солёностью, а морские виды *O. similis*, *P. newmani* и *P. parvus* на большей части эстуария (зоны 1 и 2 на рис. 1) вообще не встречаются.

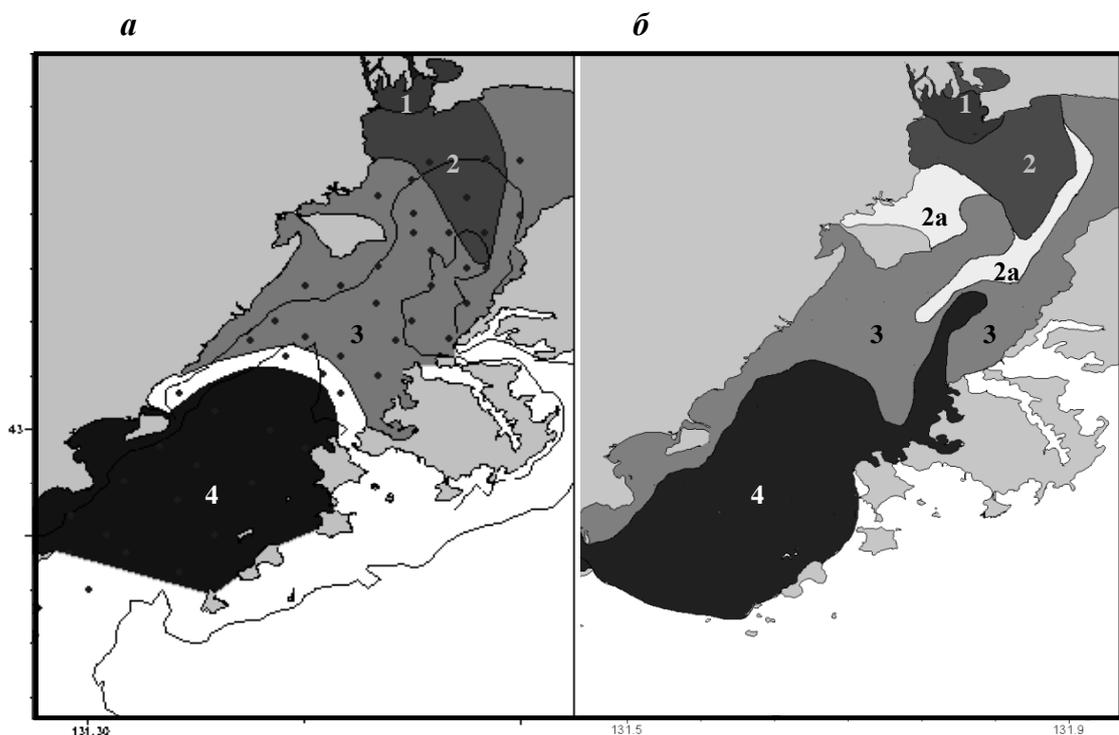


Рис. 1. Схема расположения зон различных типов структуры вод (а) и различных по видовому составу группировок зоопланктона (б) в июне 2007 г. Структурные зоны: 1 – внутренний эстуарий, 2 – внешний эстуарий, 3 – приэстуарная зона, 4 – морская прибрежная зона. Группировки зоопланктона: 1 – внутреннего эстуария с преобладанием меропланктона, 2, 2а – внешнего эстуария с доминированием *A. aff. clausi*, 3 – смешанной приэстуарной зоны с доминированием *O. similis*, 4 – морской прибрежной зоны с доминированием *P. newmani*

### Сезоны в планктоне

В течение года видовой состав зоопланктона в обеих зонах радикально меняется, что обусловлено как изменениями первичной продукции и приспособлением к ним жизненных циклов видов, так и другими причинами. Но из года в год типичные сезонные особенности и их последовательность повторяются, хотя и не обязательно точно в те же сроки. По данным частых (еженедельных) съёмов было отмечено, что особенности видового состава и обилия

зоопланктона сохраняются в течение некоторого времени, а затем резко меняются и сообщество переходит в другое состояние. Эти процессы соответствуют известному в гидробиологии понятию сезонной сукцессии планктона, а временно устойчивые состояния можно определить как сезоны в планктоне. В Амурском заливе таких сезонов наблюдается девять: зимний, ранневесенний, весенний, поздневесенний, раннелетний, летний, позднелетний, раннеосенний и осенний (табл. 1), что несколько больше, чем в глубоководной субарктической зоне Японского моря. Продолжительность большинства сезонов составляет около месяца, наиболее короткий сезон – ранневесенний, который в некоторые годы может длиться лишь неделю в начале апреля, наиболее длинный сезон – зимний, длящийся до трёх месяцев.

Таблица 1. Сезонная сукцессия планктонного сообщества прибрежных вод Японского моря

Сезон	Доминирующие группы планктона
Зимний	Низкое обилие всех видов и групп
Ранневесенний	Фитопланктон (весеннее «цветение»)
Весенний	Фитопланктон, молодь холодноводных копепод
Поздневесенний	Фитопланктон, сагитты, холодноводные копеподы
Раннелетний	Холодноводные копеподы
Летний	Холодноводные копеподы, меропланктон
Позднелетний	Тепловодные копеподы, кладоцеры
Раннеосенний	Фитопланктон, тепловодные копеподы
Осенний	Хетогнаты, тепловодные копеподы

#### Межгодовые изменения планктона

Год от года различаются как темпы сезонной сукцессии планктона, так и состав и обилие планктона в каждом сезоне. Первый аспект более заметен, благодаря ему состояние планктона в одни и те же даты разных лет может различаться кардинально, т.к. межгодовые сдвиги сроков смены сезонов могут достигать полумесяца (Надточий, Зуенко, 2000). Межгодовые изменения темпов сезонной сукцессии хорошо коррелируют с изменениями темпов прогрева/выхолаживания поверхности моря. Видовой состав и обилие планктона в каждом сезоне в целом слабо связаны с условиями среды, можно отметить лишь предпочтение *A.aff.clausii* условий пониженной солёности и *P.parvus* условий повышенной температуры, причём в последнем случае связь не является функциональной, т.к. *P.parvus* – аллохтонный вид. Основные изменения видового состава для каждого сезона, особенно в мористой части залива, происходят не столько от года к году, вслед за межгодовой динамикой условий среды, сколько между продолжительными периодами масштаба десятилетий. Так, в 1980-е гг. в раннелетнем зоопланктоне Амурского залива преобладали мелкие неритические копеподы, общая биомасса была довольно низкой – в среднем  $1093 \text{ мг/м}^3$ , в 1990-е гг., напротив, преобладали крупные копеподы и сагитты, общая биомасса была очень высокой – в среднем  $2311 \text{ мг/м}^3$ , а начиная с 1998 г. сообщество вновь вернулось к состоянию низкого обилия с доминированием местных видов и последующие изменения происходили на относительно низком уровне биомассы.

Такие изменения определяются степенью экспансии в прибрежную зону глубоководных видов зоопланктона. Поскольку планктон неспособен перемещаться самостоятельно, его транспорт из глубоководной зоны в прибрежную происходит в потоках кросс-шельфовой циркуляции, которая в зал. Петра Великого формируется преимущественно муссонными ветрами. Весной-летом преобладает нагонная циркуляция с течениями к берегу в поверхностном слое и от берега в придонном слое, а осенью-зимой – сгонная циркуляция обратной направленности. Вклад глубоководных видов в зоопланктон Амурского залива усиливается в периоды усиления летнего муссона, интенсивность которого в первой (раннелетней) фазе количественно отображается Охотским индексом (рис. 2).

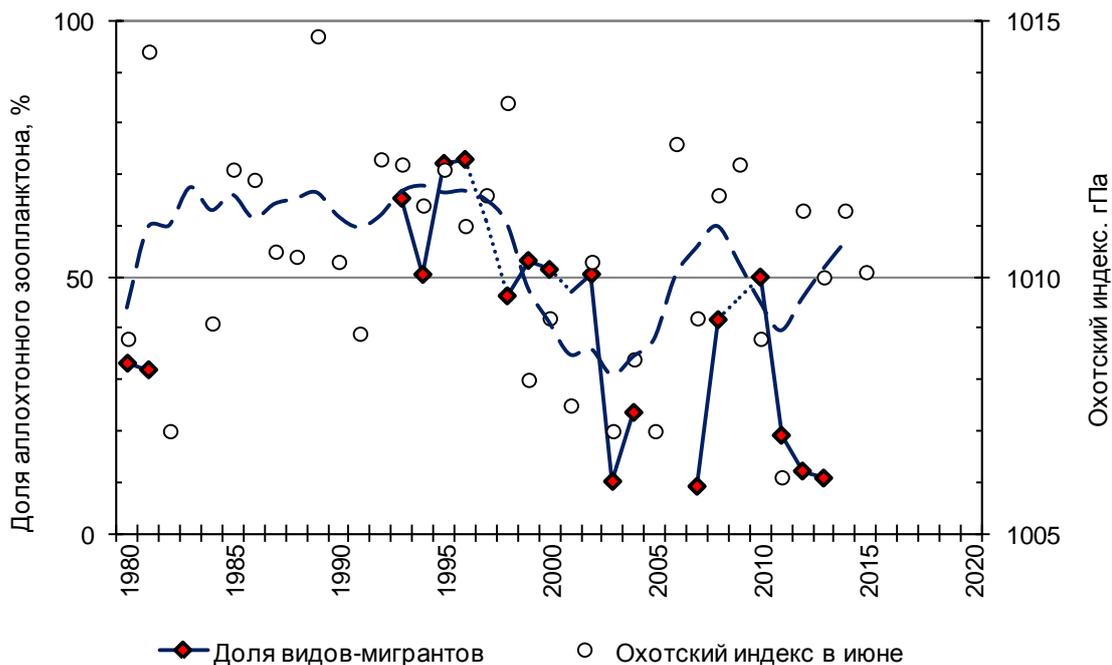


Рис. 2. Межгодовые изменения доли аллохтонных видов зоопланктона в общей биомассе раннелетнего зоопланктона в южной части Амурского залива в зависимости от изменений Охотского индекса в июне (точками показаны фактические значения, пунктиром – результат скользящего 3-летнего осреднения)

#### Кросс-шельфовый транспорт зоопланктона

Количественно значение транспорта глубоководных видов зоопланктона в Амурский залив оценено с помощью экосистемной NPZD модели NEMURO, адаптированной к условиям зал. Петра Великого, и видовых балансовых моделей. Все модели верифицированы по данным мониторинга состава и обилия зоопланктона. Объёмные переносы воды в потоках кросс-шельфовой циркуляции приняты пропорциональными скорости и продолжительности действия ветра, следуя эмпирическим результатам В.В. Шулейкина (1968) и собственным (Zuenko, 2001). Как показали расчёты, вклад транспорта в общую биомассу зоопланктона прибрежной зоны в течение всего тёплого периода года является положительным и достигает наибольших величин весной и осенью (при том, что направленность кросс-шельфовой циркуляции вод в эти сезоны противоположна), когда адвекция становится основным фактором роста обилия (рис. 3).

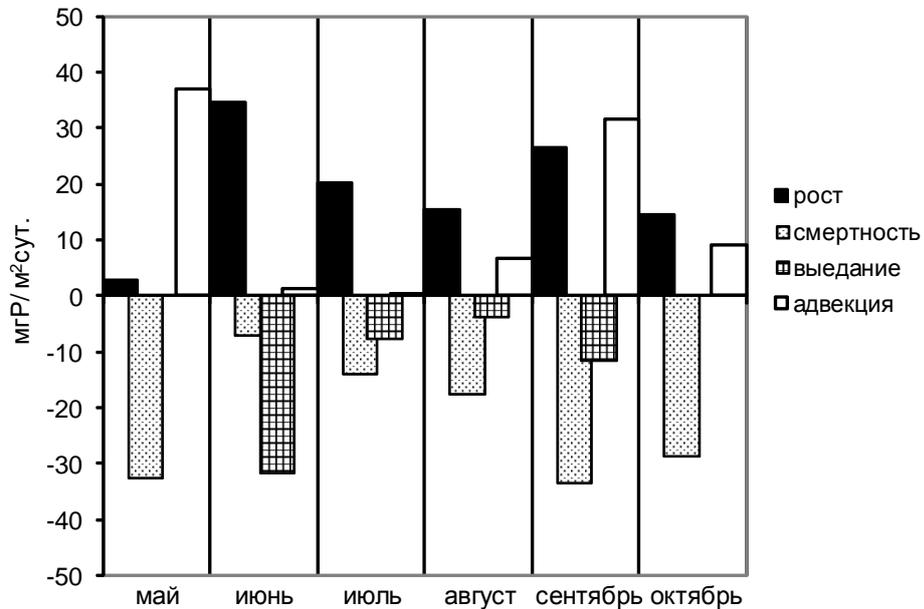


Рис. 3. Средние за 1998-1999 гг. компоненты баланса общей биомассы зоопланктона на станции в южной части Амурского залива, ежемесячно, в фосфорном эквиваленте

Разные глубоководные виды зоопланктона переносятся кросс-шельфовыми течениями по-разному, по-видимому в зависимости от глубины их концентрации. Так, молодь сагитт, доминирующая в прибрежной зоне в поздневесенний сезон, переносится сюда в поверхностном потоке нагонной циркуляции, а *P. parvus*, доминирующий здесь в раннеосенний сезон, использует для этого компенсационный глубинный поток, развивающийся при стоне.

#### Климатические изменения

Сравнивая современное состояние зоопланктона в Амурском заливе с данными наблюдений в 1970-1980-е гг., можно видеть, что общая биомасса стала выше, в основном за счёт местных мелких копепод, но понизилась биомасса наиболее массовой группы – хищных сагитт (рис. 4), Сагитты являются аллохтонным для Амурского залива видом, их обилие хорошо коррелирует с интенсивностью летнего муссона, поэтому снижение их биомассы является прямым следствием наблюдаемой климатической тенденции к ослаблению муссона. Напротив, рост обилия копепод с этой тенденцией не связан напрямую, а является следствием уменьшения их выедания сагиттами. Примечательно, что даже обилие крупных аллохтонных копепод (*P. plumchrus*) возросло, несмотря на ослабление их транспорта в прибрежную зону.

Тенденция к ослаблению муссона способствует также уменьшению биопродуктивности вод Амурского залива (Зуенко, Рачков. 2016). Таким образом, происходящие в планктонном сообществе залива изменения климатического масштаба соответствует ранее сформулированной авторами концепции современных климатических изменений в экосистеме Японского моря в направлении снижения продуктивности и повышения эффективности её функционирования.

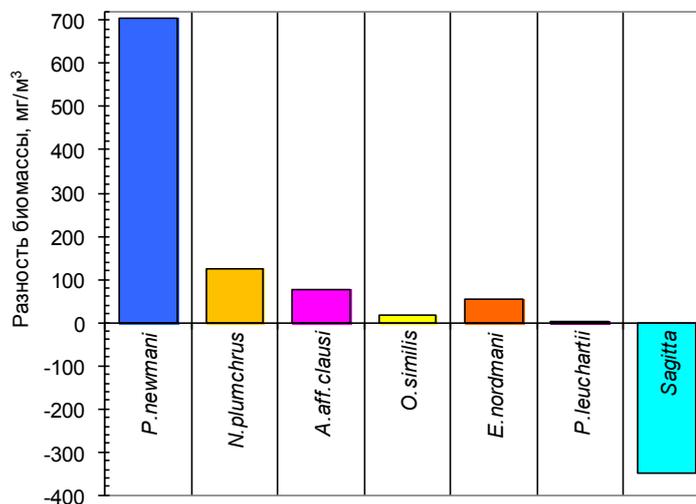


Рис. 4. Разности средних за 1980-1996 и 1998-2012 гг. биомасс массовых видов раннелетнего зоопланктона в южной части Амурского залива

## ВЫВОДЫ

1. В пределах Амурского залива сосуществуют две разных видовых группировки зоопланктона, распространение которых примерно соответствует поверхностным водным массам.
2. В годовом цикле планктонное сообщество Амурского залива несколько раз кардинально меняет свой состав и общее обилие, всего выявлено девять гидробиологических сезонов.
3. Межгодовые изменения состава и обилия планктона в Амурском зал. слабо связаны с факторами среды, но доля аллохтонных видов меняется в зависимости от интенсивности муссонов.
4. Транспорт глубоководного планктона в Амурский залив возможен как в поверхностных, так и в придонных потоках кросс-шельфовой циркуляции вод, в зависимости от видов планктона.
5. В климатическом масштабе наблюдается рост обилия зоопланктона в Амурском заливе, несмотря на снижение продуктивности вод и ослабление кросс-шельфового транспорта.

## ЛИТЕРАТУРА

- Зуенко Ю.И., Надточий В.В. Исследование влияния апвеллинга на состав и обилие мезопланктона в прибрежной зоне Японского моря. *Океанология*, 2004, т.44, № 4, с.561-569.
- Зуенко Ю.И., Надточий В.В., Селина М.С. Гидрологические процессы и сукцессия планктона в прибрежной зоне Японского моря в летний период. *Известия ТИНРО*, 2004, т.135, с.144-177.
- Зуенко Ю.И., Рачков В.И. Климатические изменения температуры, солёности и биогенных элементов в Амурском заливе Японского моря, *Известия ТИНРО*, 2015, т.183, с.186-199.
- Надточий В.В., Зуенко Ю.И. Межгодовая изменчивость весенне-летнего планктона в заливе Петра Великого. *Известия ТИНРО*, 2000, т.127, с.281-300.
- Надточий В.В., Зуенко Ю.И. Сезонные изменения в планктоне северо-западной части Японского моря. *Гидробиологический журнал*, 2001, т.37, № 6, с.10-18.
- Надточий В.В., Зуенко Ю.И. Структура вод и сообщества зоопланктона в эстуариях Амурского и Уссурийского заливов. *Вопросы промысловой океанологии*, 2009, вып.6, № 1, с.210-221.
- Надточий В.В., Зуенко Ю.И. Механизмы транспорта субтропического планктона в прибрежные воды южного Приморья на примере *Paracalanus parvus*. *Известия ТИНРО*, 2016, т.184, с.241-252.
- Рачков В.И., Надточий В.В. Межгодовые изменения океанологических условий в Амурском заливе в тёплый период года и их влияние на зоопланктон. *Вестник ДВО РАН*, 2013, № 6, с.140-148.
- Шулейкин В.В. *Физика моря*. Москва: Наука, 1968, 1084 с.
- Zuenko Y.I. Seasonal cycle of heat and salt balance in Peter the Great Bay (Japan Sea). *Oceanography of the Japan Sea* (ed. Danchenkov M.A.). Vladivostok: Dalnauka, 2001, p.220-225.
- Zuenko Y.I. Application of a lower trophic level model to a coastal sea ecosystem. *Ecological modeling*, 2007, v.202, № 1-2, p.132-143.