

Федеральное агентство научных организаций России
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук

УДК 574.5 + 552.14 + 504.42.054(026)

№ гос.рег. 01201363041

УТВЕРЖДАЮ

Директор ТОИ ДВО РАН

К.Г.Н.

«20» января



**ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**
**по теме: «Взаимосвязь гидрохимических и биологических
процессов в морских экосистемах в условиях современной
хозяйственной деятельности и изменения климата»**

(Итоговый за 2013-2016 гг.)

Руководитель НИР
д-р биол. наук

В.П. Челомин

Владивосток 2017

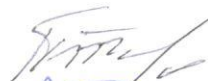
СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Зам. директора по научной
работе, д.б.н.



В.П. Челомин

Зав. лаб. 5/4



П.Я. Тищенко

д.х.н.

Вед. науч. сотр.



А.Г. Андреев

д.х.н.

Зав. лаб. 5/3



П.М. Жадан

д.б.н.

Гл. науч. сотр.



В.А. Раков

д.б.н.

Вед. науч. сотр.



В.В. Мельников

д.б.н.

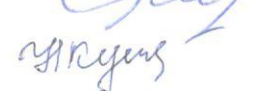
Вед. науч. сотр.



В.Г. Спрыгин

к.б.н.

Зав. лаб. 4/2



Н.Ф. Кушнерова

д.б.н.

Вед. науч. сотр.



В.Ф. Мишуков

к.х.н.

Зав. лаб. 4/1



В.М. Чудновский

д.ф.-м.н.

Вед. науч. сотр.



Л.С. Долматова

к.б.н.

Вед. науч. сотр.



Т.И. Пономарева

к.б.н.

Вед. науч. сотр.



А.М. Грухин

к.б.н.

Вед. науч. сотр.



А.П. Недашковский

к.х.н.

Гл. науч. сотр.



В.И. Звалинский

д.б.н.

РЕФЕРАТ

УДК 574.5+551.46+552.14+504.42.054[(026)]

Отчет 285 с., 98 рис., 27 табл., 369 источников

ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ, ХЛОРОФИЛЛ, ГИДРОХИМИЯ, БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, ГИПОКСИЯ, РЕЧНОЙ СТОК, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПОЛЯ ТЕЧЕНИЙ, РАДИОНУКЛИДЫ, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, НЕФТЯНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ, МОРСКИЕ ЭКОСИСТЕМЫ, ФИТОПЛАНКТОН, ЗООПЛАНКТОН, БЕНТОС, БИОИНДИКАТОРЫ, МОРСКИЕ МЛЕКОПИТАЮЩИЕ, БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ.

Цель проекта: изучение биогеохимических процессов в морской среде и оценка состояния некоторых экосистем шельфа дальневосточных морей РФ в условиях техногенеза.

Исполнитель – Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН (ТОИ ДВО РАН).

Приводятся результаты исследований за период с 2013 по 2016 гг. В отчете представлены результаты комплексных гидрохимических, биогеохимических и гидробиологических исследований в морях Дальнего Востока.

В ходе реализации проекта выявлены закономерности формирования и сезонной динамики зон гипоксии и эвтрофикации в заливе Петра Великого. Изучены процессы, определяющие пространственно-временную изменчивость гидрохимических параметров и концентрации хлорофилла в водах эстуариев главных рек Приморского края и стока реки Амур. Разработан алгоритм расчета полей течений и переноса примеси и проведен расчет распространения радионуклидов в морской среде после аварии на АЭС Фукусима 1 и проведения подземного ядерного взрыва в КНДР (10 февраля 2013 года). Приведены расчеты переноса и трансформации нефтяного загрязнения в морской среде.

Особое внимание уделено рассмотрению природных и антропогенных (техногенных) факторов среды, влияющих на состав и разнообразие морской биоты. Представлены особенности структурной организации планктонных и бентосных сообществ морских прибрежных экосистем в экологически чистых акваториях, включенных в зоны проектирования, реконструкции и интенсивного строительства важных хозяйственных объектов. Приводятся примеры использования биологических переменных (биоиндикаторов) на разных уровнях организации живого для биоиндикации и мониторинга морской среды.

Специальное внимание уделено перспективам исследования биологической активности природных комплексов из гидробионтов.

Полученные результаты представляют интерес для научных работников, занимающихся проблемами гидрохимии, гидробиологии и мониторинга морской среды, а также для преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7-10
----------------------	-------------

ГЛАВА 1 Комплексные океанолого-гидрохимические исследования морской среды

1.1	Динамика биогенных элементов и концентрации хлорофилла- <i>a</i> в Японском, Охотском и Беринговом морях. Исследование механизмов формирования мезомасштабных вихрей и оценка их влияния на биологическую продуктивность	11-22
1.2	Гидрохимические исследования прибрежных и эстуарных экосистем	23-40
1.3	Экохимическая океанология прибрежной зоны ДВ морей России	41-61
1.4	Перенос атомарной ртути в атмосфере	62-68
1.5	Трансформация осадочного материала и современный литоморфогенез в областях смешения вод морей Востока Азии (в пределах Восточной Арктики и дальневосточной Субарктики)	69-84
1.6	Изучение пространственно-временной динамики ПАУ в поверхностных водах северо-западной части Японского моря	85-90

ГЛАВА 2 Экологические исследования

2.1	Роль природных факторов в воспроизводстве морских ежей...	91-106
2.2	Характеристика морской биоты и оценка антропогенного воздействия на припортовые акватории в заливе Петра Великого	107-134
2.3	Использование молекулярных биомаркеров окислительного стресса для оценки загрязнения морской среды	135-161
2.4	Сезонное распределение и миграции полярных китов (<i>Balaena mysticetus</i> , L.) в российской части Чукотского моря	162-170
2.5	Распределение полярного кита (<i>Balaena mysticetus</i> , L.) и зоопланктона в заливе Академии Охотского моря	171-185
2.6	Исследования ластоногих Дальнего Востока России	186-202

ГЛАВА 3 Биологическая активность природных комплексов из гидробионтов

3.1	Изучение биологической активности и механизмов действия природных комплексов из водорослей и наземных растений	203-236
3.2	Изучение механизмов действия новых комплексов биологически активных веществ из гидробионтов	237-269
	ВЫВОДЫ	270-273
	ПРИЛОЖЕНИЕ.....	274-285
		

ВВЕДЕНИЕ

Дестабилизация экосистем морского шельфа в настоящее время носит глобальный характер в связи с возросшими темпами освоения прибрежной зоны. Идет интенсивное развитие градостроительства и судоходства, создаются рекреационные и туристические зоны массового отдыха, развивается рыболовство и марикультура, разрабатываются газовые и нефтяные месторождения. В настоящее время наблюдается новое явление, которое можно назвать “прибрежной революцией”: массовая миграция населения к берегам морей. Под этим натиском меняется не только внешний вид побережья и морского шельфа, но происходят и существенные, глубокие изменения в прибрежных экосистемах. Причины, вызывающие их дестабилизацию, как правило, имеют многоуровневый и многоплановый характер и определяются видом деятельности человека и расположением района. Однако часто экологические сдвиги прибрежных экосистем являются результатом непродуманной экономической политики, простой бесхозяйственности и весьма низким уровнем элементарной культуры. К сожалению, плоды такой деятельности могут быть настолько печальными, что потребуют от будущих поколений значительных финансовых затрат хотя бы для частичного возрождения первоначального облика морского шельфа нашей планеты. Поэтому уже сейчас требуется серьезный научный анализ создавшейся ситуации и выработки продуманной стратегии рационального природопользования в прибрежной зоне.

Дальневосточные моря являются главным бассейном России, в пределах которого сосредоточены огромные запасы биологических ресурсов и добывается более двух третей федерального вылова рыб и нерыбных объектов. В связи с этим высокопродуктивные шельфовые экосистемы умеренных и высоких широт в течение последних десятилетий являются объектами самых интенсивных биоокеанологических исследований, и, в настоящее время, интерес к их изучению не только не ослабевает, но и увеличивается. Среди прочих причин это определяется необходимостью количественно понимать механизмы и амплитуду возможных изменений их продуктивности под воздействием естественных факторов. Но особую актуальность приобретают проблемы сохранения биологических ресурсов, разработки новых подходов контроля и оценки состояния экосистем, и определения экологической емкости морей в условиях возрастающей антропогенной нагрузки.

Совершенно ясно, что именно эти важнейшие проблемы современной биоокеанологии могут быть решены только при знании закономерностей функционирования экосистем в различных морях и районах океана. В большинстве высокопродуктивных шельфовых регионов изучению структуры и функционирования биологических компонентов

экосистем уделяется специальное внимание, и часто этим исследованиям посвящаются многолетние программы.

В последние годы более четко обозначились недостаточно изученные вопросы, относящиеся к динамике экосистем и причинам ее вызывающим, а также функционированию экосистем в целом. Главными направлениями этих исследований, результаты которых дают основу для концептуальных и математических моделей продукционного цикла, являются изучение динамики состава и количественных параметров на уровне доминирующих таксономических групп и связи этой динамики с изменениями абиотических свойств среды разного временного масштаба от многолетних климатических до короткопериодных синоптических. При относительной изученности шельфовых районов дальневосточных морей, в настоящее время знание механизмов и количественной стороны изменчивости, существующей на разных трофических уровнях, даже в межгодовом и сезонном масштабе, далеко недостаточно для адекватного понимания динамики экосистем и причин изменения продуктивности на высших уровнях трофической цепи, в том числе продукции промысловых организмов. Все эти вопросы непосредственно касаются, прежде всего, состояния и динамики биоресурсов. Последние же, в свою очередь, определяются как изменчивостью естественных (гидрохимических, гидрофизических и биогеохимических) условий среды, так и интенсивностью антропогенного воздействия (промысловый пресс, загрязнение и др.). В конечном счете, все это отражается на состоянии сырьевой базы рыболовства.

Технизация промышленности и сельского хозяйства ведет к резкому увеличению отходов, большинство из которых неблагоприятно и часто летально воздействует на биоту. Большая их часть с реками, атмосферными осадками и другими путями сносится в моря и океаны, нарушая их экосистемы и изменяя их биотический баланс. Прибрежные зоны морей и океанов, где сосредоточена основная хозяйственная деятельность человека, в первую очередь подвержены длительному воздействию разнообразных антропогенных факторов, в том числе загрязнения. Сложное взаимодействие биогеохимических и гидродинамических процессов приводит к концентрации основной массы загрязняющих веществ в донных отложениях и придонном слое воды. В последние годы в спектре хозяйственной деятельности в прибрежных зонах, в т.ч. России и приграничных ей государств, все большее значение приобретает разработка и добыча нефти, газа и минеральных ресурсов, интенсифицируется судоходство. Эти факторы в совокупности с хроническим поступлением загрязняющих веществ с речными и материковыми стоками, сбросами коммунально-бытовых и промышленных вод приводят к нарастанию концентраций устойчивых загрязняющих веществ не только в прибрежных, но и открытых районах внутренних и

полузамкнутых морей. Природные экосистемы начинают испытывать антропогенное воздействие, которое ведет к нарушению функционирования экосистем и сокращению численности видов. В этих условиях снижение продуктивности и видового разнообразия на нижних трофических уровнях, связанное с изменением физико-химических характеристик среды, неизбежно влечет ухудшение условий обитания для морских обитателей верхнего трофического уровня – морских млекопитающих. Такие изменения могут носить необратимый характер и приводить к частичной и полной деградации морских экосистем.

Поэтому встает задача оценки возможного действия поллютантов на водные экосистемы и определения максимального уровня сброса, соответствующего экологической емкости бассейна, т.е. уровня, с которым водные экосистемы еще могут справиться без существенного нарушения своей структуры и функционирования.

Антропогенная нагрузка на моря и океаны привела к тому, что в ряде их областей загрязняющие вещества стали постоянно действующим фактором, влияющим на морские организмы и экосистемы в целом. Однако нарушения в живой системе являются конечным звеном в цепи серьезных изменений гидрофизических и гидрохимических свойств среды. При этом, как правило, необходимо какое-то, иногда значительное время для накопления изменений абиотических факторов, прежде чем живая система отреагирует на них. Поэтому, комплексное изучение закономерностей функционирования морских экосистем и их устойчивости к внешним воздействиям, таким как хозяйственная деятельность или естественная изменчивость среды, является одной из центральных задач современной науки об океане.

В связи с этим, на первый план выдвигаются задачи адекватного понимания вклада естественной климатической и антропогенной изменчивости в современную динамику абиотических и биотических составляющих для оценки возможного ущерба морским шельфовым экосистемам и их биопродуктивности. Эти знания необходимы для формирования научно обоснованной стратегии мониторинга и экологически обоснованной политики рационального природопользования на шельфовых акваториях. Подобные задачи могут быть решены только на основе комплексного или экосистемного подхода к исследованию шельфовых систем, при котором внимание обращается на фундаментальные аспекты формирования биологической продукции в шельфовых сообществах, а также механизмы их изменчивости и устойчивости в условиях хронического загрязнения морских вод. К сожалению, такие исследования до сих пор малочисленны, так как для их реализации требуется привлечение огромного числа различных специалистов и больших финансовых ресурсов. Вместе с тем, комплексные работы по изучению абиотических и биотических

составляющих и оценке антропогенного воздействия на различных уровнях структурно-функциональной организации имеют первостепенное и фундаментальное значение.

Данный отчет сформирован на основе исследований широкого круга специалистов ТОИ ДВО РАН в области гидрохимии, биогеохимии и биоокеанологии, отражающие различные стороны многообразных процессов, протекающих в отдельных регионах дальневосточных морей. Результаты исследования могут быть использованы при оценке современного состояния и позволяют сделать научный прогноз развития арктического и тихоокеанского регионов России.

Глава 1 КОМПЛЕКСНЫЕ ОКЕАНОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ

1.1 Динамика биогенных элементов и концентрации хлорофилла-а в Японском, Охотском и Беринговом морях. Исследование механизмов формирования мезомасштабных вихрей и оценка их влияния на биологическую продуктивность

Введение

Берингово и Охотское моря относятся к числу наиболее продуктивных районов Мирового океана. Высокая первичная продукция и биомасса фитопланктона в данных областях Мирового океана в летний и осенний сезоны обусловлена приливным перемешиванием и динамикой мезомасштабных (горизонтальный масштаб ~ 100 км) и субмезомасштабных вихрей. Поступление тихоокеанских вод через проливы Алеутской и Курильской островных гряд – один из основных источников биогенных элементов для Берингова и Охотского морей. Приливное перемешивание обеспечивает приток биогенных элементов (соединения азота, фосфора и кремния) в верхний фотический слой. Мезомасштабные и субмезомасштабные вихри осуществляют перенос биогенных элементов из зоны интенсивного приливного перемешивания в открытую часть моря. Антициклонические вихри, перемещающиеся вдоль материкового склона, обеспечивают поступление вод богатых биогенными элементами в прибрежные зоны и осуществляют адвекцию поверхностных вод с высоким содержанием хлорофилла из прибрежных зон в глубоководные части бассейнов.

В рамках проекта исследованы процессы, вызывающие межгодовые изменения концентрации хлорофилла-а, выражающего биомассу автотрофного планктона, в поверхностных слоях вод Берингова и Охотского морей. Установлено, что формирование зон с высокой концентрацией хлорофилла-а в данных бассейнах определяется смешением прибрежных вод (с низкой соленостью и низким содержанием биогенных элементов) и трансформированных (за счет смешения в проливах Алеутской и Курильской островных гряд) тихоокеанских вод с относительно высокой соленостью и высоким содержанием биогенных элементов. Показано влияние изменений в потоке вод продолжения Аляскинского течения в Тихом океане на динамику, термический режим и концентрацию хлорофилла-а в поверхностном слое вод восточной части Охотского моря.

За последние 60 лет в Японском море наблюдались значимые изменения физических и химических параметров морской воды: уменьшение содержания растворенного кислорода, увеличение температуры в глубинных и придонных слоях и уменьшение толщины придонного слоя вод. Значительные изменения происходили в динамике морских экосистем и рыбных ресурсах Японского моря. Принято считать, что процессы, вызывающие изменение параметров морской воды в глубинном и придонном слоях Японского моря – это повышение температуры воздуха в зимний период и снижение интенсивности и глубины проникновения зимней конвекции. Основным источником вод для Японского моря – шельфовые воды Восточно-Китайского моря (ВКМ), формирующиеся под влиянием вод Тайваньского течения, течения Курошио и стока р. Янцзы. В работе [1] предложено, что понижение содержания растворенного кислорода в промежуточном и глубинном слоях Японского моря за последние 25 лет происходит за счет увеличения притока вод из ВКМ через Корейский/Цусимский пролив. В настоящее время наблюдается повышенный научный интерес к оценке влияния межгодовых изменений параметров морской воды на биомассу фитопланктона и концентрацию хлорофилла – *a* в водах Японского моря. Японское море характеризуется бимодальным массовым цветением фитопланктона: весна (апрель–май) и осень (октябрь–ноябрь). Ранее межгодовые изменения в видовом составе фитопланктона и концентрации хлорофилла – *a* в центральной части Японского моря в весенний и летний периоды связали межгодовые изменения концентрации хлорофилла – *a* в весенний период со стратификацией вод и величиной градиента концентрации фосфатов между поверхностным и подповерхностным слоями вод. Основной целью наших исследований было изучение межгодовых изменений физических и химических параметров морской воды и концентрации хлорофилла – *a* в поверхностном слое вод Японского моря в предзимний (осенний) период.

Данные и методы

В работе использовались данные судовых наблюдений (температура, соленость, гидрохимические параметры и концентрации хлорофилла – *a*), предоставленные Центрами океанографических данных Кореи и Японии и материалы комплексных морских экспедиций ДВО РАН, СахНИРО и ТИНРО - Центра. В дополнение к экспедиционным данным нами использовались спутниковая информация по концентрациям хлорофилла – *a*, температуре (сканер цвета морской воды SeaWiFS ИСЗ SeaStart и MODIS ИСЗ Terra/Aqua, <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) и скоростям геострофических течений в поверхностном слое

вод с пространственным разрешением 1/4 град на 1/4 град, предоставленных базой данных AVISO.

Результаты и обсуждение

В центральной части Японского моря с конца 1970-х по 2012 г. наблюдалось повышение температуры ($0,10 \pm 0,03$ ($\alpha=0,10$) $^{\circ}\text{C}$ год $^{-1}$) и снижение солёности ($-0,006 \pm 0,003$ год $^{-1}$). С конца 1970-х годов по начало 2000-х годов температура морской воды увеличилась на $\sim 4^{\circ}\text{C}$. Понижение относительной плотности ($-0,03 \pm 0,01$ кг м $^{-3}$ год $^{-1}$) с 1978 по 2012 г. способствовало повышению стратификации в поверхностном слое вод. В центральной и южной областях Японского моря содержание растворенного кислорода снижалось на $-0,9 \pm 0,2$ $\mu\text{моль кг}^{-1}$ год $^{-1}$. В период с 1978 по 2012 г. наблюдалась статистически значимая ($\alpha=0,05$) корреляция ($r=0,56-0,60$) между межгодовыми изменениями температуры, солёности, относительной плотности и концентрации растворенного кислорода (на горизонте 50 м) в Японском море и в северной части Восточно-Китайского моря. С 1978 по 2012 г. в поверхностном слое вод центральной части Японского моря концентрация фосфатов (P) понижалась на $0,004 \pm 0,001$ ($\alpha=0,10$) $\mu\text{моль кг}^{-1}$ в год. В южной части Японского моря концентрация нитратов (N) увеличивалась на $0,03 \pm 0,03$ $\mu\text{моль кг}^{-1}$ в год. Соотношение между концентрацией нитратов и концентрацией фосфатов (N : P соотношение) возросло с 10 в 1984 г. до 14 в 2011 г. Межгодовые вариации биомассы автотрофного фитопланктона может быть оценено по изменению концентрации хлорофилла-а. В 1978 – 1988 гг. в центральной и южной областях Японского моря наблюдались низкие концентрации хлорофилла-а ($\sim 0,1$ $\mu\text{г л}^{-1}$) в слое 0–30 м. На горизонте 50 м концентрация хлорофилла-а понизилась с $\sim 0,7$ $\mu\text{г л}^{-1}$ в 1980 г. до $\sim 0,1$ $\mu\text{г л}^{-1}$ в 2010 г. В период с 1989 по 2011 г. в слое 0–30 м и на горизонте 50 м концентрации хлорофилла-а были равны $0,2-0,4$ $\mu\text{г л}^{-1}$. За период наблюдений (1978–2012 гг.), осредненная в слое 0–100 м, концентрация хлорофилла-а не показала статистически значимых трендов. Повышение концентрации хлорофилла-а в слое 0–30 м ($\text{Схлор.}^{15\text{м}}$) (рис. 2г, 2з) происходило за счет ее понижения на горизонте 50 м ($\text{Схлор.}^{50\text{м}} - \text{Схлор.}^{15\text{м}} \sim -0,014$ $\mu\text{г л}^{-1}$ год $^{-1}$) [2].

С середины 80-х годов прошлого века наблюдается увеличение концентраций неорганического азота, фосфора и соотношения между N и P в прибрежных водах Восточно-Китайского моря, обусловленное антропогенной нагрузкой на воды р. Янцзы (использование химических удобрений, увеличение бытовых стоков и т.д.). С 1960 по 1990 г. поступление N с водами р. Янцзы в Восточно-Китайское море возросло в десять раз. С 1985 по 1998 г. в прибрежных водах ВКМ концентрация нитратов увеличилась в два раза. В результате

притока вод из Восточно-Китайского моря наблюдается возрастание N:P соотношения в верхнем 300 м слое южной части Японского моря [1]. В поверхностном слое вод южной и центральной областей Японского моря (рис. 3г), в Желтом и Восточно–Китайском морях повышение N:P соотношения обусловлено увеличением концентрации N и снижением концентрации P. Снижение концентрации P в Желтом и Восточно–Китайском морях происходит за счет увеличения использования вод р. Хуанхэ и Янцзы в мелиорации.

Межгодовые вариации расходов вод Восточно-Китайского моря через Корейский/Цусимский пролив влияют на физические и химические параметры морской воды и концентрацию хлорофилла-а в Японском море (рисунок 1.1.1). Наблюдаются статистически значимые корреляции ($r = 0.60-0.75$) между расходом вод через Корейский/Цусимский пролив и межгодовыми изменениям относительной плотности, N:P соотношения, содержания растворенного кислорода и концентрации хлорофилла-а в поверхностном слое вод южной и центральной областей Японского моря [2].

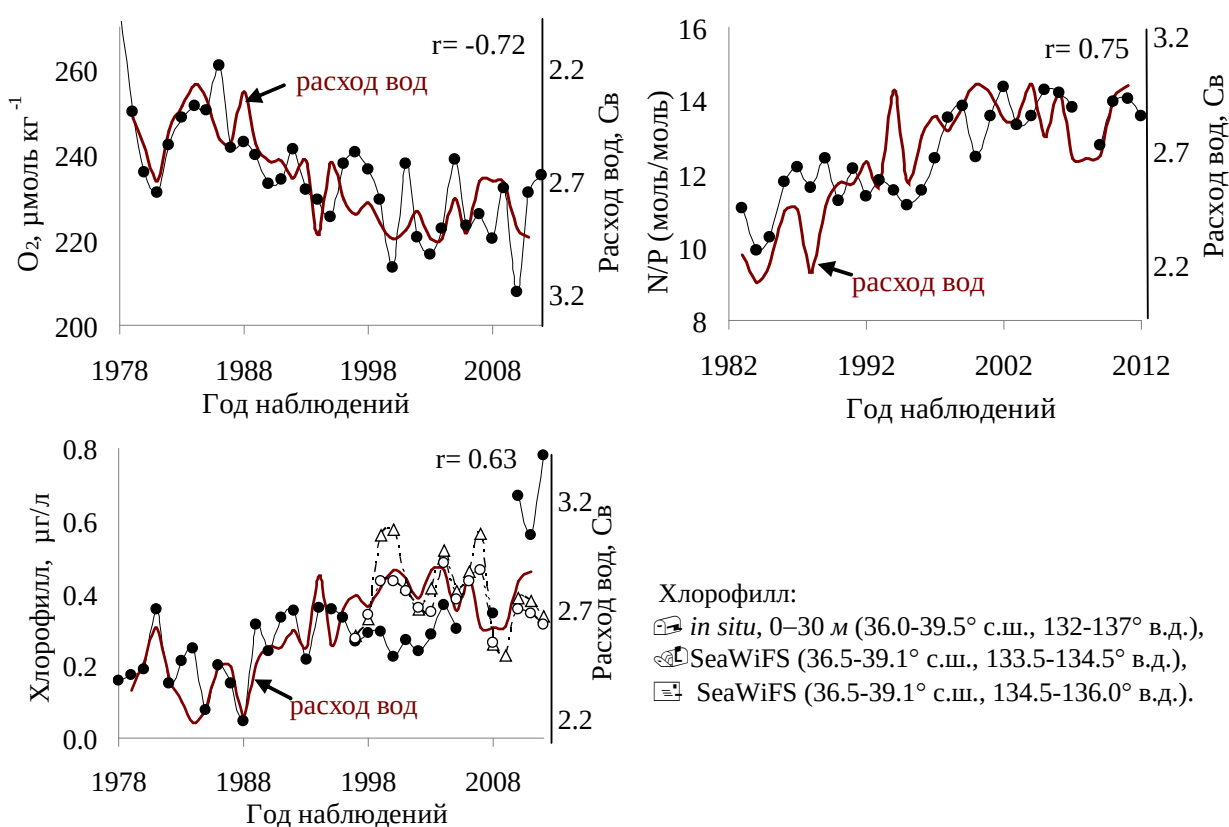


Рисунок 1.1.1- Межгодовые изменения расхода вод через Корейский/Цусимский пролив и межгодовые изменения концентрации растворенного кислорода, азот–фосфорного отношения (N/P) на горизонте 50 м в Японском море (36.0–39.5° с.ш., 132.5–136.5° в.д.) и межгодовые изменения концентрации хлорофилла в поверхностном слое Японского моря (сентябрь – октябрь).

Анализ полей скорости поверхностных течений по данным спутниковой альтиметрии за период с 1993 по 2015 г. выявил, что циркуляция вод в СЗ части Японского моря в июне– августе/ноябре– феврале определяется наличием мезомасштабного (горизонтальный размер 100 км) циклона/антициклона (рисунок 1.1.2а, б) со скоростями геострофических течений на границах равными 0.10 – 0.15/0.15 – 0.20 м/с. Поток поверхностных вод вдоль материкового склона меняет свое направление с юго – западного летом и на северо – восточное осенью– зимой. Мезомасштабные циклоны и антициклоны оказывали влияние на распределение температуры в поверхностном слое вод в СЗ части Японского моря (рисунок 1.1.2а, б). В июле на северной, западной и южной границах циклона наблюдалась адвекция прибрежных вод с низкими температурами. В ноябре вдоль западной и северной границ мезомасштабного антициклона в район южного Приморья поступали воды с повышенной температурой.

Установлено, что в июле в зоне нахождения мезомасштабного циклона (40– 42 с.ш., 130 – 132 в.д.) температура поверхностных вод ниже (на 3– 5 град С), а плотность выше, чем на ее северной, западной и южной границах (рисунок 1.1.2в, г). В ноябре в зоне нахождения мезомасштабного антициклона (40– 42 с.ш., 130 – 132 в.д.) температура вод выше на 4–6 град С, а плотность ниже, чем на ее восточной, северной и западной границах. Усиление антициклонального вихря напряжения ветра над Японским морем в октябре– ноябре приводит к интенсификации мезомасштабной антициклональной циркуляции вод, увеличению притока субтропических вод и повышению температуры вод в СЗ части Японского моря в ноябре– декабре. Показано, что усиление антициклонального вихря напряжения ветра над Японским морем в ноябре– феврале приводит к ослаблению циклонической циркуляции в северной части Японского моря в январе– июне. Скорости Приморского течения (разрез через 45 с.ш., 137.5– 138.2 в.д.) и скорости течения (направленного на север) вдоль восточной границы субарктического циклонического круговорота (139.5– 140.0 в.д.) уменьшаются ($r = -0.72$ и 0.69). Уменьшение скоростей Приморского течения сопровождается понижением скоростей на границах мезомасштабного циклона в СЗ части Японского моря в мае – июне.

Мезомасштабные циклоны и антициклоны (горизонтальный размер ~ 100 км), осуществляющие водообмен между прибрежной и открытой областями Японского моря, оказывают влияние на распределение физических и химических параметров морской воды, состав и биомассу фитопланктона и организмов более высокого трофического уровня.

Увеличением адвекции субтропических вод Восточно– Корейского течения в район южного Приморья можно объяснить повышение численности тропических и субтропических видов животных и рыб в СЗ части Японского моря).

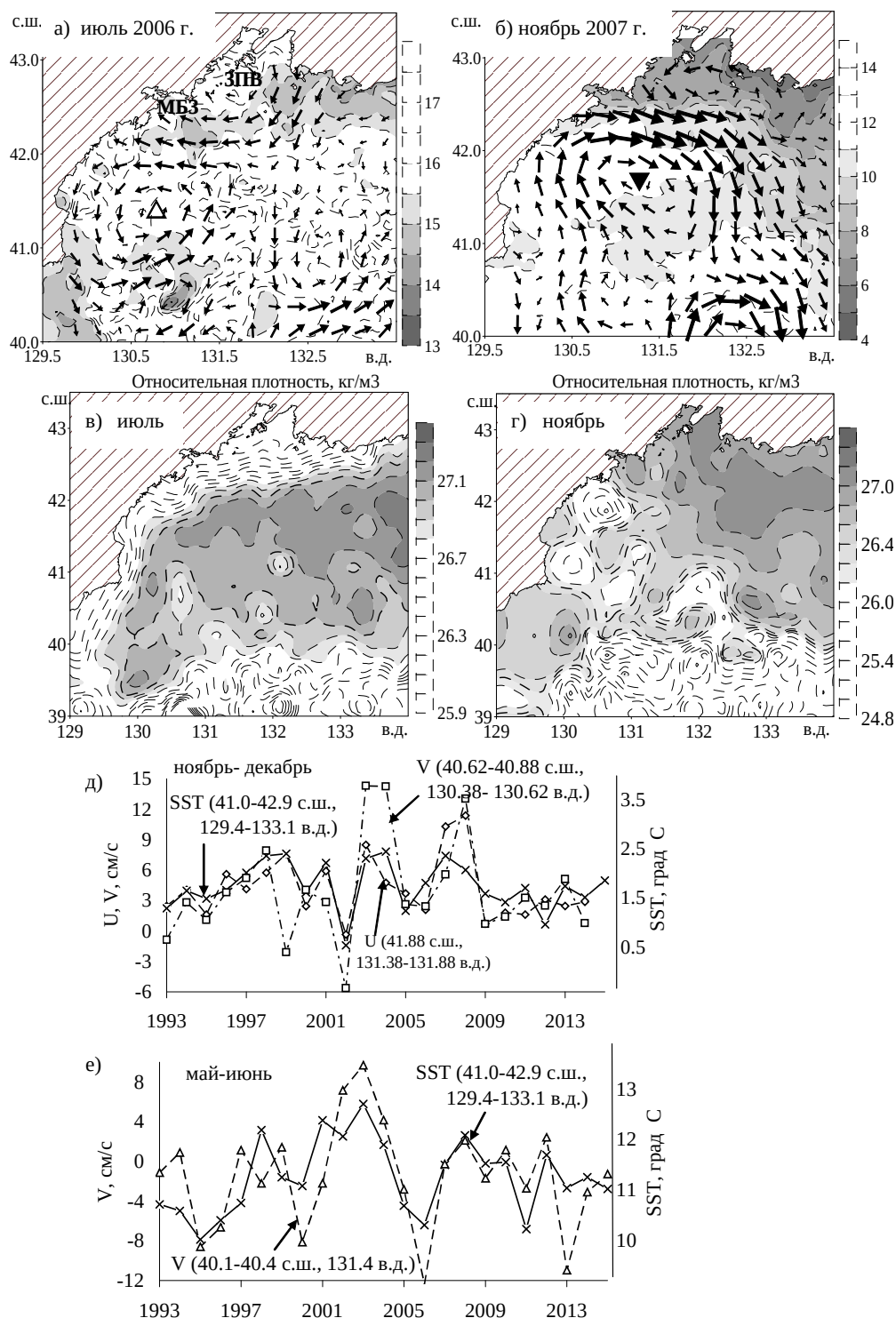


Рисунок 1.1.2- Поле поверхностных геострофических течений по данным AVISO и распределение температура в поверхностном слое вод по данным ИСЗ Aqua (а, б), карты распределения относительной плотности на горизонте 50 м по данным WorldOceanAtlas2013

(в, г) и межгодовые изменения зональных и меридиональных скоростей на границах мезомасштабных антициклонов и циклонов и температуры поверхностного слоя вод (SST) в СЗ части Японского моря (д, е).

Установлено, что при усилении мезомасштабной антициклонической циркуляции вод (увеличение зональной и меридиональной скоростей течений на северной и западной границе антициклона), в районе южного Приморья наблюдается увеличение температуры поверхностных вод в ноябре – декабре (рисунок 1.1.2д). При усилении мезомасштабной циклонической циркуляции вод (отрицательные зональные скорости течений на северной границе циклона) в мае – июне в районе южного Приморья наблюдается понижение температуры вод (рисунок 1.1.2е). Данные спутниковой альтиметрии и экспедиционные данные показывают присутствие мезомасштабных (горизонтальный масштаб 100 км) антициклонических образований, характеризующихся положительными аномалиями уровня моря, в Курильской котловине Охотского моря и прикурильском районе Тихого океана [3]. Разница в динамических высотах (0/1000 дбар), рассчитанных по STD- данным (август 1994 г., февраль- март 2003 г., октябрь 2003 г.), между центрами (1.20 - 1.26 дин. м) и границами (1.02- 1.08 дин. м.) мезомасштабных антициклонов в Курильской котловине равна 0.12 - 0.24 дин. м. По данным спутниковой альтиметрии различия в относительных уровнях моря между центрами антициклонов и его периферией составляет 0.15 – 0.20 м. Исследование гидрофизической и гидрохимической структур антициклонических вихрей показало, что они образованы смешением охотоморских и тихоокеанских вод. Антициклонические вихри обеспечивают поступление богатых биогенными элементами поверхностных прикурильских вод из зоны приливного фронта в центральную часть Курильской котловины. В августе–сентябре, по спутниковым данным, языки вод с высокими концентрациями хлорофилла-а (1–4 мкг/л) наблюдались вдоль приливного фронта Курильской гряды, на границах и внутри антициклонических вихрей. В центральной и южных областях Охотского моря за этот же период времени спутниковые концентрации хлорофилла- а составляли ≤ 0.5 мкг/л. По данным судовых наблюдений вертикальное распределение концентрации хлорофилла-а в центральной и западных областях Курильской котловины Охотского моря в августе–сентябре имеет максимум, совпадающий с глубинной залегания слоя скачка биогенных элементов (горизонт 30 м) [3]. Приливное перемешивание на шельфе и в проливах Курильской гряды значительно снижает стратификацию (однородное распределение по глубине солености) и увеличивает концентрацию биогенных элементов в верхнем 30 м слое вод прикурильского района Охотского моря. В слое 0–30 м средние концентрации фосфатов, силикатов и нитратов в зоне приливного перемешивания ($P = 1.8\text{--}2.0$ мкмоль/кг, $N = 20\text{--}30$

мкмоль/кг, $Si = 40-60$ мкмоль/кг) в несколько раз превышают концентрации биогенных элементов в стратифицированной части Курильской котловины Охотского моря в летний период ($P \sim 0.2$ мкмоль/кг, $N \sim 2$ мкмоль/кг, $Si \sim 4$ мкмоль/кг). За счет интенсивного приливного перемешивания вод увеличивается концентрация биогенных элементов, но понижается концентрация хлорофилла-а за счет выноса клеток фитопланктона за пределы фотического слоя (0-50 м). Уменьшение перемешивания вод способствует значительному увеличению биомассы фитопланктона и повышению концентраций хлорофилла, и снижению содержания биогенных элементов. Мезомасштабные вихри обеспечивают перенос вод с высоким содержанием биогенных элементов в поверхностном слое из зоны интенсивного приливного перемешивания в открытую часть Охотского моря (восточная область Курильской котловины). За счет этого процесса в глубоководной части Охотского моря в августе-сентябре наблюдаются повышенные концентрации хлорофилла-а [3].

Образование мезомасштабных вихрей вдоль побережья залива Аляска и в Беринговом море, также как и в Охотском море, определяется величиной и знаком вихря напряжения ветра в зимний период. Усиление вихря напряжения ветра в северной части Тихого океана в зимний период приводит к появлению положительных аномалий уровня и формированию антициклонических вихрей вдоль границ тихоокеанской субарктики. Межгодовые изменения концентрации хлорофилла-а в глубоководной части Берингова моря хорошо согласуются с изменениями концентрации хлорофилла в Охотском море и заливе Аляска (северо-восточная часть Тихого океана) (рисунок 1.1.3). Наличие АЦ вихрей и их интенсивность определяет концентрацию хлорофилла в поверхностном слое вод вдоль берегового склонов Берингова моря и залива Аляска. Наблюдается тесная связь между вихрем напряжения ветра в северной части Тихого океана в зимний период и концентрацией хлорофилла в Беринговом и Охотском морях и заливе Аляски в летний и осенний сезоны (рисунок 1.1.3). Усиление вихря напряжения ветра в Тихом океане в зимний период приводит к интенсификации антициклонических вихрей и росту концентрации хлорофилла в поверхностном слое вод залива Аляска и со сдвигом по времени 1 год в Курильской котловине Охотского моря и Беринговом море.

В летний период прибрежные аляскинские воды Берингова моря обеднены биогенными элементами, что ограничивает цветение фитопланктона в поверхностном слое вод. Тихоокеанские воды, поступающие в Берингово море через проливы Амчитка и Танага, благодаря приливному перемешиванию, характеризуются повышенным содержанием биогенных элементов, но пониженной стратификацией в поверхностном слое вод. Нами показано, что смешение аляскинских прибрежных вод и трансформированных

тихоокеанских вод создает благоприятные условия для роста автотрофного планктона и сопровождается увеличением концентрации хлорофилла-а в верхнем фотическом слое.

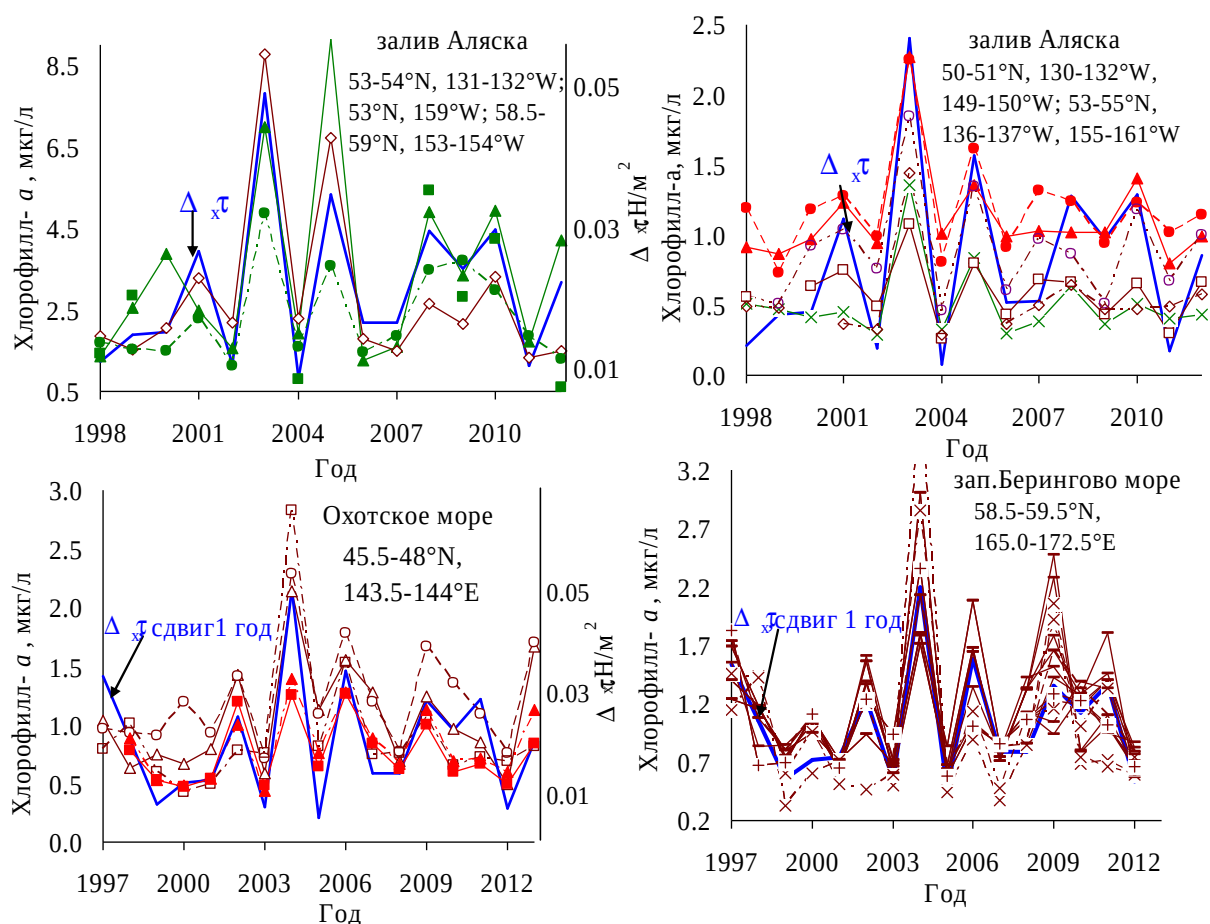


Рисунок 1.1.3 - Межгодовые изменения концентрации хлорофилла-а в поверхностном слое вод (май, август, сентябрь) и разности зональной компоненты напряжения ветра ($\Delta\tau_x$) в северной части Тихого океана (45-47°N, 165°E-170°W) (ноябрь-март)

С изменением термического состояния и ледовитостью вод связаны многие особенности распределения и численности гидробионтов в Беринговом и Охотском морях. Для Охотского моря свойственна западная разновидность субарктической структуры вод, для которой характерно наличие подповерхностного слоя с отрицательными температурами. Воды продолжения Аляскинского течения, поступающие в западную часть тихоокеанской субарктики, Берингово и Охотское моря, характеризуются повышенной температурой (более 4 град С) подповерхностного слоя. Наши результаты (рисунок 1.1.4) показывают, что

межгодовые изменения в потоках вод продолжения Аляскинского течения оказывают значительное влияние на динамику вод Охотского моря. Усиление/ослабление продолжения Аляскинского течения значительно увеличивают/уменьшают величины потоков северного направления в районах проливов Крузенштерна и Четвертый Курильский, связывающих Охотское море с Тихим океаном. Возрастание вихря напряжения ветра приводит к интенсификации продолжения Аляскинского течения в Тихом океане и сопровождается увеличением температуры и уменьшением концентрации хлорофилла в поверхностном слое вод восточной части Охотского моря в период весеннего цветения планктона. Увеличение притока тихоокеанских вод через Курильские проливы сопровождается снижением площади ледового покрова в Охотском море в зимний период [4].

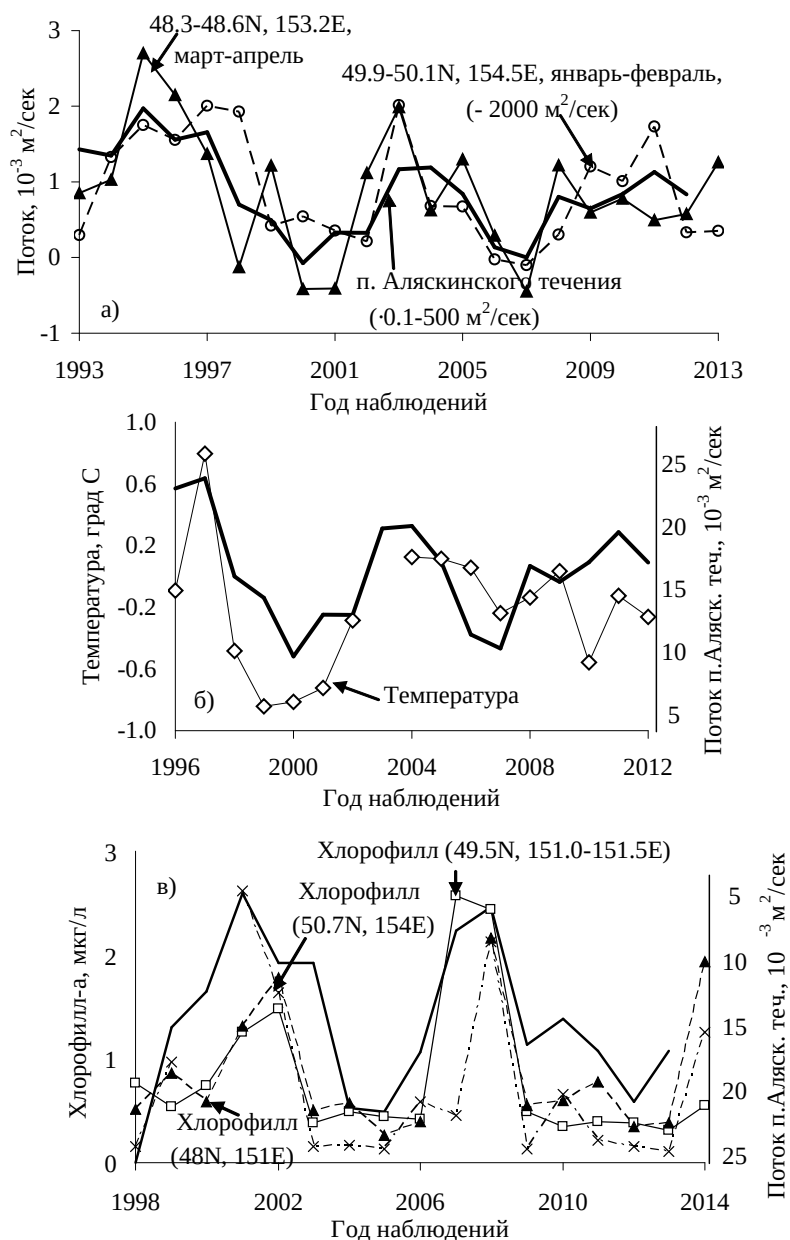


Рисунок 1.1.4- Межгодовые изменения потока продолжения Аляскинского течения в Тихом океане (а-в), меридиональных потоков в районе проливов Крузенштерна и Четвертый Курильский (а), температуры вод (0-200 м, весна) (б) и концентрации хлорофилла-а (<20 м, май) в восточной части Охотского моря.

Выводы

1. Исследование межгодовых изменений параметров морской воды и концентрации хлорофилла-а в водах Японского моря показало, что увеличение поступления вод Восточно-Китайского моря через Корейский/Цусимский пролив приводит к возрастанию температуры, понижению солёности и содержания растворённого кислорода в поверхностном слое вод Японского моря в осенний период. Установлено, что с 1978 по 2012 г. в центральной части Японского моря в осенний период наблюдались тенденции к повышению содержания растворённого неорганического азота (N), уменьшению неорганического фосфора (P) и снижению концентрации хлорофилла-а на горизонте 50 м и его увеличению в слое 0–30 м. Наблюдаемые тенденции в N, P и концентрации хлорофилла-а объясняются усилением влияния прибрежных вод Восточно-Китайского моря на воды центральной части Японского моря.

2. Высокая концентрация хлорофилла-а в поверхностных водах Охотского моря в летний и осенний периоды обусловлена приливным перемешиванием и динамикой мезомасштабных (горизонтальный масштаб ~ 100 км) вихрей. Приливное перемешивание обеспечивает приток биогенных элементов (соединения азота, фосфора и кремния) в верхний фотический слой. Мезомасштабные вихри осуществляют перенос биогенных элементов из зоны интенсивного приливного перемешивания в глубоководную часть моря. Формирование мезомасштабных вихрей в Курильской котловине Охотского моря происходит под влиянием бароклинных волн, поступающих из Тихого океана через проливы Курильской гряды. Усиление вихря напряжения ветра в Тихом океане в зимний период приводит (со сдвигом по времени 1 год) к интенсификации антициклонических вихрей и росту концентрации хлорофилла в водах центральной части Охотского моря в августе-сентябре.

3. Межгодовые изменения в потоках вод продолжения Аляскинского течения и Восточно-Камчатского течения, формирующих северную и западную периферию тихоокеанского субарктического круговорота, оказывают значительное влияние на динамику вод Охотского моря. Усиление/ослабление продолжения Аляскинского течения значительно увеличивают/уменьшают величины потоков северного направления в районах проливов

Крузенштерна и Четвертый Курильский, связывающих Охотское море с Тихим океаном. Возрастание вихря напряжения ветра приводит к интенсификации продолжения Аляскинского течения в Тихом океане и сопровождается увеличением температуры и уменьшением концентрации хлорофилла в поверхностном слое вод восточной части Охотского моря в период весеннего цветения планктона. Увеличение притока тихоокеанских вод через Курильские проливы сопровождается снижением площади ледового покрова в Охотском море в зимний период.

4. Анализ многолетних данных спутниковых и экспедиционных наблюдений и данных буев Арго позволил детализировать схему поверхностных течений СЗ части Японского моря с учетом существования мезомасштабных циклонов/антициклонов в июне – августе/ноябре – феврале. Формирование мезомасштабного циклонов связано с поступлением холодных вод Приморского течения в СЗ часть Японского моря. Образование мезомасштабных антициклонов наблюдается в период усиления антициклонального вихря напряжения ветра над Японским морем, приводящим к притоку субтропических вод с повышенной температурой в СЗ часть Японского моря. Адвекция субтропических вод мезомасштабными антициклонами повышает температуру вод в заливе Петра Великого в ноябре– декабре.

Список использованных источников

1 Андреев А.Г. Межгодовая изменчивость расхода вод через Корейский/Цусимский пролив и ее влияние на содержание растворенного кислорода в водах Японского моря// Метеорология и Гидрология.- 2010. № 9. С. 74 – 85.

2 Андреев А. Г. Межгодовые изменения параметров морской воды и концентрации хлорофилла-а в Японском море в осенний период // Метеорология и гидрология. 2014. № 8. С. 55 - 65.

3 Андреев А. Г. , И. А. Жабин. Мезомасштабные вихри и межгодовые изменения содержания хлорофилла "а" в водах Охотского моря // Вестник Дальневосточного отделения РАН. 2012. № 6. С. 65 - 71.

4. Андреев А. Г., И. А. Жабин. Влияние продолжения Аляскинского течения на динамику вод восточной части Охотского моря// Вестник Дальневосточного отделения РАН. 2015. -№ 2. 2015. С. 87 - 92.

1.2 Гидрохимические исследования прибрежных и эстуарных экосистем

Прибрежные экосистемы являются, как правило, высокопродуктивными акваториями, тем самым привлекают к себе внимание специалистов разного направления. Интерес к ним возрастает также в связи с тем, что в последние два десятилетия наблюдается экспоненциальный рост площади прибрежных акваторий, подверженных гипоксии или даже аноксии. Это явление рассматривается как новая глобальная проблема, вставшая в последние десятилетия перед человечеством [1,2]. Данная проблема связана с резким увеличением потока биогенных веществ в прибрежные акватории (эвтрофикация). Эвтрофикация интенсифицирует работу “биологического насоса”, предельной формой которого является “цветение” фитопланктона в верхнем слое водоема и микробиологическое формирование анаэробных условий (“мертвых зон”) в придонном слое. Установление механизмов формирования и разрушения “мертвых зон” открывают путь к рациональному природопользованию, созданию технологий, уменьшающих опасность возникновения “мертвых зон”.

Нами ранее установлено, что благодаря эвтрофикации и “цветению” фитопланктона в Амурском заливе (залив Петра Великого, Японское море) в летний сезон в придонном слое формируются анаэробные условия, которые приводят к гибели бентоса и рыб [3-5]. Уже в первых работах по изучению сезонной гипоксии придонных вод Амурского залива, нами была установлена важная роль рек впадающих в залив. Поэтому в отчетный период (2013 – 2016 гг) область исследования гипоксии была расширена на весь залив Петра Великого. В 2014 г. была выполнена комплексная океанологическая экспедиция по исследованию залива Петра Великого (рис. 1.2.1). Для отчетного периода были обнаружены дополнительные акватории с низким содержанием кислорода в придонном слое (рис. 1.2.2). Кроме того, особое внимание было уделено изучению эстуариев рек, впадающих в залив Петра Великого.

Необходимо отметить, что существуют высокопродуктивные бассейны, которые не испытывают прямого антропогенного стресса, как это имеет случай для залива Петра Великого (Японское море). К таким бассейнам относятся арктические моря, а также Охотское море. Особенно интересным является северо-западный шельф Охотского моря, который можно отнести к эстуарному бассейну. Для этой акватории в местах, прилегающие к впадению рек, не образуются области гипоксии или аноксии, эти акватории являются местами нагула китов, пищей которых является фитопланктон, зоопланктон (полярный кит) или зоопланктон, зообентос (серый кит). Именно к таким акваториям относятся две

эстуарные экосистемы: а) эстуарий р. Амур – Амурский лиман, с прилегающими акваториями, северо-восточный шельф о. Сахалин, Сахалинский залив, Татарский пролив; б) эстуарии рек Шантарского архипелага, с прилегающими акваториями – залив Николая, Ульбанский залив, Тугурский залив, Удский залив, куда впадают реки Сыран, Тором, Тугур, Уда, Ульбан, Усалгин.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Сезонная гипоксия Амурского залива. На основе подробных гидрохимических исследований, выполненных на протяжении 2008 года, была установлена сезонная гипоксия придонных вод центральной части Амурского залива, формирующаяся летом и исчезающая в осенне-зимний период.

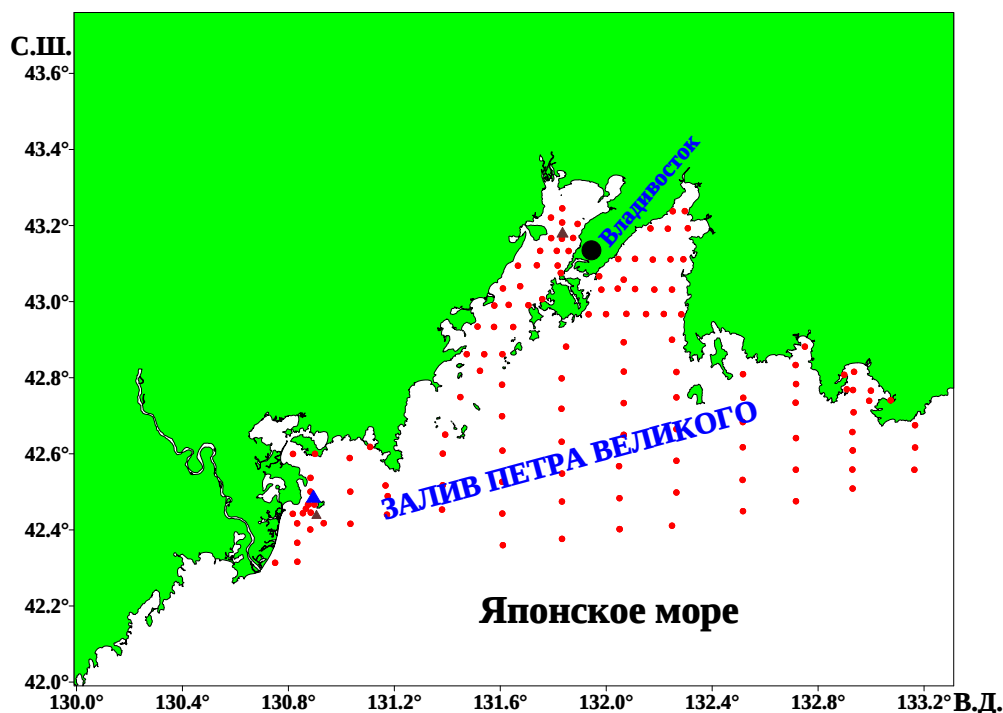


Рисунок 1.2.1 - Схема расположения выполненных гидролого-гидрохимических станций (красные кружочки); геохимических станций (коричневые треугольники) и станции WQM (синий треугольник) выполненных во время 62-го рейса на НИС «Профессор Гагаринский» в период с 26 августа по 6 сентября 2014 г.

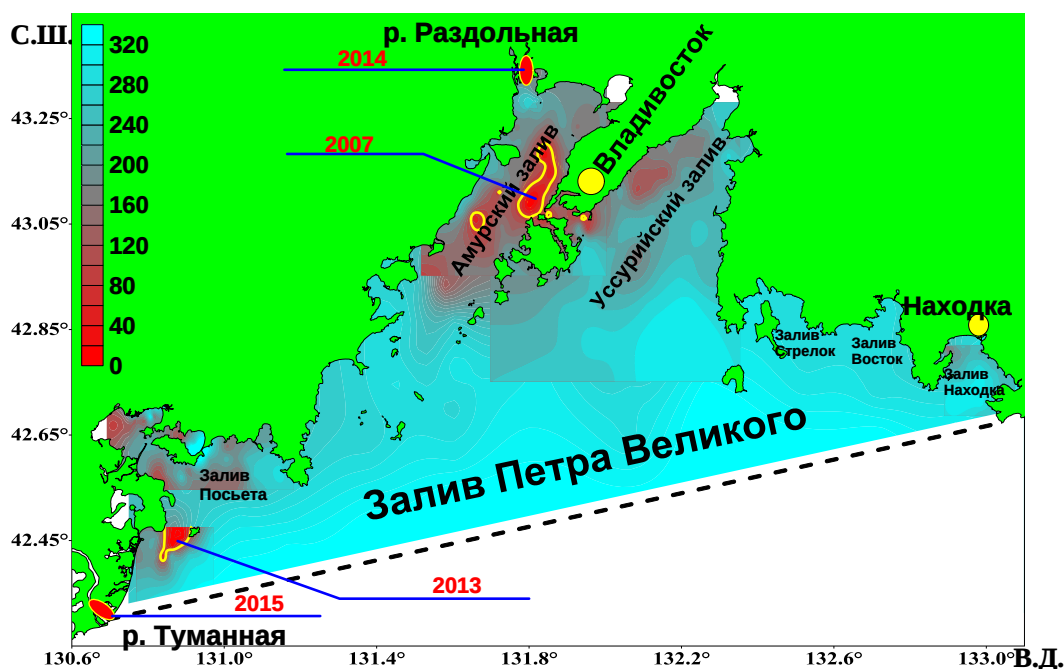


Рисунок 1.2.2 - Содержание кислорода в придонном слое залива Петра Великого в летний сезон. На рисунке указаны годы открытия гипоксии/аноксии.

Основной причиной формирования гипоксии является микробиологическое окисление “избыточной” биомассы диатомовых водорослей, осевших на дно Амурского залива в условиях слабой динамики вод и при низкой интенсивности фотосинтетически активной радиации. Образование “избыточной” массы фитопланктона обусловлено залповым характером эвтрофикации Амурского залива рекой Раздольной в паводковый период. Залповая эвтрофикация залива выводит его экосистему из стационарного состояния, вызывая “цветение” фитопланктона. Основная причина разрушения гипоксии – апвеллинг морских вод на шельф Амурского залива в осенний период [6,7].

Эвтрофикация залива Петра Великого. Концепция эвтрофикации (обогащение водной среды биогенными элементами) первоначально разрабатывалась для пресноводных водоемов. Увеличение содержания биогенных элементов в водоемах по мере их старения является естественным процессом, который происходил в природе всегда и продолжался обычно веками. Интенсификация сельского хозяйства и промышленности, а также урбанизация резко увеличили скорость эвтрофикации пресноводных водоемов, что привело к резко негативным последствиям: бурному «цветению» фитопланктона, падению прозрачности воды, понижению содержания кислорода в придонных водах, резкому падению биоразнообразия фауны. В работе Звалинского с сотрудниками [8] применена эта концепция для оценки уровня эвтрофикации залива Петра Великого, в которой предложены оценочные параметры эвтрофикации залива. Авторы работы пришли к выводу, что северо-западная часть Залива Петра Великого (Амурский залив) имеет текущий статус

эвтрофикации «Высокий» и «Возрастающий» по времени. Установлено, что большая часть акватории Уссурийского залива имеет статус эвтрофикации «Низкий» с не выявленным временным трендом. Также установлено, что большая часть акватории открытой части залива Петра Великого имеет статус эвтрофикации «Низкий» с не выявленным трендом.

Роль даунвеллинга/апвеллинга в формировании/разрушении сезонной гипоксии Амурского залива. Гидрологические данные, полученных во время экспедиций в августе 2012 и в августе 2013 гг., совместно с данными мониторинговой придонной гидрологической станции, позволили установить, что формирование и разрушение гипоксии придонных вод Амурского залива зависит от функционирования системы “даунвеллинг/апвеллинг”. Период формирования гипоксии соответствует даунвеллингу, когда доминируют южные и юго-восточные ветра. Разрушение гипоксии происходит в период апвеллинга, когда доминируют ветра северного и северо-западного направления. На основе предложенной модели сделан расчет скорости биохимического потребления кислорода (рис. 1.2.3) [9,10].

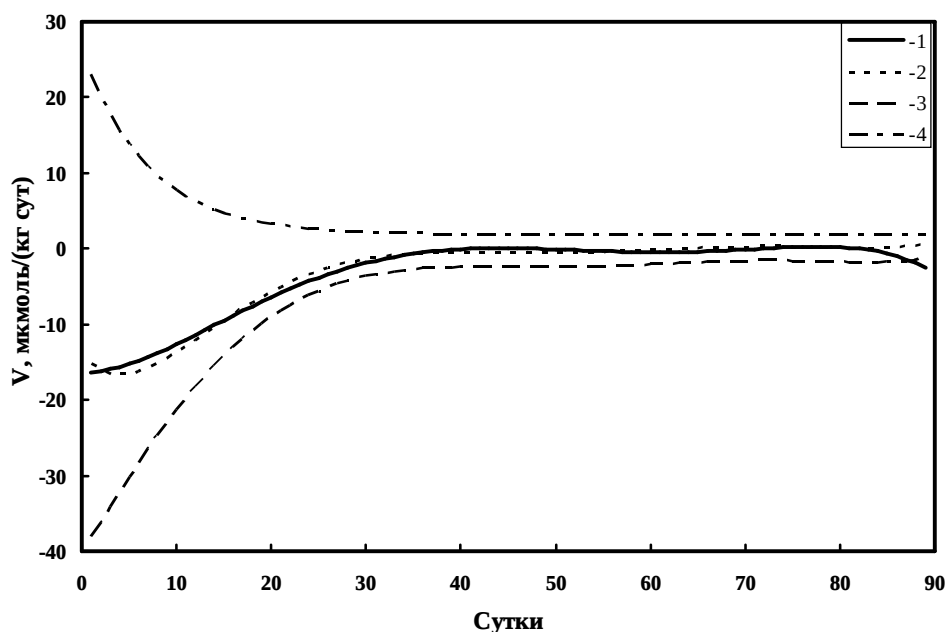


Рисунок 1.2.3 - Временная изменчивость скоростей изменения концентрации кислорода в воде: 1- общая скорость, измеренная с помощью мониторинговой гидрологической станции (WQM); 2 - общая скорость, рассчитанная с помощью модели; 3 – скорость биохимического потребления кислорода, рассчитанная из модели; скорость вентиляции вод, установленная из модели.

г. Парциальное давление углекислого газа поверхностных вод залива Петра Великого в осенний период. В период с 4 по 9 ноября 2009 г., с помощью ячейки без жидкостного

соединения в проточной системе, по ходу движения корабля, измерялись pH, температура и соленость в поверхностных водах залива Петра Великого. На основе этих измерений были рассчитаны парциальные давления углекислого газа ($p\text{CO}_2$) поверхностных вод, которые были ниже атмосферной величины и изменялись в диапазоне от 290 до 360 мклатм. Для расчетов использовались константы угольной кислоты, полученные в ячейке без жидкостного соединения для широкого диапазона соленостей (1.5 – 40) и температур (0 – 30) [11]. В исследуемый период воды залива Петра Великого являются стоком для атмосферного углекислого газа. Минимальные значения $p\text{CO}_2$ соответствуют теплой струе, входящей в залив с юго-западной стороны моря, а максимальные значения $p\text{CO}_2$ соответствуют области локального апвеллинга. Высказывается предположение, что формирование обнаруженных мезомасштабных структур является результатом горизонтальной конвекции вызванной дифференциальным охлаждением прибрежной акватории в осенний период [12].

д. Сезонная гипоксия дальневосточного морского биосферного заповедника. В августе 2013 года в южном районе Дальневосточного морского биосферного заповедника, в депрессии дна между островом Фуругельма и материком была обнаружена аноксия придонных вод, в которой зафиксирована гибель бентосного сообщества (рис. 5). Гидрохимическими исследованиями было установлено, что области отсутствия кислорода соответствует область аномально высоких концентраций аммония, фосфатов, силикатов, парциального давления углекислого газа, нормированной щелочности, а также присутствие сероводорода. Причиной развития аноксийных условий явилось микробиологическое разложение осевших на дно диатомей. В 2014 г., в период с 21 июня 2014 по 20 мая 2015 была установлена мониторинговая гидрологическая станция WQM (Water Quality Monitor) фирмы Wet Labs, оснащенная датчиками давления, температуры, электропроводности, кислорода. В течение одиннадцати месяцев, каждые три часа производилась запись датчиков. Результаты этой станции показали сезонный характер гипоксии. Причиной формирования гипоксии является микробиологическое разложение “избыточной” биомассы фитопланктона в отсутствии проникновения фотосинтетически активной радиации. Причиной разрушения гипоксии является осенний апвеллинг и зимняя конвекция. Средняя скорость формирования гипоксии равна – 6.6 мкмоль/(кг·сут). Общая площадь акватории, находящейся в условиях гипоксии составляла 15 – 20 км². Скорость разрушения гипоксии была 40 мкмоль/(кг·сут). [11,13,14].



Рисунок 1.2.4 - Жизнь и смерть возле острова Фуругельм (Дальневосточный морской биосферный заповедник, залив Петра Великого). **a** – Камни Михельсона; **b** – мертвый зообентос на дне залива в 2.5 км от камней Михельсона

Гидролого-гидрохимические исследования бухты Воевода. В 2011 и 2012 году были проведены сезонные гидролого-гидрохимические исследования в бухте Воевода. Всего за период исследований в акватории бухты было выполнено 140 станций для четырех сезонов (май, август, октябрь 2011 и февраль 2012). На основании гидрологических данных показано, что мористую часть и среднюю часть бухты Воевода (за исключением бухты Круглой), можно рассматривать как район со свободным обменом вод с водами Амурского залива. Этот обмен осуществляется за счет течения в поверхностном слое идущего вдоль южного побережья бухты в направлении кутовой части, и противоположного по направлению течения вдоль северного побережья. В бухте Мелководной ввиду специфики орографии береговой линии и действия речного стока, максимального в летний сезон, формируется замкнутая циркуляция циклонического типа. В результате этого в бухте Мелководной обмен вод с водами Амурского залива ослаблен и в ней формируются локальные особенности гидрохимических параметров. Концентрация кислорода и парциальное давление углекислого газа вод бухты Мелководной, во многом определяются направленностью баланса продукция/деструкция органического вещества. Особенность продукционно деструкционных процессов заключается в том, что органическое вещество синтезируют два источника: *Zostera marina* и диатомовые водоросли [15].

Суточная изменчивость гидрохимических характеристик вод Амурского залива. Впервые выявлена фундаментальная закономерность, характеризующая комплексный суточный химический режим морских вод. Показано, что относительные суточные вариации неконсервативных химических параметров увеличиваются с падением их

средних концентраций в диапазоне 10^2 – 10^{-4} мг/кг по степенному закону с показателем степени -0.32 ± 0.02 (N=102) (рис.1.2.5). Из закономерности следует, что высокие суточные флуктуации должны проявляться у веществ со средними концентрациями ниже 0.03 мг/кг. [16-18].

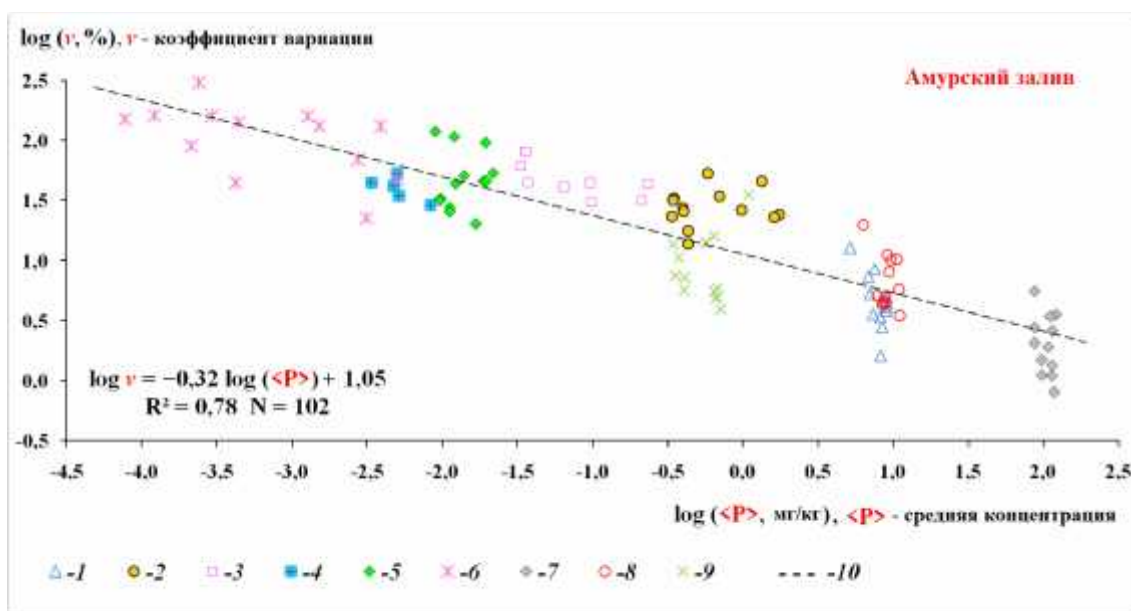


Рисунок 1.2.5 - Соотношение между средними значениями $\langle P \rangle$ и относительной суточной изменчивостью v химических показателей в Амурском заливе. 1 – растворенный кислород, 2 – неорганический растворенный кремний, 3 – азот аммонийный, 4 – азот нитратов, 5 – неорганический растворенный фосфор, 6 – азот нитритов, 7 – HCO_3^- -ион, 8 – CO_3^{2-} -ион, 9 – растворенный углекислый газ, 10 – линейная регрессия.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЭСТУАРИЕВ РЕК ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ

Цель исследований: на основе изучения распределения природных геотрассеров оценить влияние антропогенной деятельности на качество речных вод и выявить закономерности трансформации вещества в областях смешения пресных и соленых вод Приморского края.

В качестве природных геотрассеров выбраны параметры основного солевого состава (ОСС) и редкоземельные элементы (РЗЭ). Исследования ОСС и РЗЭ с целью выяснения механизмов формирования химического состава речных вод широко обсуждаются в литературе. В экологическом отношении реки Приморского края являются уникальным объектом исследований, поскольку они имеют низкую способность к самоочищению из-за особенностей гидрологического режима и малой протяженности.

В качестве объектов исследования были выбраны эстуарии восьми разнопорядковых рек, расположенных в различных гидрогеологических областях юга Приморья. Суммарная площадь водосбора рек равна 15 % площади Приморского края (табл. 1.2.1, рис. 1.2.6).

Таблица 1.2.1 - Краткая характеристика изученных рек

Область	Река	Площадь бассейна, км ²	Средний расход, м ³ /с
II	Цукановка	170	3,9
	Гладкая	458	2,5
I-B	Амба	242	6,1
	Раздольная	16800	71,9
III-B	Кневичанка	476	3,4
	Артемовка	1460	9,2
	Шкотовка	714	7,0
	Партизанская	4140	42

Примечание. Реки южной части Приморья изучались в трех гидрогеологических областях: Маньчжурской (I); Южно-Приморской (II) и Южно-Сихотэ-Алинской (III)

Пробы воды для определения ОСС были отобраны в эстуарии каждой реки 4 раза в год с 2011 по 2015 гг. в наиболее значимые гидрологические режимы: зимнюю межень (январь–март), весенний паводок (май), летнюю (июль–август) и осеннюю межень (сентябрь–октябрь). В 2013 г. было проведено комплексное изучение ОСС и РЗЭ в речных водах для выявления антропогенной нагрузки на бассейны рек юга Приморья. Концентрации макро ионов (Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) были измерены методом ионно-обменной хроматографии (Shimadzu LC-20A), РЗЭ – масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой (Thermo Finnigan Element 2). pH измеряли потенциометрическим методом, общую щелочность (ТА) анализировали прямым титрованием по методу Бруевича, общая минерализация речной воды (Σn) определялась как сумма вкладов макро ионов.

В ходе проведенных исследований был изучен гидрохимический режим эстуариев двух наиболее крупных рек южного Приморья: р. Раздольной (Амурский залив, Японское море) и р. Партизанской (залив Находка, Японское море). Сезонные исследования ОСС в водах эстуария р. Партизанской показали, что на фоне ярко выраженного сезонного изменения Σn соотношения между главными ионами в устьевой части реки не изменялись.

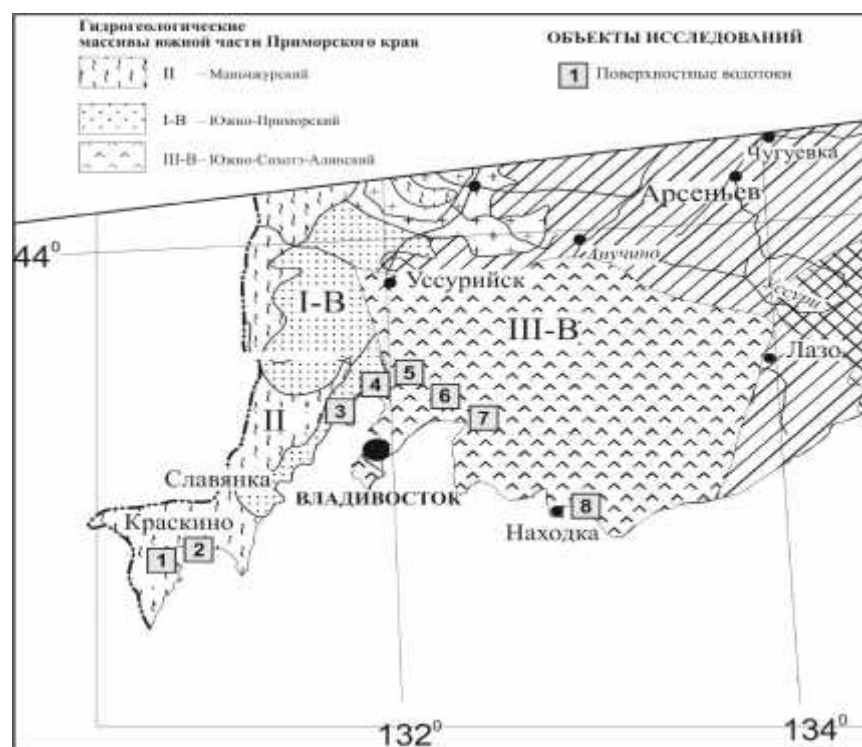


Рисунок 1.2.6 - Карта-схема гидрогеологического районирования (по данным А.Н. Челнокова, 1994) и объектов исследования. Поверхностные водотоки южной части Приморья изучались в трех областях: II – Маньчжурская область (1 – р. Цукановка; 2 – р. Гладкая); I-V – Южно-Приморская область (3 – р. Амба; 4 – р. Раздольная); III-V – Южно-Сихотэ-Алинская область (5 – р. Кневичанка; 6 – р. Артемовка; 7 – р. Шкотовка; 8 – р. Партизанская)

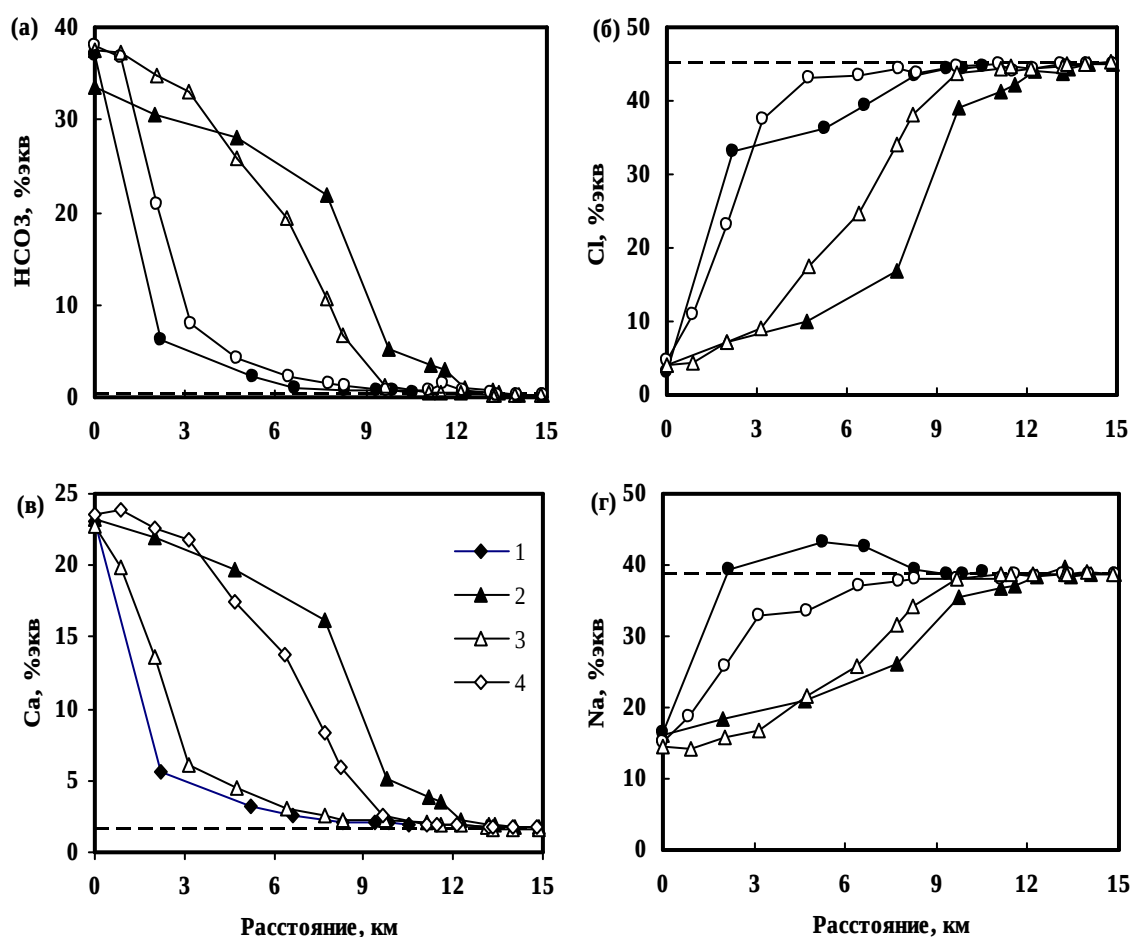


Рис. 1.2.7 - Распределение относительной концентрации HCO_3^- (а), Cl^- (б), Ca^{2+} (в) и Na^+ (г) ионов в водной колонке эстуария реки Партизанской на разрезах река-море.

1, 2, 3, 4 – январь, май, июль и сентябрь 2012г., соответственно. Пунктирной линией показано содержание в морской воде

Таким образом, роль антропогенного фактора в трансформации главных ионов в эстуарии реки на разрезах река-море в исследуемый период была минимальной. При смешении речных и морских вод в эстуарии происходила смена типа воды с кальциево-гидрокарбонатного на натриево-хлоридный (рис. 1.2.7). Установлено, что смешение речных и морских вод в эстуарии р. Партизанской имеет консервативный характер [19].

Результаты сезонных гидрохимических исследований ОСС эстуария реки Раздольной позволили установить высокую изменчивость солевого состава, обусловленную сезонным изменением водности реки. Установлено, что основные химические компоненты речной воды при смешении речных и морских вод ведут себя консервативно, за исключением гидрокарбонат иона (рис.1.2.7), что обусловлено его участием в кислотно-основном равновесии. Для весеннего сезона обнаружен существенный вклад в солевой баланс анионов слабых органических кислот. Значимое влияние речной воды на солевой состав эстуарных вод прослеживается до солености 1, выше которой эстуарные воды можно рассматривать как разбавленную морскую воду [20].

Изучение световых условий и условий обеспечения биогенными веществами, как факторов формирования первичной продукции (ПП) эстуария реки Раздольной было проведено в период ледостава. Показано, что в период январь-февраль величину ПП эстуария лимитирует интенсивность солнечной радиации. Первичная продукция начинает формироваться в районе бара, что проявляется ростом содержания хлорофилла и кислорода. При смешении речных и морских вод при солености 5 ‰ и выше происходит интенсивное извлечение из среды неорганических форм фосфатов (DIP). Вследствие этого в интервале солености 5-20 ‰ наблюдается аномально высокое отношение неорганических форм азота (DIN) к фосфору, достигающее значений $\text{DIN:DIP} \approx 200$. Проведена оценка величины ПП эстуария р. Раздольной на основании данных о световых условиях и по извлечению из среды биогенных веществ. Оценки ПП двумя путями близки между собой и в разных местах эстуария могут составлять от «0» до 500 мг С/(м²день). При этом в речной части эстуария величина ПП близка к «нулю». Ледяной и снежный покровы являются факторами дополнительного лимитирования ПП светом [21]. Также было изучено содержание органического углерода во взвеси воды и в верхнем слое осадков эстуария р. Раздольной в период ледостава (02.2010 г.). Показано, что 30% от среднего содержания общего органического углерода во взвеси составляли гуминовые вещества и 14% – фитопланктон.

Впервые спектрофотометрически определена концентрация гуминовых веществ во взвеси. По содержанию хлорофилла_а рассчитана концентрация углерода, производимого фитопланктоном. В верхнем слое осадка измерены содержания органического углерода, гуминовых веществ и хлорофилла_а. Показано, что с увеличением солености воды до 23‰ соотношение этих трех компонентов заметно не изменялось. Степень гумификации в осадках составляла около 52%. Концентрация органического углерода в осадке была ниже, чем во взвеси, почти на порядок, а доля легко усвояемого (не гумифицированного) углерода – ниже вдвое [22].

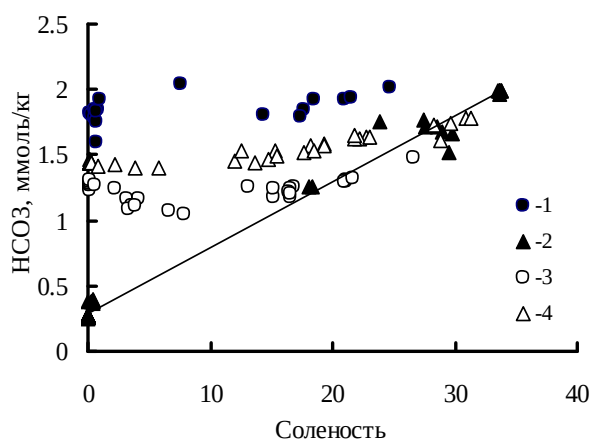


Рисунок 1.2.8 - Зависимость концентрации гидрокарбонатных ионов (HCO_3^-) от солености в эстуарии реки Раздольной. 1, 2, 3, 4 – февраль, май, август и октябрь 2011г., соответственно. Сплошной линией показана линейная регрессия экспериментальных данных, полученных в мае ($[\text{HCO}_3^-] = 0.0504 \times S + 0.287$, $R^2=0.99$).

Комплексное изучение ОСС и РЗЭ в реках Приморья, впервые проведенное нами в 2013 г., показало, что параметры ОСС и РЗЭ являются индикаторами экологического состояния речных вод и могут применяться в системе мониторинга за водными объектами в качестве природных геотрассеров.

В 2013 г. обнаружено усиление роли антропогенного фактора в трансформации главных ионов в водах рек Кневичанки, Раздольной и Артемовки. Усиление антропогенной нагрузки на бассейны этих рек в период их максимального расхода проявляется в увеличении более чем в 2 раза доли сульфат ионов, что связано со сжиганием топлива в зимний сезон, бытовыми и канализационными стоками. Увеличение количества растворенных солей до 450 мг/л в бассейне р. Кневичанка в период минимального расхода реки (по сравнению со среднегодовыми значениями рек южного Приморья, не превышающими 100–150 мг/л) обусловлено воздействием муниципальных стоков г. Артема и его окрестностей. Региональный уровень концентраций РЗЭ в изученных водах изменяется от 0,16 до 2,72 мкг/л при интервале колебаний в водах отдельных рек от 0,20 до 0,56 мкг/л.

Наиболее высокие концентрации РЗЭ характерны для рек, водосборные бассейны которых расположены в пределах Южно-Приморской области. Наиболее низкие концентрации РЗЭ отмечены в водах Маньчжурской гидрогеологической области.

Повышенные содержания растворенных РЗЭ редкоземельных элементов и растворенных солей в поверхностных водах рек Раздольной, Артемовки, Кневичанки и Шкотовки определяется антропогенной нагрузкой на бассейны этих рек в исследуемый период. В летний сезон 2011 г. исследованы продукционные и гидрохимические характеристики эстуариев рек Артемовка и Шкотовка. В отличие от эстуария р. Шкотовки, высокая степень эвтрофирования р. Артемовки и благоприятное сочетание гидрологических и гидрохимических условий на момент исследования обеспечили высокую интенсивность продукционных процессов (концентрация хлорофилла *a* достигала 200 мкг/л, пересыщение по кислороду было более чем в два раза, рис. 1.2.9), Парциальное давление углекислого газа для этих вод уменьшилось до 25 мкатм. [23].

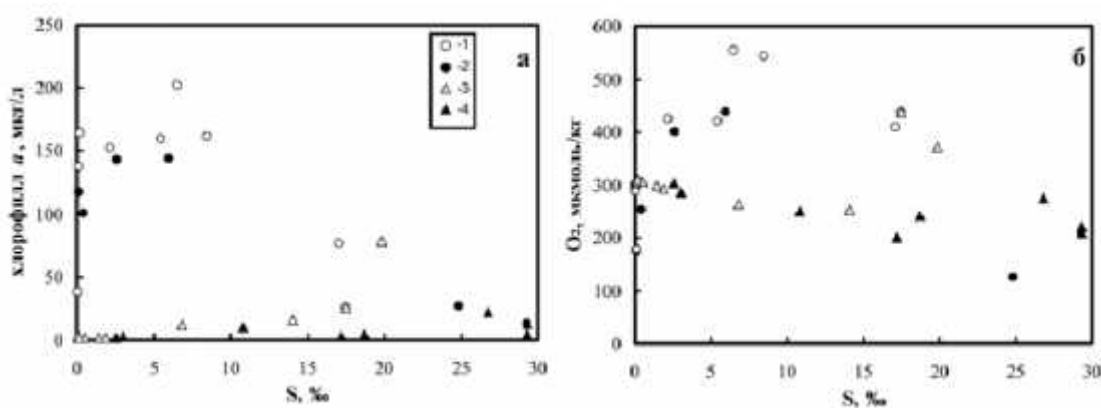


Рисунок 1.2.9 - Изменение концентраций в зависимости от солености: а – хлорофилла *a*; б – O_2 в эстуариях рек Артемовки (1 – поверхностный, 2 – придонный горизонты) и Шкотовки (3 – поверхностный, 4 – придонный горизонты).

ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АМУРСКОГО ЛИМАНА

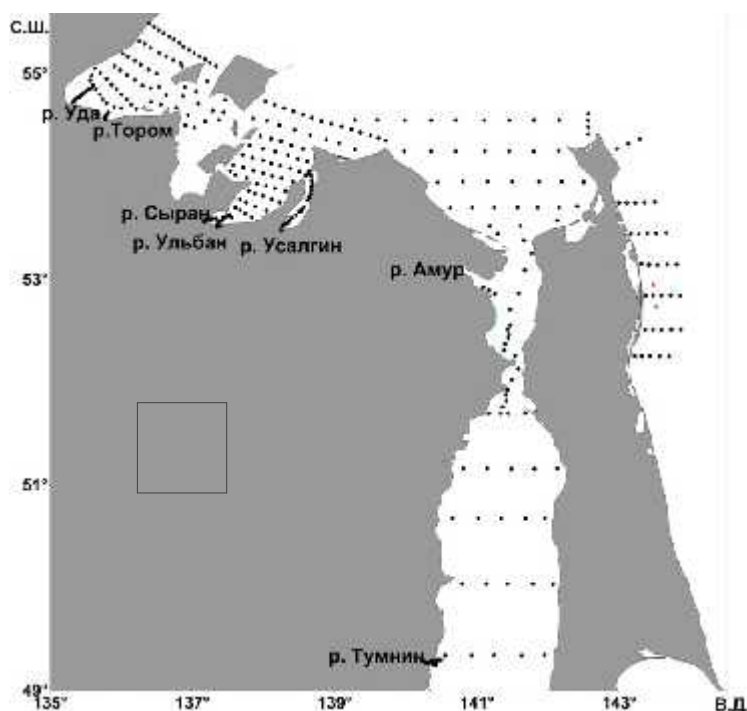


Рисунок 1.2.10 - Схема работ экспедиции рейса №71 НИС “Профессор Гагаринский”, 01 июля – 12 Августа, 2016 г.

Исследован качественный состав планктонных микроводорослей в Амурском лимане Охотского моря в июле 2005 г., в июне 2006 и 2007 гг. Впервые изучены плотность и биомасса фитопланктона в лимане. Средняя плотность микроводорослей варьировала в пределах 194.7–855.1 тыс. кл/л, при этом в 2006 г. плотность клеток была выше, чем в 2005 и 2007 гг. В среднем биомасса сообщества изменялась от 1.06 г/м³ в 2007 г. до 3.17 г/м³ в 2006 г. Анализ сходства видового состава и плотности фитопланктона позволил выявить две группы станций. В первую группу вошли станции, расположенные в северной и центральной частях Амурского лимана, во вторую – в южной и центральной частях. Для первой группы станций характерно доминирование пресноводных диатомовых и массовое развитие зеленых и синезеленых водорослей; для второй группы – преобладание морских микроводорослей. Показано, что высокие плотность и биомасса микроводорослей обусловлены повышенным содержанием в среде биогенных элементов, доставляемых в лиман р. Амур [24].

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА

На примере Евразийского сектора Арктики рассмотрено влияние речного стока на содержание углекислого газа в поверхностной структурной зоне. Показано, что поверхностные воды атлантического происхождения, поступающие в Арктический бассейн, изначально ненасыщены CO₂. Эти воды определяют гидрохимические характеристики

котловины Нансена и прилегающего к ней материкового склона. По этой причине данный район является областью стока атмосферного углекислого газа.

Восточнее хребта Ломоносова поверхностная структурная зона Арктического бассейна пересыщена CO_2 . Пересыщение обусловлено окислением органического вещества ($\text{C}_{\text{орг}}$), поступающего с речным стоком, направленным преимущественно в восточном направлении. Важную роль в пересыщении CO_2 этого района играет тот факт, что реминерализация $\text{C}_{\text{орг}}$, созданного в процессе фотосинтеза, происходит в поверхностной структурной зоне. Показано, что "след" рассматриваемых процессов проявляется далеко за пределами области непосредственного влияния речного стока, достигая северо-восточной части котловины Амундсена. Определенный вклад в пересыщение восточной части Арктического бассейна вносит поступление беринговоморских вод [25-27].

МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ РОСТА ФИТОПЛАНКТОНА

Проанализированы наиболее распространенные в литературе модели фотосинтеза и роста морского фитопланктона. Предложен новый подход к моделированию и на его основе получены новые модели фотосинтеза и роста морского фитопланктона. Особенностью предлагаемых моделей является их способность к описанию полисубстратных сопряженных циклических взаимодействий, характерных для биохимических и физиологических процессов. В первом приближении математические модели представляют собой уравнения прямоугольной гиперболы. Модели описывают стехиометрию извлечения элементов из среды, независимо от степени их лимитирования. Стехиометрия извлечения биогенных элементов определяется внутренними измеряемыми параметрами организма (субстратные параметры) [28].

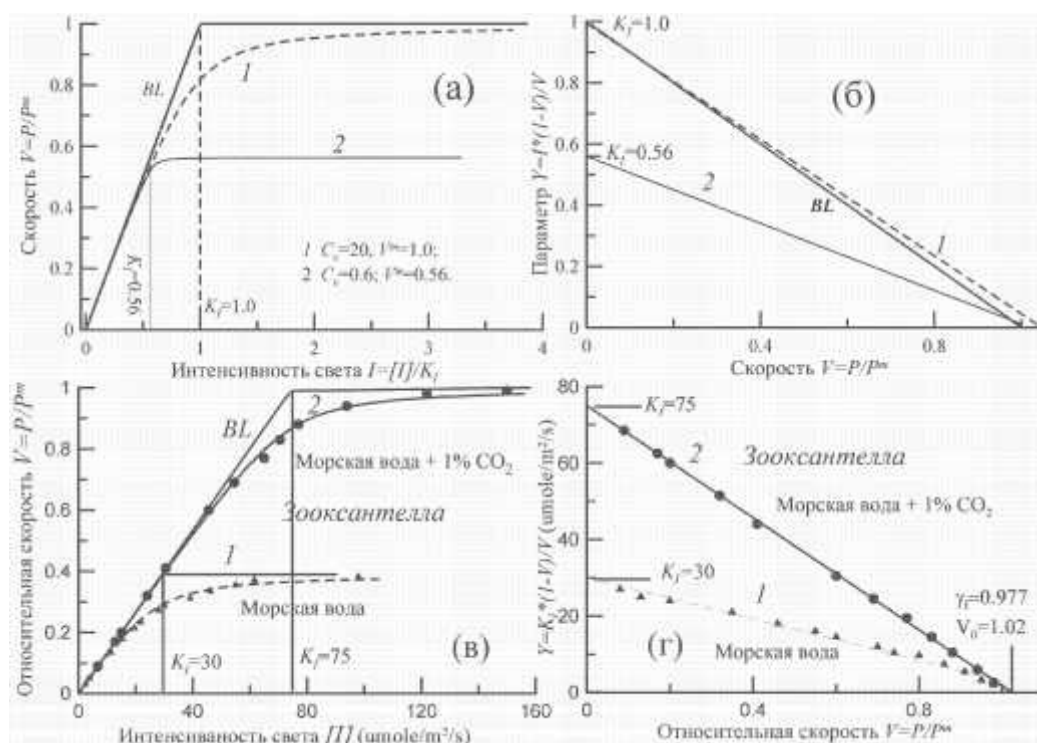


Рисунок 1.2.11 - Теоретические (а-б) и экспериментальные (в-г) кривые световой зависимости фотосинтеза P при различной концентрации углекислоты (соотношение (15а)): (а, в) – в обычных, (б, г) – в спрямляющих координатах. Световые кривые измерены в обычной морской воде и в морской воде, насыщенной воздухом с 1% CO_2 (рис. в, г, кривые 1 и 2 соответственно).

Список использованных источников

1. Звалинский В.И., Тищенко П.П., Михайлик Т.А., Тищенко П.Я. Эвтрофикация Амурского залива // В кн.: Современное экологическое состояние залива Петра Великого. Японское море. Владивосток, Издательский дом ДВФУ, 2012, с.76-113.
2. Тищенко П.Я., Сергеев А.Ф., Лобанов В.Б., Звалинский В.И., Колтунов А.М., Михайлик Т.А., Тищенко П.П., Швецова М.Г. Гипоксия придонных вод Амурского залива // Вестник ДВО РАН. 2008. №6. С. 115-125.
3. Тищенко П.Я., Лобанов В.Б., Звалинский В.И. и др. Сезонная гипоксия Амурского залива (Японское море) // Изв. ТИНРО. 2011. Т. 165. С.108–129.
4. Diaz, R.J., and R. Rosenberg. Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. Science, 2008. V. 321. P. 926-929.
5. Breitburg, D.L., D.W. Hondorp, L.A. Davias, R.J. Diaz. Hypoxia, nitrogen, and fisheries: Integrating effects across local and global landscapes. Annual Review of Marine Science, 2009. V. 1, 329 – 349.

6. Тищенко П.Я., Михайлик Т.А., Тищенко П.П., Швецова М.Г., Шкирникова Е.М., Колтунов А.М., Сергеев А.Ф., Звалинский В.И. Особенности гидрохимических характеристик вод Амурского залива в июле 2008 г. // ВОДА: ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ. - Москва: ООО Издательский дом "БИБЛИО-ГЛОБУС", 2013. № 9. стр. 3–10. p-ISSN: 2072-8158.

7. Tishchenko P. Ya., Lobanov V. B., Zvalinsky V.I., Sergeev A.F., Koltunov A., Mikhailik T.A., Tishchenko P.P., Shvetsova M.G., Sagalaev S., and Volkova T.I. Seasonal Hypoxia of Amursky Bay in the Japan Sea: Formation and Destruction // Terr. Atmos. Ocean. Sci., 2013, Vol. 24, № 6, pp. 1033-1050. p-ISSN: 1017-0839.

8. Звалинский В.И., Тищенко П.П., Михайлик Т.А., Тищенко П.Я. Эвтрофикация зал. Петра Великого // Океанологические исследования дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана: в 2 кн. Владивосток: Дальнаука, 2013. Кн. 1. С. 260-293.

9. Тищенко П.П., Тищенко П.Я., Звалинский В.И., Семкин П.Ю. Скорость биохимического потребления кислорода при формировании гипоксии в Амурском заливе (Японское море) // ДАН, 2014, Т. 459, № 6, С. 750-754.

10. Тищенко П.П., Тищенко П.Я., Лобанов В.Б., Сергеев А.Ф., Семкин П.Ю. Роль даунвеллинга/апвеллинга в формировании/разрушении гипоксии придонных вод Амурского залива (Японское море) // Известия ТИНРО, 2015. Т. 183.

11. Tishchenko P., Ivin V., Stunzhas P. Anoxia in the Far Eastern Marine Biosphere Reserve (Peter the Great Bay) // IMBERNews, 2014, № 26, P.21-22.

12. Тищенко П.Я., Лобанов В.Б., Гуленко Т.А., Недашковский А.П., Попов О.С., Сагалаев С.Г., Тищенко П.П., Чичкин Р.В. Парциальное давление диоксида углерода в поверхностных водах залива Петра Великого в осенний период // Метеорология и гидрология. 2012. № 12. С. 77–87. ISSN 0130-2906.

13. Стунжас П.А., Тищенко П.Я., Ивин В.В., Барабанщиков Ю.А., Волкова Т.И., Вышкварцев Д.И., Звалинский В.И., Михайлик Т.А., Семкин П.Ю., Тищенко П.П., Ходоренко Н.Д., Швецова М.Г., Головченко Ф.М. Первый случай аноксии в водах Дальневосточного морского заповедника // ДАН, 2016. Т. 467. № 2. С. 218-221.

14. Тищенко П.Я., Стунжас П.А., Ивин В.В., Тищенко П.П., Семкин П.Ю., Михайлик Т.А., Барабанщиков Ю.А. Сезонная гипоксия вод Дальневосточного морского заповедника // Системы контроля окружающей среды, 2016. № 3 (23). С. 124-129.

15. Барабанщиков Ю.А., Тищенко П.Я., Семкин П.Ю., Звалинский В.И., Михайлик Т.А., Сагалаев С.Г., Сергеев А.Ф., Тищенко П.П., Швецова М.Г., Шкирникова Е.М. Сезонные гидролого-гидрохимические исследования бухты Воевода (Амурский залив, Японское море). Известия ТИНРО, 2015. Т. 180, С. 161–179.

16. Шевцова О.В. Степенные соотношения суточной изменчивости и среднесуточных значений гидрохимических показателей // Актуальные проблемы современной науки. 2013. № 3. С. 312–317.
17. Шевцова О.В. Связь суточной изменчивости и среднесуточных концентраций гидрохимических показателей в прибрежной зоне моря // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 2. С. 192–205. DOI: 10.7868/S0321059613010082.
18. Шевцова О.В. Рост относительной суточной изменчивости в системе гидрохимических показателей в Амурском заливе Японского моря // ДАН. 2015. Т. 460. № 2. С. 220–223.
19. Павлова Г.Ю., Тищенко П.Я., Семкин П.Ю., Шкирникова Е.М., Михайлик Т.А., Барабанщиков Ю.А. Гидрохимический режим эстуария реки Партизанской (залив Находка, Японское море) // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 4, с. 396–405.
20. Павлова Г.Ю., Тищенко П.Я., Михайлик Т.А., Семкин П.Ю., Тищенко П.П., Шкирникова Е.М. Гидрохимический режим эстуария реки Раздольной (Амурский залив, Японское море) // Вода : химия и экология. 2014. № 12. С. 16–25.
21. Звалинский В.И., Марьяш А.А., Тищенко П.Я., Сагалаев С.Г., Тищенко П.П., Швецова М.Г., Чичкин Р.В., Колтунов А.М. Продукционные характеристики эстуария Раздольная в период ледостава // Изв. ТИНРО, 2016. Т. 185. С. 155–174.
22. Марьяш А. А., Ходоренко Н. Д., Звалинский В. И., Тищенко П. Я. Органический углерод в эстуарии реки Раздольная (Амурский залив, Японское море) в период ледостава // Геохимия, 2015, № 8, с. 734–742.
23. Семкин П.Ю., Тищенко П.Я., Ходоренко Н.Д., Звалинский В.И., Михайлик Т.А., Сагалаев С.Г., Степанова В.И., Тищенко П.П., Швецова М.Г., Шкирникова Е.М. Продукционно-деструкционные процессы в эстуариях рек Артемовка и Шкотовка (Уссурийский залив) в летний сезон // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 3, с. 311–321.
24. Шевченко О.Г., Селина М.С., Орлова Т.Ю., Морозова Т.В., Стоник И.В., Звалинский В.И., Тищенко П.Я. Фитопланктон Амурского лимана (Охотское море) в летние периоды 2005–2007 годов // Биология моря. - Москва: Издательство "Наука", 2013. Т. 39. № 2. стр. 85–97. ISSN 0134–3475.
25. Недашковский А.П., Лесенков С.Б. Изменчивость парциального давления CO_2 в поверхностной структурной зоне в Евразийском секторе Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики 2014. № 3 (101). С. 37–47.
26. Недашковский А.П., Бондарева Е.П. Аномалия концентрации CO_2 на поверхностном горизонте в Арктическом бассейне летом 2007 г. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2014. № 4. С. 43–48.

27. Недашковский А.П. Изменчивость фосфатов, силикатов и неорганического углерода в морском льду в отсутствие атмосферных выпадений // Океанологические исследования дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана: в 2 кн. Владивосток: Дальнаука, 2013. Кн. 1. С. 309-318.

28. Звалинский В.И., Тищенко П.Я. Моделирование фотосинтеза и роста морского фитопланктона // Океанология, 2016, т. 56, № 4, С. 577-591.)

1.3 Экохимическая океанология прибрежной зоны ДВ морей России

Введение

В последнее время резко возросла хозяйственная деятельность человека, воздействующая на прибрежные морские экосистемы. Развитие промышленности и сельского хозяйства ведет к резкому увеличению отходов, большинство из которых неблагоприятно и часто летально воздействует на биоту. Большая их часть с реками, атмосферными осадками и другими путями сносится в моря и океаны, нарушая их экосистемы и изменяя биотический баланс. Прибрежные зоны морей и океанов, где сосредоточена основная хозяйственная деятельность человека, в первую очередь подвержены длительному воздействию разнообразных антропогенных факторов, в том числе загрязнения. Сложное взаимодействие биогеохимических и гидродинамических процессов приводит к концентрации основной массы загрязняющих веществ в донных отложениях и придонном слое воды. Современные донные осадки прибрежной зоны являются конечным этапом миграции загрязняющих веществ, поступающих с суши и из атмосферы. Биота может воздействовать на дальнейшую судьбу многих загрязнителей, способствуя их удалению - поглощая и разлагая (органические соединения) или преобразовывая (металлы и другие). Однако, с одной стороны, чрезвычайная токсичность некоторых соединений может ухудшать общую способность сообщества к их детоксикации, с другой стороны, накопление соединений, плохо разлагающихся в среде или преобразующихся в более токсичные формы, может изменять структуру и функции донных сообществ.

В последние годы в спектре хозяйственной деятельности в прибрежных зонах, в т.ч. России и приграничных ей государств, все большее значение приобретает разработка и добыча нефти, газа и минеральных ресурсов, интенсифицируется судоходство. Эти факторы в совокупности с хроническим поступлением загрязняющих веществ с речными и материковыми стоками, сбросами коммунально-бытовых и промышленных вод приводят к нарастанию концентраций устойчивых загрязняющих веществ не только в прибрежных, но и открытых районах внутренних и полузамкнутых морей. Природные экосистемы начинают испытывать антропогенное воздействие, которое ведет к нарушению функционирования экосистем и сокращению численности видов. В этих условиях снижение продуктивности и видового разнообразия на нижних трофических уровнях, связанное с изменением физико-химических характеристик среды, неизбежно влечет ухудшение условий обитания для морских обитателей верхнего трофического уровня – морских млекопитающих. Такие изменения могут носить необратимый характер и приводить к частичной и полной деградации морских экосистем.

Работы по оценке антропогенного воздействия на экосистемном уровне имеют первостепенное и фундаментальное значение. Все организмы, входящие в состав сообщества в той или иной степени участвуют в преобразовании или разрушении поступающих соединений. Это сложный процесс, определяемый, прежде всего, типом питания организмов. Хроническое загрязнение прибрежных акваторий токсичными соединениями (соли тяжелых металлов, нефтеуглеводороды и др.) вызывает изменение гидрохимических условий среды обитания и, как следствие, приводит к разрушению природной структуры экосистемы.

При относительной изученности шельфовых районов дальневосточных морей, в настоящее время знание механизмов и количественной стороны изменчивости, существующей на разных трофических уровнях, даже в межгодовом и сезонном масштабе, далеко недостаточно для адекватного понимания динамики экосистем и причин изменения продуктивности на высших уровнях трофической цепи, в том числе продукции промысловых организмов. Все эти вопросы непосредственно касаются, прежде всего, состояния и динамики биоресурсов. Последние же, в свою очередь, определяются как изменчивостью естественных (гидрохимических, гидрофизических и биогеохимических) условий среды, так и интенсивностью антропогенного воздействия (промысловый пресс, загрязнение и др.). В конечном счете, все это отражается на состоянии сырьевой базы рыболовства.

Именно это и определяет необходимость непрерывного научного изучения состояния морских экосистем, причем с биогеохимических позиций. Последние включают в себя изучение геохимических, гидрохимических, седиментологических и гидробиологических особенностей экосистем. Поскольку в морской среде на устойчивость и состояние экосистем оказывает влияние значительное число факторов, исследования в этой среде должны носить комплексный характер.

Поэтому, комплексное изучение закономерностей функционирования морских экосистем и их устойчивости к внешним воздействиям, таким как хозяйственная деятельность или естественная изменчивость среды, является одной из центральных задач современной науки об океане. Подобные работы по изучению абиотических и биотических составляющих и оценке антропогенного воздействия на различных уровнях структурно-функциональной организации имеют первостепенное и фундаментальное значение.

Данный отчет сформирован на основе исследований широкого круга специалистов ТОИ ДВО РАН в области гидрохимии, биогеохимии и экологии, отражающие различные стороны многообразных процессов, протекающих в отдельных регионах дальневосточных морей. Результаты исследования могут быть использованы при оценке современного состояния и позволяют сделать научный прогноз развития тихоокеанского региона России.

Расчет полей течений и переноса примесей на акватории Охотского моря и прилегающих районов Тихого океана

Существует несколько основных сил, вызывающих морские течения, - ветровые, градиентные и приливные силы. В соответствии с ними морские течения делят на ветровые, градиентные и приливные. Все виды течений могут существовать в одной и той же точке одновременно. Это приводит к усложнению математического описания динамики вод, а чаще всего к неразрешимости уравнения течения. Дрейфовое течение быстро затухает с глубиной. Толщина слоя проникновения ветрового течения называется экмановским слоем трения и имеет порядок 10-100м. В результате влияния берегов и неравномерного действия сил трения ветра в морской воде образуются наклоны изобарических поверхностей, вызывающие градиентное течение. Градиентное течение обладает большой инерцией – медленно развивается и медленно затухает. Вообще говоря, природа градиентных течений различна. В рассмотренном выше случае горизонтальный градиент давления имел чисто ветровое происхождение. Но горизонтальный градиент давления может возникать в толще воды за счет неравномерного распространения атмосферного давления – бароградиентные течения, а также за счет изменения температуры или солености - плотностные течения. В других случаях градиентные течения обусловлены стоком рек – стоковые течения. Приливные течения характеризуют динамику водных масс, взаимодействующих с массой Земли, Луны и Солнца. Природа течений в этом случае обусловлена действием гравитационных сил притяжения.

По сравнению с работой [12] в качестве базовой модели расчета полей течений была использована Princeton Oceanic Model, которая находится в открытом доступе в Интернете [20]. Это трехмерная нестационарная, нелинейная численная модель. Она учитывает плотностные течения $u_{den}(x, y, t)$ и ветровые течения $u_w(x, y, t)$. Кроме этого в расчете были учтены приливо-отливные течения $u_{tide}(x, y, t)$ и турбулентные течения $u_d(x, y, t)$. Общая формула расчета горизонтальных составляющих течений выражена формулой (1.1):

$$u_{total} = \{u_{den}(x, y, t) + u_w(x, y, t) + u_{tide}(x, y, t) + u_d(x, y, t)\} \quad (1.1)$$

Расчет полей течений для северо-западной части Тихого океана включая Японское и Охотское моря был проведен на сетке 15*20 км². Шаг по времени составлял 10 мин. На рисунке 1.3.1 приведена карта расчетной области с распределением глубин и

расположения метеостанций, на которых были определены основные метеопараметры, такие как, скорость и направление ветра, атмосферное давление, влажность и температура воздуха.

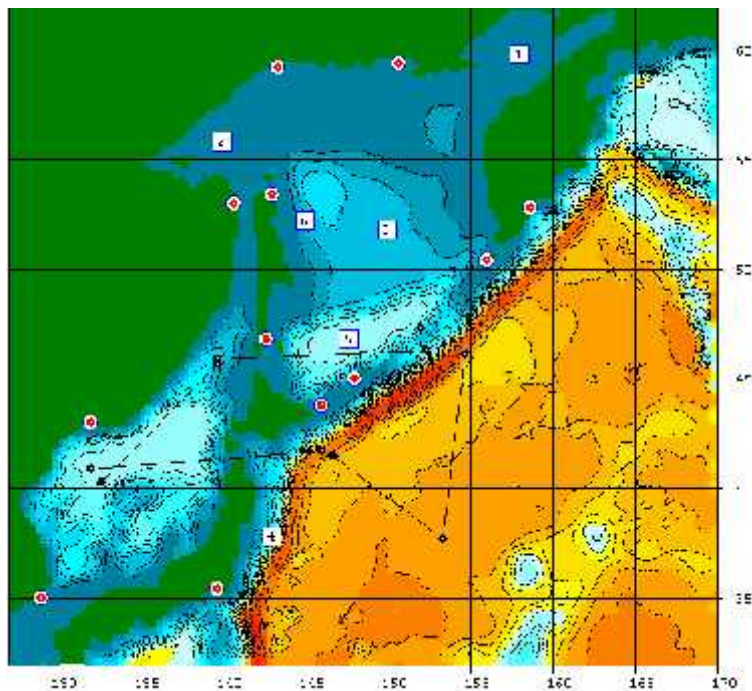


Рисунок 1.3.1 - Карта области расчетов полей течений и распределения примесей (белые кружки – метеостанции, квадратики с цифрами – выбранные точки для построения изменения расчетных параметров во времени, черные линии – разрезы, выполненные во время рейса в июне 2012 года).

Каждые 3 часа в расчет вводились новые экспериментальные значения метеопараметров, которые для Японского и Охотского морей интерполировались в узлы расчетной сетки, а на акватории северо-западной части Тихого океана экстраполировались в узлы расчетной сетки. Начальные значения распределения температуры и солёности были взяты из электронных атласов [20]

Представленная модель решается численно. Результаты расчета полей течений в узлах сетки осредняются за 3 часа и заносятся в массив поля течений, который затем используется для расчета распространения маркеров на акватории.

Расчет перемещения маркеров в декартовой системе координат проводится по формуле (1.2). В качестве маркеров рассматривались растворенные в морской воде радионуклиды, которые не влияют при данных концентрациях на физико-химические свойства морской воды и переносятся вместе с водной массой.

$$\frac{dx}{dt} = \{u_{den}(x, y, t) + u_w(x, y, t) + u_{tide}(x, y, t) + u_d(x, y, t)\} \quad (2)$$

Для получения характеристик приливных течений был использован статистический метод выделения циклических трендов с некротными частотами Андерсона [1]. Перед началом гармонического анализа экспериментальные ряды течений подвергались низкочастотной фильтрации Бартлета для подавления высокочастотной части спектра течений [13]. Погрешность выделения гармонических постоянных не превышает 5% [13]. В расчетах использовали две наиболее мощные гармоники суточной и полусуточной группы волн - O1 и M2. Конечным результатом процесса гармонического анализа является получение амплитуд F выбранных гармоник и их фаз j на момент проведения эксперимента при последующем расчете этих величин на любой заданный момент времени.

При этом составляющие скорости приливного течения для двух основных приливных волн $u_t(l, t_n)$ и $v_t(l, t_n)$ восстанавливаются для момента времени t_n и точки пространства $l(x(t_n), y(t_n))$ по амплитуде F_i и фазе j_i , рассчитанным по экспериментальным данным, по формулам:

$$u_t(l, t_n) = \sum_{i=1}^2 F_i^u(l) \cos \left\{ \frac{2\pi t_n}{T_i} + j_i^u(l, t_0) \right\} \quad (3)$$

$$v_t(l, t_n) = \sum_{i=1}^2 F_i^v(l) \cos \left\{ \frac{2\pi t_n}{T_i} + j_i^v(l, t_0) \right\} \quad (4)$$

где T_i - период гармоник.

При анализе экспериментальных наблюдений за течениями после вычитания двух приливных гармоник в ряду оставались гармонические составляющие с периодами остальных приливных волн, инерционных колебаний и комбинационных приливных мод. Корреляционный анализ показал, что эти гармонические процессы вносят свой вклад в остаточные пульсационные турбулентные составляющие u_d , v_d и могут быть учтены процессом авторегрессии второго порядка [11] в виде:

$$u_d(l, t_n) = - \sum_{k=1}^2 a_k(l) u_d(l, t_{n-k}) + a(l) \quad (5)$$

$$v_d(l, t_n) = - \sum_{k=1}^2 b_k(l) v_d(l, t_{n-k}) + b(l) \quad (6)$$

где

$a_k(l)$, $b_k(l)$ - коэффициенты авторегрессии,

$a(l)$, $b(l)$ - случайные нормально распределенные числа с нулевым средним и дисперсиями S_u^2, S_v^2 , соответственно.

Предполагается, что перенос и трансформация примеси в морских условиях зависит от нескольких динамических факторов, таких как: скорость и направление ветра и приливных течений, турбулентной диффузии. Вектор перемещения пятна нефти на поверхности моря за временной шаг моделирования dt можно представить в виде суперпозиции векторов воздействия каждого фактора. Тогда уравнение движения пятна можно записать в декартовой системе координат x, y в виде:

$$\frac{dx}{dt} = k_{c-o} \{u_w(x, y, t) + u_t(x, y, t) + u_d(x, y, t)\} + k_{w-o} w_x(x, y, t) \quad (7)$$

$$\frac{dy}{dt} = k_{c-o} \{v_w(x, y, t) + v_t(x, y, t) + v_d(x, y, t)\} + k_{w-o} w_y(x, y, t) \quad (8)$$

где:

u_w, v_w - осредненные по глубине компоненты скорости ветрового течения слоя воды,

u_t, v_t - компоненты суммарной скорости двух главных приливных волн,

u_d, v_d - соответствующие турбулентные добавки,

w_x, w_y - скорость ветра,

k_{c-o}, k_{w-o} - коэффициенты воздействия подстилающих течений и приводного ветра на дрейф примеси.

Поскольку в модели используются стационарные поля скорости ветрового течения, то с целью сглаживания скорости в момент смены ветра компоненты скорости для момента t_n рассчитываются по формулам:

$$u_w = \frac{u_w(l, t_n) + u_w(l, t_{n+1})}{2} \quad (9)$$

$$v_w = \frac{v_w(l, t_n) + v_w(l, t_{n+1})}{2} \quad (10)$$

Аналогичную процедуру применяем к составляющим приливных течений:

$$u_t = \frac{u_t(l, t_n) + u_t(l, t_{n+1})}{2} \quad (11)$$

$$v_t = \frac{v_t(l, t_n) + v_t(l, t_{n+1})}{2} \quad (12)$$

В программу вводятся: количество источников, шаг моделирования, общее время моделирования, количество пятен, скорость и направление ветра, дата разлива и координаты разлива.

Экспериментальные данные о концентрациях радионуклидов в морской воде в различных районах были взяты из таблиц, приведенных в работе [17] для Японского моря и [15] для северо-западной части Тихого океана. Расчет полей течений был инициирован 1 января 2011 года. На рисунке 1.3.2 приведены результаты расчета на конец месяца 2011 года.

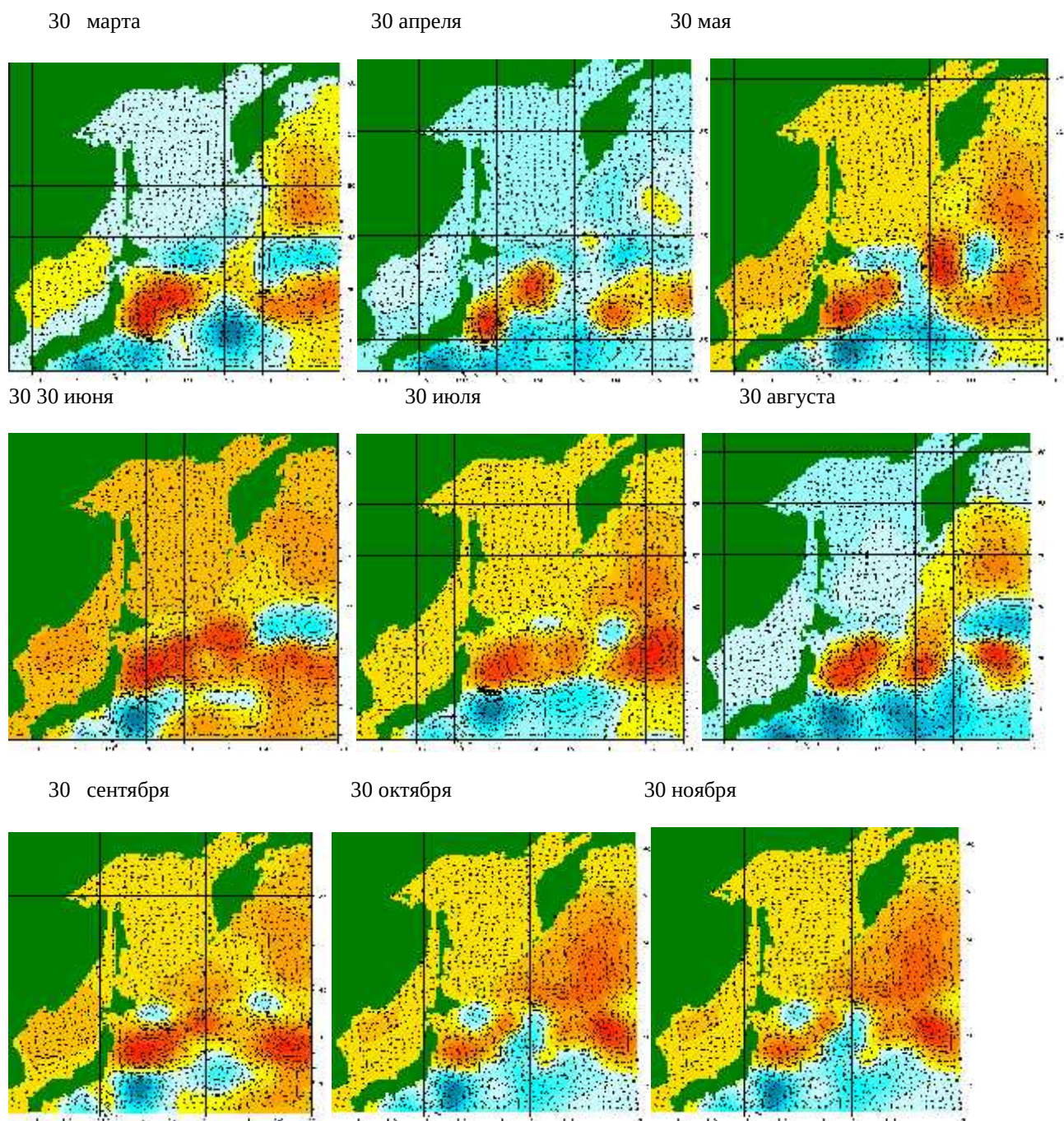
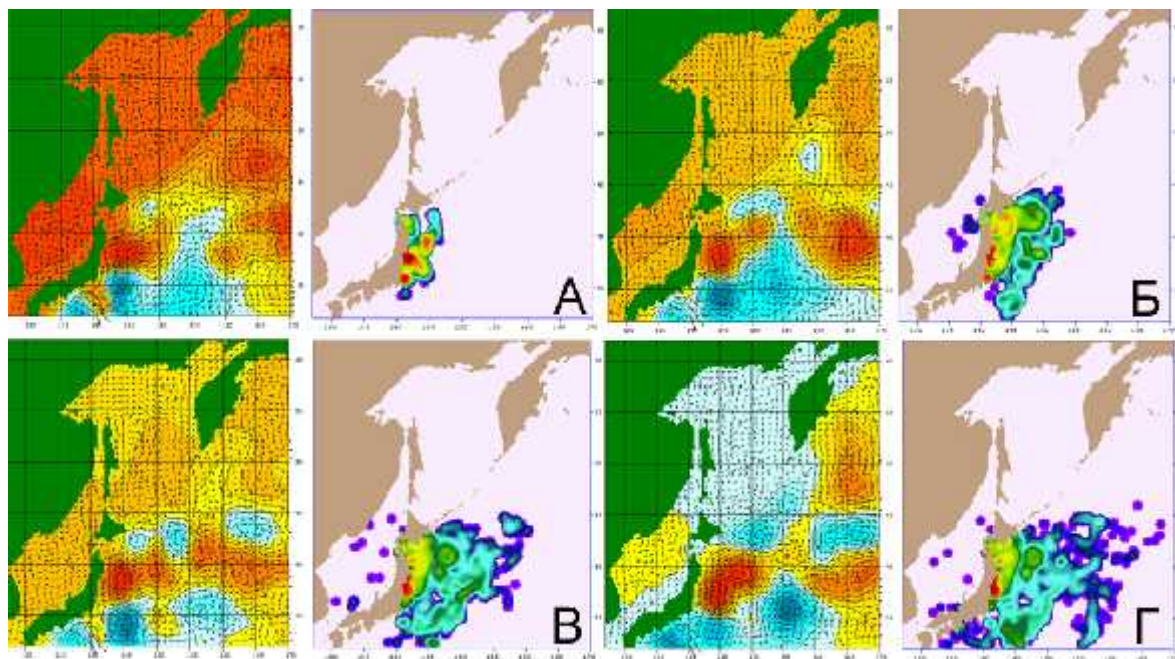


Рисунок 1.3.2 - Распределение полей течений на акватории северо-западной части Тихого океана в 2011 г.

Отмечается существование движения водных масс против часовой стрелки на акватории Японского и Охотского морей, что согласуется с известными из литературы схемами циркуляции вод на указанных акваториях [3].



1, 10, 100, 1000 Бк/м³

А) 30 марта 2011 г., Б) 30 апреля 2011г., В) 30 мая 2011г., Г) 30 июня 2011 г.

Рисунок 1.3.3 - Поля приповерхностных течений на акватории северо-западной части Тихого океана, Японского и Охотского морей и распространения радионуклидов в морской воде после аварии 11 марта 2011 на АЭС Фукусима 1

На рисунке 1.3.4 приведено сравнение расчетов пространственного распределения радионуклидов в поверхностных водах с экспериментальными данными об измеренных концентрациях радионуклидов в поверхностных водах и дрейфа приповерхностных буев. Наблюдается относительно удовлетворительное совпадения расчетных параметров с экспериментальными результатами.

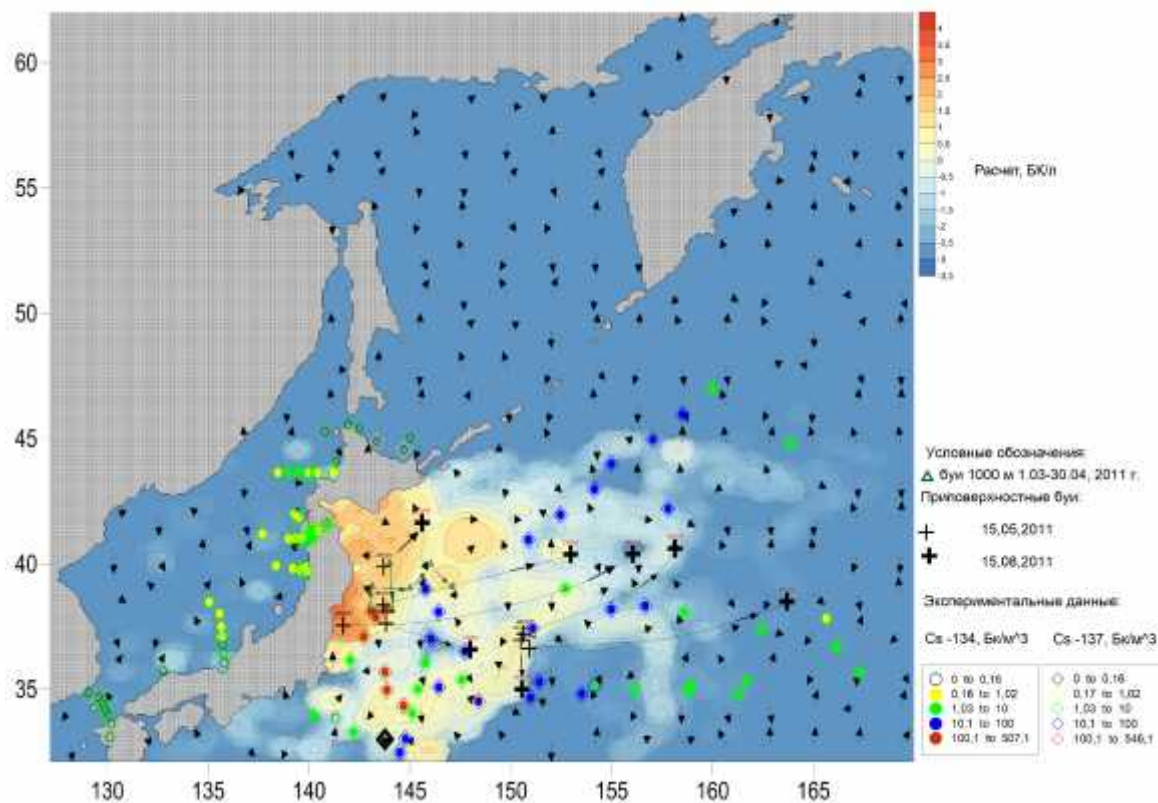
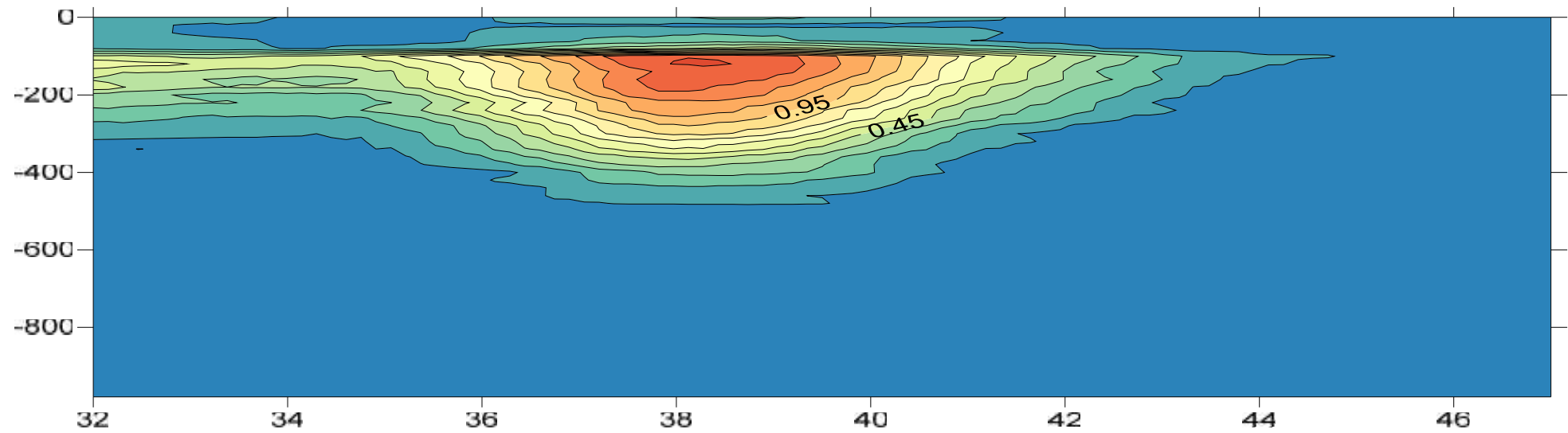


Рисунок 1.3.4 - Сравнение расчета приповерхностных полей течений (стрелки) и распределения радионуклидов (закрашенные области) при сравнении с экспериментальными данными для Cs-134 (кружки) и Cs-137 (ромбики) на 11 июня 2011 г. и приповерхностными буями (крестики) после аварии на АЭС Фукусима 1.

Особый интерес представляет сравнение вертикального расчетного распределения радионуклидов с экспериментальными результатами японских ученых и нашими данными, полученными в рейсе НИС «Академик Лаврентьев» в 2012 г. (рисунок 1.3.1), которое приведено на рисунках 1.3.5 и 1.3.6. Отмечается погружение вод, загрязненных радионуклидами, на нижележащие горизонты, как по экспериментальным данным, так и по результатам расчетов.

А)



Б)

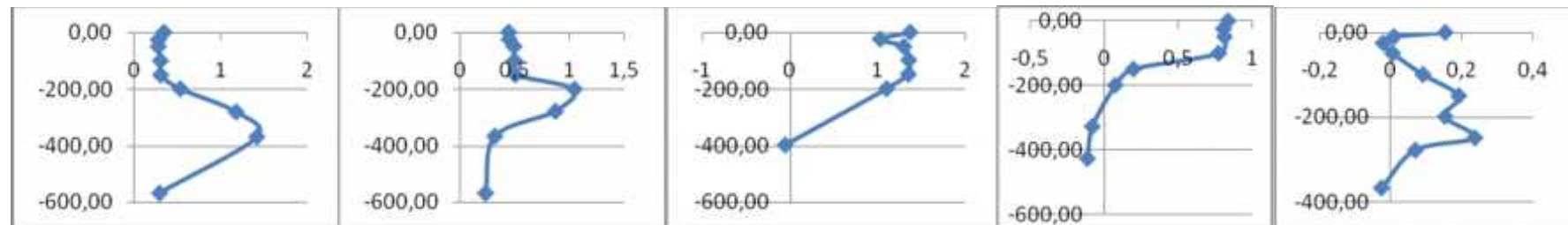
1) на 32.16⁰ с.ш.2) на 34.77⁰ с.ш.3) на 37.42⁰ с.ш.4) на 40.08⁰ с.ш.5) на 42.17⁰ с.ш.

Рисунок 1.3.5 - Сравнение а) рассчитанного распределения логарифма активности ^{137}Cs по глубине на разрезе по 149⁰ с.ш. с б) экспериментальными результатами определения активности ^{137}Cs в логарифмических координатах [18]

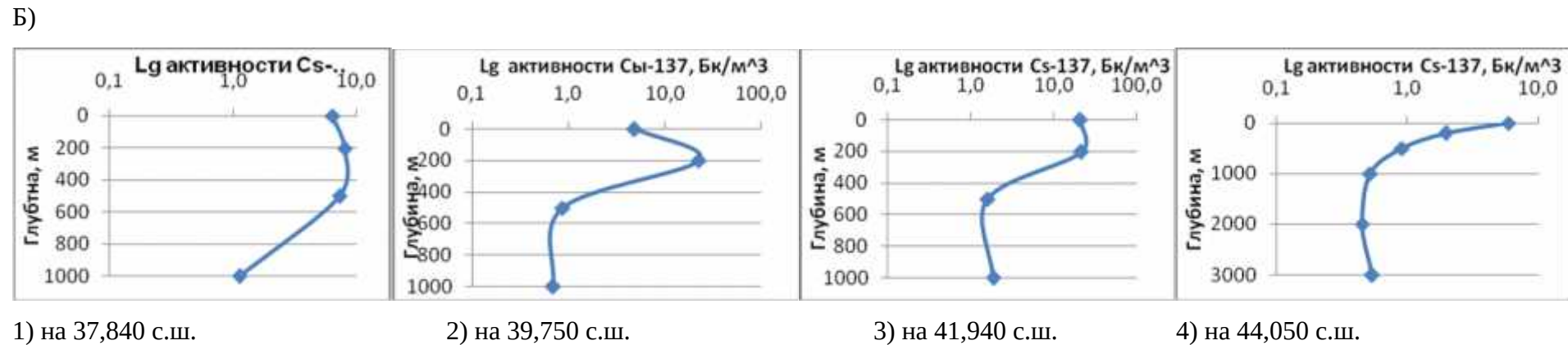
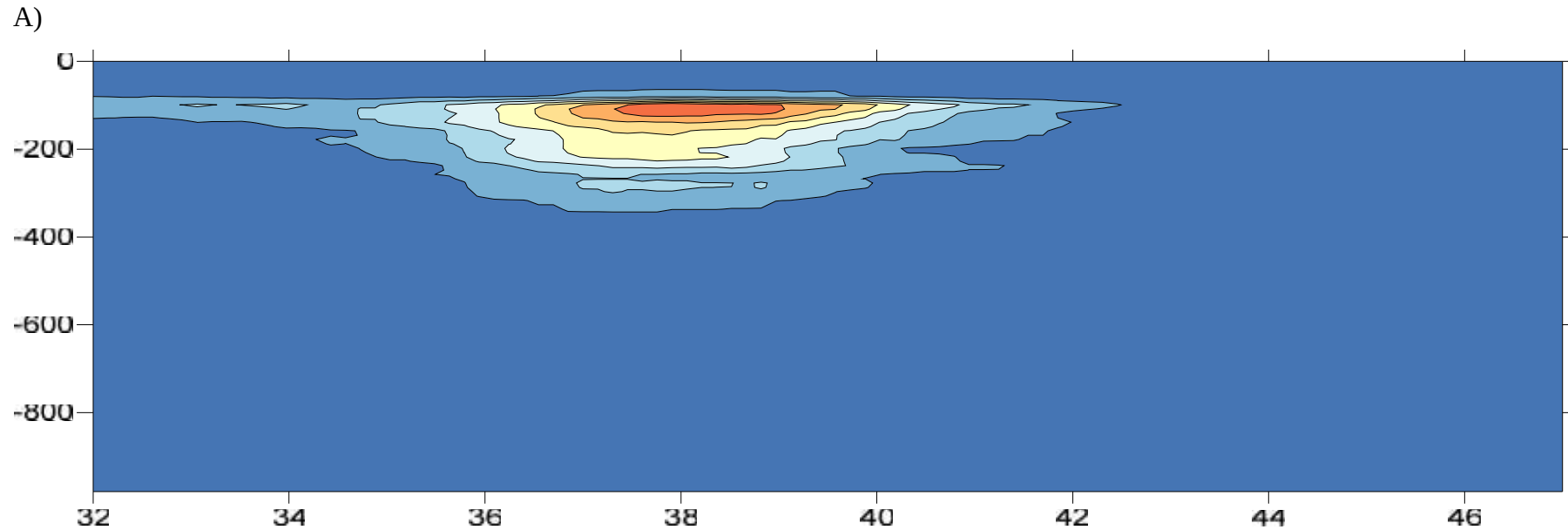


Рисунок. 1.3.6 - Сравнение а) рассчитанного распределения логарифма активности ^{137}Cs по глубине на разрезе по 155^0 в.д. с б) экспериментальными результатами определения активности ^{137}Cs в логарифмических координатах в рейсе НИС «Академик Лаврентьев» в июне 2012 г.

Разработка модели физико-химической трансформации нефтяного загрязнения в районах добычи, переработки и транспорта нефтяных углеводородов

Основой при разработке модели трансформации нефти после аварийного разлива в море являлась модель, представленная в работе [17], и разработки научных сотрудников ТОИ ДВО РАН [12]. Результаты исследования показали, что нефтяное пятно очень неравномерно по толщине, причем около 90 % нефти содержится в толстых линзах, занимающих приблизительно 10% площади пятна.

а) описание растекания нефти:

$$\frac{d^2R}{dt^2} = -\frac{3}{2} \frac{\Delta V_0 g}{\rho R^3} + \frac{3\rho R s^t}{r_0^t V_s} + \frac{1}{R} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 - \frac{2.175 r_w n_w^{1/2} R^{3/2}}{r_0^t V_s} \left(\frac{dR}{dt} \right)^{3/2} - \frac{3 n_0^t}{2 R^2} \frac{dR}{dt} \quad (13)$$

$$\frac{dR}{dt} = U = \int_0^t \left(\frac{d^2R}{dt^2} \right) dt \quad (14)$$

$$R = \int_0^t \left(\frac{dR}{dt} \right) dt \quad (8) \quad (15)$$

$$R_{\max} = \left(\frac{V_0}{\rho} * 10^5 \right)^{1/2} \quad (16)$$

где: t - время с начала разлива (с), R - радиус пятна в момент времени t ,

$$\Delta = \left(r_{\text{л}} - r_0^t \right) / r_w,$$

V_0, V_s - начальный объем вылитой нефти и объем нефти на поверхности моря в момент времени t , $g = 9,8$ (м/с²),

s^t, r_0^t, n_0^t - давление растекания (Н/м), плотность (кг/м³), кинематическая вязкость (м²/с) нефти в момент времени t ,

r_w, n_w - плотность (кг/м³) и кинематическая вязкость (м²/с) воды,

$\rho = 3,14, R_{\max}$ - максимальный радиус пятна (м).

б) описание испарения нефти:

Химический состав нефти разбивается на несколько групп или индивидуальных соединений. Считается, что пленка хорошо перемешана и испарение с единицы площади пропорционально среднему давлению паров i -группы или i - индивидуального соединения

при температуре пленки, равной температуре подстилающей воды, и атмосферном давлении. Кроме этого, считается, что испарение ингибируется при образовании эмульсии вода-в-нефти и скорость испарения пропорциональна доле неэмульгированной нефти (V_{nem}) в общем объеме нефти V_s .

Общий объем испарившейся из пятна нефти пропорционален площади пятна (ρR^2). Формула для расчета записывается в виде:

$$\frac{dm_i}{dt} = \frac{U_*}{15,2} \left(\frac{D_i}{n_a} \right)^{0,61} \frac{\chi_i P_i}{R_a T_w} \left(\rho R^2 \right) \left(\frac{V_n}{V_s} \right) \quad (17)$$

$$U_* = 0,04 U_{10} \quad (18)$$

где для i - группы или индивидуального соединения :

m_i – число молей, χ_i – мольная доля, P_i – давление паров (Па), D_i – коэффициент молекулярной диффузии в атмосфере (m^2/c), ρ_i – плотность ($кг/м^3$), M_i – молекулярный вес ($кг/моль$) при температуре воды (T_w , 0K) и атмосферном давлении; n_a – кинематическая вязкость воздуха (m^2/c), R_a – газовая постоянная,

U_*, U_{10} – динамическая скорость ветра ($м/с$) и скорость ветра на высоте 10 м ($м/с$).

Объем испарившейся нефти ($м^3$) за время t рассчитывается по формуле:

$$V_{ev} = - \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{\rho_i} \int_0^t \left(\frac{dm_i}{dt} \right) dt \quad (19)$$

в) описание эмульгирования воды в нефть:

Скорость эмульгирования воды в нефть принимали пропорциональными высоте волн (H_w , м) и объему нефти на поверхности моря:

$$\frac{dV_{em}}{dt} = C_7 V_s H_w \quad (20)$$

$$V_{em} = \int_0^t \left(\frac{dV_{em}}{dt} \right) dt \quad (21)$$

где

V_{em} – объем ($м^3$) нефти, перешедший в эмульсию вода в нефти,

C_7 - константа эмульгирования.

Для мелкого моря, глубиной менее 40 м,

$$H_w = 0,07 \frac{U_{10}^2}{g} \left(\frac{g H_s}{U_{10}^2} \right)^{3/5} \quad (22)$$

где H_s – глубина моря (м).

г) описание диспергирования нефти в воду:

Считали, что скорость диспергирования нефти в воду пропорциональна высоте волн и объему неэмульгированной нефти на поверхности моря (V_{nem} , м³)

$$\frac{dV_{dis}}{dt} = k V_{nem} H_w \quad (23)$$

$$V_{dis} = \int_0^t \left(\frac{dV_{dis}}{dt} \right) dt \quad (24),$$

Где: k - коэффициент эмульгирования, V_{dis} – объем (м³) нефти, перешедший в эмульсию нефть-в-воде.

д) описание выноса в атмосферу за счет капель:

Считали, что скорость выноса нефти в атмосферу за счет капель пропорциональна высоте волн (H_w , м) и объему неэмульгированной нефти на поверхности моря (V_{nem} , м³)

$$\frac{dV_{dr}}{dt} = c_5 V_{nem} H_w \quad (25)$$

$$V_{dr} = \int_0^t \left(\frac{dV_{dr}}{dt} \right) dt \quad (26)$$

где: c_5 - коэффициент брызгоуноса, V_{dr} – объем (м³) нефти, унесенной каплями в атмосферу.

е) расчеты изменения объемов нефти:

В ходе моделирования контролировали изменение:

$$\begin{aligned} V_s &= V_0 - V_{ev} - V_{dis} - V_{dr} \\ V_{nem} &= V_0 - V_{ev} - V_{em} - V_{dis} - V_{dr} \\ V_w &= c_{10} V_{em} \\ V_t &= V_s + V_w \end{aligned} \quad (27)$$

где: V_0 - объем (м^3) вылитой нефти, V_s - объем (м^3) нефти на поверхности моря в момент времени t , V_{nem} - объем (м^3) неэмульгированной нефти, V_w - объем (м^3) воды в эмульсии вода-в-нефти, V_{dis} - объем (м^3) нефти, диспергированной в воду, V_t - общий объем (м^3) нефти и эмульсии, c_{10} - коэффициент предельного эмульгирования воды в нефти.

ж) расчет вязкости, плотности и давления растекания. Расчет проводили по формулам:

$$\begin{aligned} n_0^t &= n_0 \left(1 - \frac{V_w}{V_t} \right)^{-4.0} \\ r_0^t &= \left(r_0 V_0 - \sum_{i=1}^n M_i \int_0^t \left(\frac{d m_i}{dt} \right) dt + r_w V_w - r_0^t (V_{dis} + V_{dr}) \right) / V_t \\ s^t &= s_0 \frac{V_{nem}}{V_s} \end{aligned} \quad (28)$$

где:

n_0, r_0, s_0 – начальные значения: кинематической вязкости ($\text{м}^2/\text{с}$), плотности ($\text{кг}/\text{м}^3$) и давление растекания ($\text{Н}/\text{м}$) нефти. Счет заканчивается, если плотность нефти становится больше плотности воды и нефть тонет.

Расчет влияния портов и прибрежных сооружений на качество морской среды Дальневосточных морей

В настоящее время на акватории залива Петра Великого Японского моря наблюдается интенсификация грузопассажирских перевозок с увеличением числа и мощности портов, возрастание антропогенной нагрузки от прибрежных городов, происходят аварийные разливы нефти и нефтепродуктов на данной акватории, а на поверхности моря постоянно наблюдаются нефтяные слики. Кроме этого, идет строительство ряда крупных объектов на побережье, в том числе в заливе Восток планируется строительства Восточной нефтехимической компании (ВНХК) с отгрузкой получаемых нефтепродуктов через специально-построенный терминал. Существует необходимость разработки оперативного метода расчета дрейфа и трансформации антропогенной примеси на акватории залива для организации и проведения мероприятий по защите морской среды от загрязнения и по расчету возможного ущерба при строительстве и эксплуатации морских портов, береговых нефтебаз и нефтяных терминалов. Для современного моделирования распределения примесей были выполнены следующие работы:

Рельеф дна и берегов – оцифрованы карты залива Петра Великого и залива Восток для использования в модели и описаны основные черты морфологии дна и береговой линии.

Обработаны данные об основных характеристиках метеорологического режима залива Петра Великого и залива Восток и метеорологической ситуации во время проведения экспериментальных работ ТОИ ДВО РАН в 2015 г. Статистически обработаны данные о высотах приливов в заливе Восток и выделены амплитуды и фазы приливо-отливных течений и сделан прогноз их развития на любой заданный момент времени. Обработаны экспериментальные данные о скоростях и направлениях течений, полученные в экспедициях ТОИ ДВО РАН. Рассмотрены физико-химические свойства примесей, а именно: а) взвешенная примесь – моделирует распространение и оседание взвешенных частиц при строительстве причала и поступления взвеси с речным выносом. Проведены расчеты полей течений и распределения взвешенной примеси на акватории залива Восток при строительстве терминала и выноса речной взвеси.

Моделирование гидродинамических условий залива Петра Великого и залива Восток

Блок-схема проведения расчетов полей течений и распределения примесей приведена на рисунке 1.3.7. Данная программа основана на максимально возможном усвоении имеющихся экспериментальных результатов.

Блок-схема модели распространения примеси в заливе Петра Великого

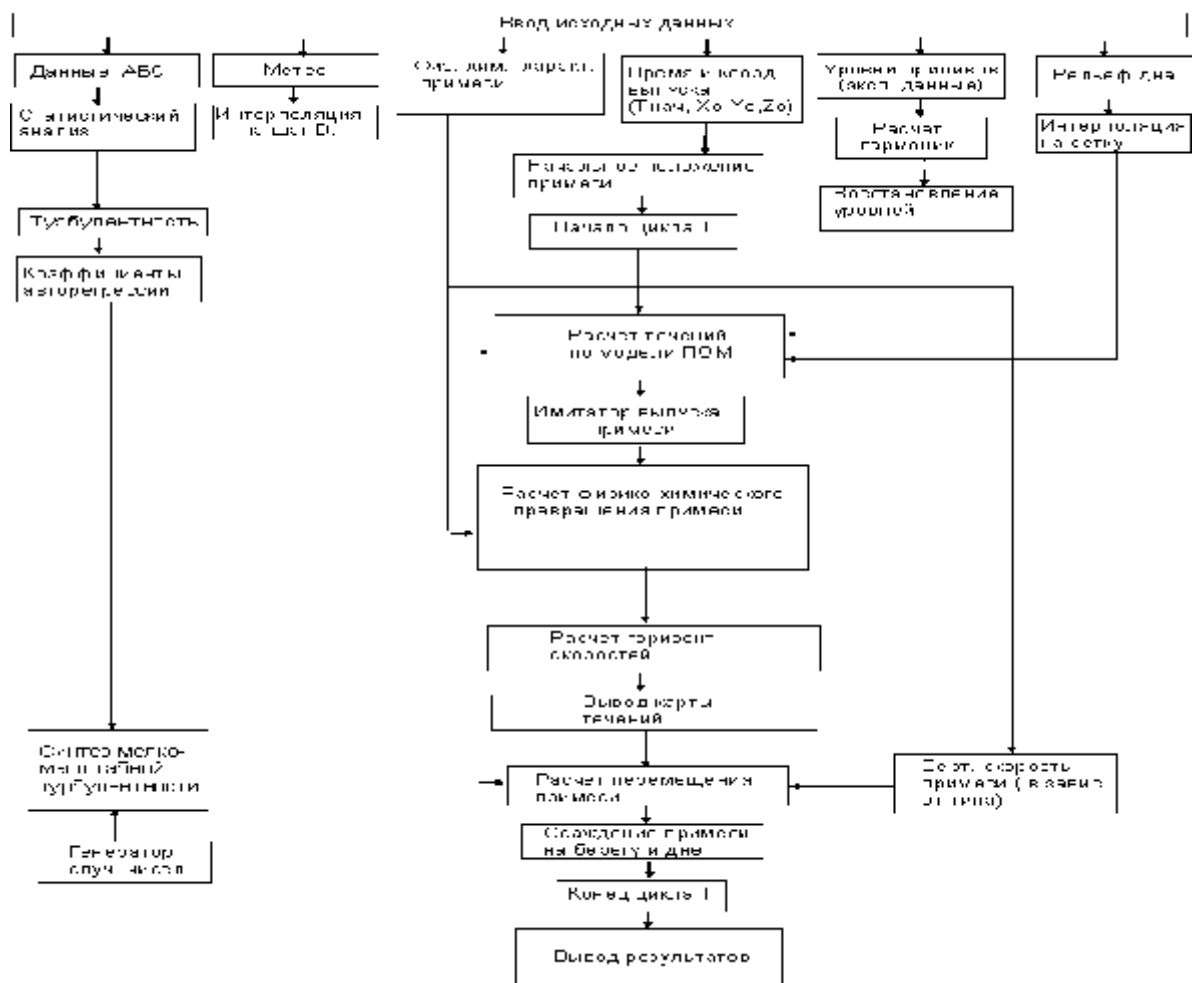


Рисунок 1.3.7 - Блок схема проведения расчетов полей течений и распределения примеси на акваториях залива Петра Великого и заливов Восток и Находка Японского моря

По сравнению с работой [11] в качестве базовой модели расчета полей течений была использована Prinseton Oceanic Model, которая находится в открытом доступе в Интернете. Описание процедуры расчетов полей течений приведен в разделе 1.

Сравнение результатов расчета распространения примеси на акватории залива Петра Великого и заливов Восток и Находка с аэрокосмическими данными

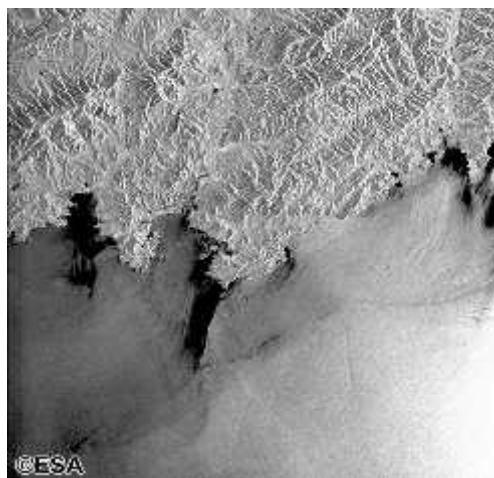
Аэрокосмический снимок за 8 октября 2000 года был взят на сайте ТОИ ДВО РАН(www.gis.poi.dvo.ru), описание которого приведено в работе [3] и представлены на рисунке 1.3.8. Метеорологические данные на сутки до выполнения снимка получены из Примгидромета. В качестве источников поступления нефтяного загрязнения был выбран подводный источник с координатами 42°60 с.ш., 133°00 в.д. (Черный крест) с химическими свойствами, приведенными в таблице 3.8. Нефть порциями по 10 литров в минуту непрерывно поступает на акваторию в течение всего времени расчета, которое для слабых ветров составляет 36 часов, а для более сильных ветров - 24 часа. Траектории движения пятен нефти выводятся через 3 часа. Такой же расчет был сделан для антропогенного источника в б.Гайдамак залива Восток. Результаты сравнения показали (рисунок 1.3.8), что предложенная модель расчета полей течений и распределения примесей на акватории заливов Петра Великого, Востока и Находка хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Таблица 1.3.1 - Экспериментальный и модельный состав нефти.

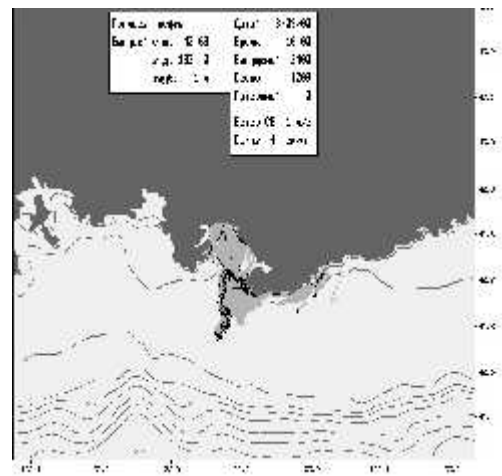
№	Свойство, состав, где C_i – число атомов углерода в молекуле	Экспериментальный состав нефти		Модельный состав нефти				
		Диапазон	Среднее	Свойство, состав	Полнота, кгм ³	Температура кипения, °C	Молекулярный вес, г/моль	Давление паров (P_i), мм. Рт. ст.
1	Плотность, кг/м ³	775-839	807	807				
2	Вязкость, сСт	-----	-----	6				
3	Алканы, C_4 - C_{12}	59,1-48,8%	54%	20%	660-770	69-230	86-170	$\lg P_1 = 6.94 - 1417.61 / (202.17 + t_w)$
4	Алканы, C_{13} - C_{25}			34%	770-1800	230-400	184-352	$\lg P_2 = 7.01 - 1827.14 / (149.76 + t_w)$
5	Ароматика, C_9 - C_{11}	17,1	22,2%	11,1%	880-1100	30-240	78-143	$\lg P_3 = 6.91 - 1407.34 / (208.48 + t_w)$
6	Ароматика, C_{12} - C_{14}	27,4%		11,1%	1100-1200	240-400	128-234	$\lg P_4 = 6.97 - 1801.00 / (162.77 + t_w)$
7	Смоли, C_{15} - C_{25}	23,8%	23,8%	21,3%	970-1200	180-400	116-300	$\lg P_5 = 6.97 - 1789.55 / (164.56 + t_w)$
8	Асфальтены	-----	-----	2%	1000-1100	>400	300-900	$P_6 = 0$

t_w – температура воды, °C

а)



б)



в)

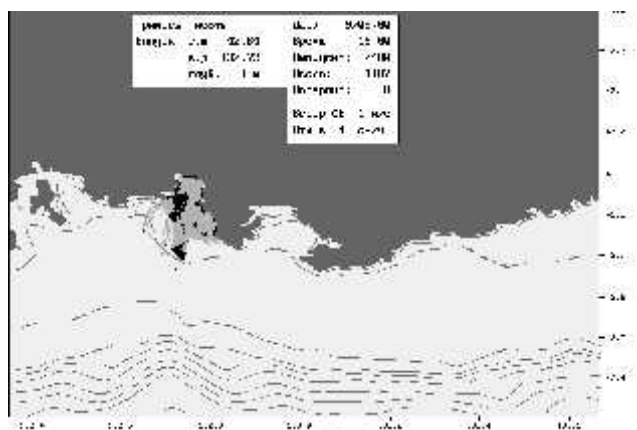


Рисунок 1.3.8 - Сравнение аэрокосмического снимка (8 октября 2000 г.) а) распределения нефтяных пленок на акватории залива Петра Великого, заливов Находка и Восток с результатами расчета распределения нефтяных пленок из подводного источника б) на акватории залива Находка с координатами 42,60 с.ш., 133,00 в.д.(Черный крест) и антропогенного источника в бухте Гайдамак в) при реальных гидрометеорологических условиях. Серые линии и области – траектории движения пятен, черные точки – местоположение пятен на момент выполнения снимка.

Заключение

В ходе исследований установлено:

1. В результате взрыва водорода на АЭС Фукусима-1 и утечки загрязненной воды в окружающую среду попало большое количество радиоактивного вещества.

2. Экспериментально показано, что за период март 2011-июнь 2012 г. произошло погружение искусственных радионуклидов в подповерхностные морские воды, с образованием максимума содержания на глубине 200-300 метров. На отдельных станциях зафиксировано появление ^{134}Cs на глубинах до 1000 метров.

3. Подповерхностное пространственное распределение радионуклидов через год после аварии на АЭС Фукусима 1 показало вторжение (проникновение) подповерхностных вод через фронтальную зону течения Куроисио в южном направлении вплоть до 30° с.ш.

4. Расчеты полей течений, выполненные с помощью Принсетоновской океанической модели, показали, что в районе с центром 39° с.ш. и 145° в.д. располагается зона погружения поверхностных вод. Так как данный район находится непосредственно около аварийной станции, то по результатам расчета выпавшие из атмосферы радионуклиды, а также поступившие с аварийной станции высоко загрязненные воды, через относительно малый промежуток времени 30 суток поступили в слой до глубины 300 метров, через 60 суток обнаружены в слое 300-400 метров. На момент проведения экспериментальных работ в июне 2012 года проникновение обогащенных радиоизотопами морских вод происходит в северо-западном и юго-западном направлении от зоны погружения на глубинах 100-500 метров.

5. Расчетные профили концентраций радионуклидов вдоль 142° в.д., 145° в.д., 149° в.д., 155° в.д. и широтный разрез вдоль 38° с.ш. показали, что наибольшее погружение радионуклидов наблюдается на ближайшем к АЭС Фукусима 1 разрезе, а подповерхностные воды на глубине 100-300 метров переносят воду с изотопами в южном направлении.

6. Представленные экспериментальные данные и результаты расчетов показали, что за счет быстрого погружения поверхностных вод на более глубокие горизонты произошло накопление радионуклидов в толще морских вод и гораздо более медленный последующий перенос в открытую часть Тихого океана, что представляет определенный опасность заражения гидробионтов вблизи побережья Японии.

7. Проведен расчет переноса и трансформации нефтяного загрязнения при аварии танкера с дизельным топливом на акватории залива Восток Японского моря для четырех сезонов 2015 года. Показано, что при южных ветрах нефтяное загрязнение поступает на акваторию морского биологического заповедника «Восток» и может принести вред морским организмам.

Список использованных источников

- 1 Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. М.: Мир, 1976. 756 с.

- 2 Бирюлин Г. М., Бирюлина М. Г., Микулич Л. В., Якунин Л. П. Летние модификации вод залива Петра Великого // Тр. ДВНИГМИ. 1970. Вып. 30. С. 286–298.
- 3 Власова Г.А. Пространственно - временная изменчивость структуры и динамики вод Охотского моря. Москва: Наука, 2008. 358 с.
- 4 Гайко Л. А. Гидрометеорологические особенности залива Восток (Японское море) / Тихоокеан. океанол. ин-т ДВО РАН. Владивосток, 2006. – Деп. в ВИНТИ 28.11.2006 № 1471-В 2006. – 91 с.
- 5 Гайко Л. А. Марикультура: прогноз урожайности с учетом воздействия абиотических факторов. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – 204 с.
- 6 Гайко Л. А. Особенности гидрометеорологического режима прибрежной зоны залива Петра Великого (Японское море). – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 151 с.
- 7 Гайко Л. А. Особенности температурного режима заливов Восток и Находка (юго-восточная часть залива Петра Великого) // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря / Отв. ред. А. С. Астахов, В. Б. Лобанов. – М.: ГЕОС, 2008. С. 97–110.
- 8 Гайко Л. А., Абросимова А. А. Характеристика солёности морской воды в заливе Восток: Материалы конф. / Восьмая научная конференция «К всемирным дням воды и метеорологии». Владивосток, 21–22 марта 2007. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун., 2008. С. 10–12.
- 9 Голик А.В., Фищенко В.К., Дубина В.А., Митник Л.М. Интеграция спутниковых и подспутниковых данных по северо-западной части Тихого океана в корпоративной океанографической ГИС ДВО РАН.// Исследование Земли из космоса. 2004, №6. с.73 – 80
- 10 Кендал М. Временные ряды. М.: Финансы и статистика, 1981, 199 с.
- 11 Мишуков В.Ф., Калинин В.В., Мишукова Г.И. Модель расчета переноса и трансформации нефтяного загрязнения в дальневосточных морях (на примере залива Петра Великого Японского моря).// Дальневосточные моря России: в 4 кн. / гл. ред. В. А. Акуличев. Кн. 2: Исследования морских экосистем и биоресурсов / отв. ред. В.П. Челомин. М.: Наука, 2007. С.248-273
- 12 Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. Ч.1. М.: Наука, 1965. - 363 с.
- 13 Степанов В. В. Характеристика температуры и солёности вод залива Восток Японского моря: Сб. науч. тр. / Биологические исследования залива Восток. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. – С. 12–22..

14 Aoyama M., Uematsu M., Tsunume D and Hamajima Y. Surface pathway of radioactive plume of TEOCO Fukushima NPP1 released Cs-134 and Cs-137 // Biogeosciences Discuss., 2013. №10. p.265-283.

15 Inoue M., Kofiji H., Nagao S. et.al. Lateral variation of Cs-134 and Cs-137 concentrations in surface seawater // Journal of Environmental Radioactivity. 2012. №109. P.45-51.

16 Kuipers H.D. SMOSS- A simulation model for oil slicks at sea./ Departament of Civil Eng., Belgium: Delft University of Techn., 1981. P.1- 168.

17 Luchin V, Kruts A, Sokolov O, Rostov V, Perunova T, Zolotukhin E, Pishalnik V, Romeiko L, Hramushin V, Shustin V et al. . 2010. Climatic Atlas of the North Pacific Seas 2009: Bering Sea, Sea of Okhotsk, and Sea of Japan. In: Akulichev V, Volkov Y, Sapozhnikov V, Levitus S, editors. NOAA Atlas NESDIS 67. International Ocean Atlas and Information Series Volume 12. Washington, DC: US Government Printing Office. Find it Online380 pp., CD Disc

18 Mellor G.L. A three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model /Program in Atmospheric and Oceanic Sciences Princeton University, Princeton, NJ 08544-0710 . June 2004. – 56 p. <http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom/>

1.4 Перенос атомарной ртути в атмосфере

Прямые определения содержания атомарной ртути (Hg^0) в приземном слое атмосферы были выполнены с 14 по 30 июня 2015 г. в 70 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в Японском и Охотском море. Содержание Hg^0 определялось на двух уровнях – 2 и 20 м от поверхности воды, с помощью двух атомно-абсорбционных спектрометров с зеемановской коррекцией неселективного поглощения – РА-915+ и РА-915М (ООО «Люмэкс», г. Санкт-Петербург), в стандартном автоматическом режиме «мониторинг», с пределом обнаружения – $0,3 \text{ нг/м}^3$ [6]. Забор воздуха производился с носовой части судна по шлангам длиной 20 м. Полученные ежесекундные значения содержания ртути в воздухе усреднялись за 5-минутные интервалы и получали пространственную привязку.

Одновременно каждые 5 минут регистрировалась скорость и направление движения судна, метеорологические параметры с помощью штатных судовых приборов и автоматической метеостанции Davis Vantage Pro 2 (Davis Instruments Corp., США), соответственно.

Все полученные значения концентрации Hg^0 в воздухе были приведены к нормальным условиям (атмосферное давление – 760 мм. рт. ст., температура окружающего воздуха – 0°C) в соответствии с методикой выполнения измерений [3].

При расчете во избежание ошибок, связанных с загрязнением анализируемого воздуха выхлопными газами судна, не учитывались значения, полученные при небольшой либо равной нулю скорости судна, а также при попутном ветре равном или превышающем скорость движения судна.

Для выявления возможной зависимости между концентрацией ртути в воздухе и перемещением воздушных масс из различных районов был проведен расчет их обратных траекторий движения за 5-10 суток с помощью модели HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model), разработанной Лабораторией воздушных ресурсов Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA, США), с использованием базы метеорологических данных GDAS (Global Data Assimilation System) [4]. Расчет обратных траекторий движения воздушных масс производился для различных высот до 1000м из координат местоположения судна через каждый час.

Дополнительно для выявления районов-источников поступления ртути в атмосферу над Дальневосточными морями России были использованы спутниковые изображения распределения SO_2 в 8-километровом слое атмосферы для районов, где проводились исследования и откуда воздушные массы приходили в точки измерения. Спутниковые

изображения были взяты с сайта NASA - <http://so2.gsfc.nasa.gov/> и получены со спутника AURA (США) с помощью установленного на нем спектрометра, измеряющего интенсивность отражённого и рассеянного в атмосфере солнечного излучения. Такой подход обусловлен тем, что поступление в атмосферу ртути и диоксида серы происходит во многих случаях от одних и тех же источников (сжигании угольного топлива, нефти и природного газа, при выплавке металлов, от вулканических газов, лесных пожаров).

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований было выявлено неоднородное пространственно-временное распределение содержания Hg^0 в приземном слое атмосферы как на уровне 2 м, так и на уровне 20 м от поверхности воды (рисунки 1.4.1., 1.4.2). Содержание Hg^0 на уровне в 2 м изменялось от 1,6 до 3,2 при среднем $2,5 \pm 0,2$ нг/м³, на уровне 20 м от 0,8 до 3,9 при среднем $2,1 \pm 0,4$ нг/м³ (рисунок 1.4.3., таблица 1.4.1).

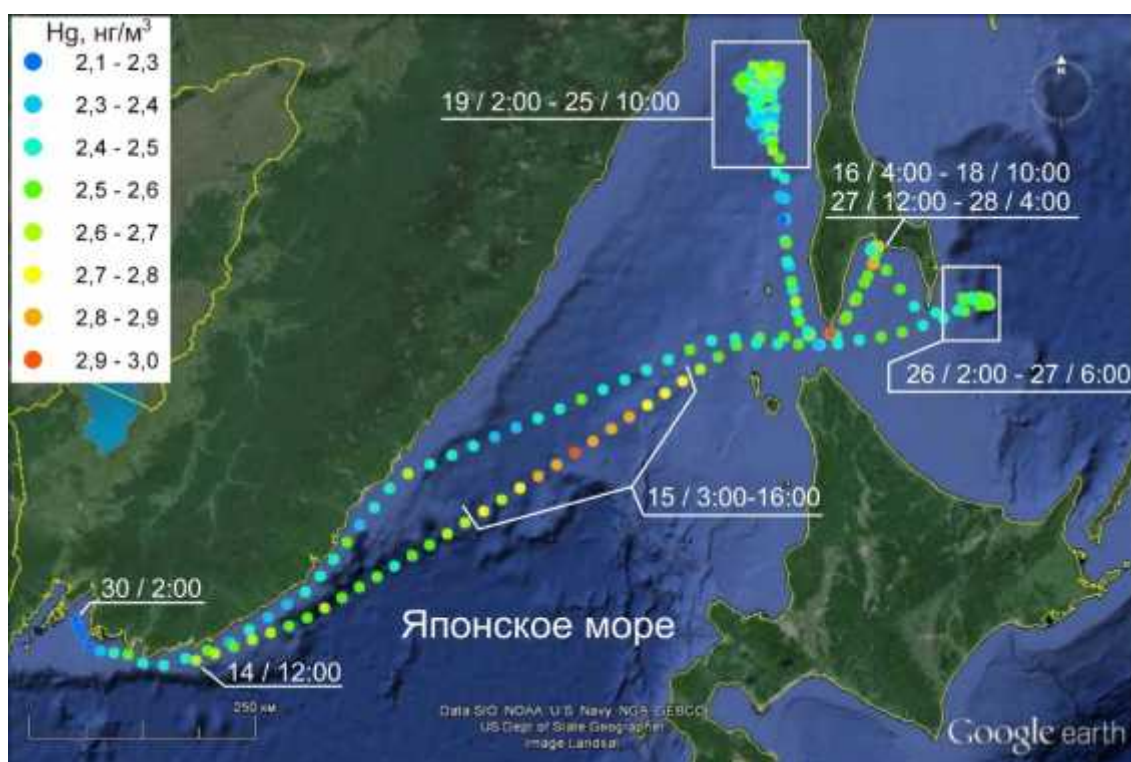


Рисунок 1.4.1 – Пространственно-временное изменение содержания Hg^0 в приземном слое атмосферы (2 м от поверхности воды) в июне 2015 г. по ходу движения НИС «Академик М.А. Лаврентьев»



Рисунок 1.4.2 – Пространственно-временное изменение содержания Hg^0 в приводном слое атмосферы (20 м от поверхности воды) в июне 2015 г. по ходу движения НИС «Академик М.А. Лаврентьев»

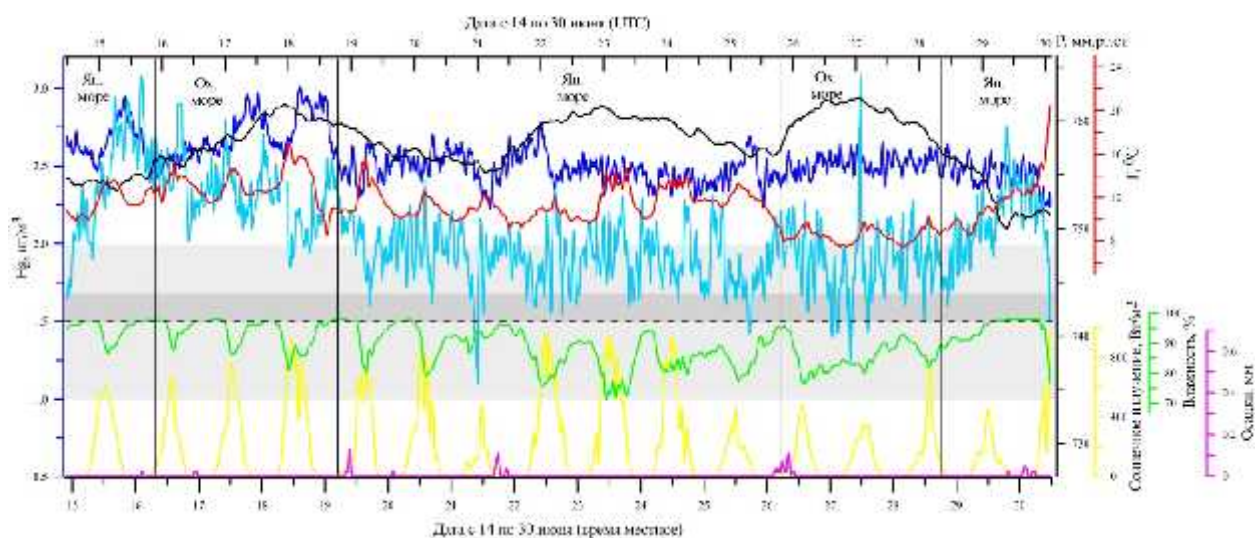


Рисунок 1.4.3 – Временное изменение содержания Hg^0 и метеопараметров в приводном слое атмосферы в Японском (Яп. море) и Охотском (Ох. море) морях в июне 2015 г., по ходу движения НИС «Академик М.А. Лаврентьев». Штриховая линия – среднее содержание Hg^0 в приводном слое атмосферы над дальневосточными морями России [2]; горизонтальная светло-серая линия – стандартное отклонение от среднего; горизонтальная

темно-серая линия – фоновый диапазон содержания Hg^0 в приземном слое атмосферы Северного полушария [5].

Таблица 1.4.1 – Основные статистические показатели содержания Hg^0 (нг/м³) на уровне 2 и 20 м от поверхности воды, полученные в 70 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев»

2 м		20 м	
Среднее	2,5	Среднее	2,1
Стандартная ошибка	0,003	Стандартная ошибка	0,006
Медиана	2,5	Медиана	2
Мода	2,6	Мода	2
Стандартное отклонение	0,2	Стандартное отклонение	0,4
Дисперсия выборки	0,03	Дисперсия выборки	0,13
Эксцесс	0,71	Эксцесс	0,43
Асимметричность	0,37	Асимметричность	0,23
Интервал	1,5	Интервал	3,1
Минимум	1,6	Минимум	0,8
Максимум	3,2	Максимум	3,9
Сумма	10265,2	Сумма	7515,4
Количество значений	4043	Количество значений	3648
Уровень надежности (95,0%)	0,005	Уровень надежности (95,0%)	0,01

В среднем содержание Hg^0 на уровне 2 м было выше, чем на 20 м. Можно предположить, что такая вертикальная неравномерность распределения Hg^0 обусловлена поступлением ртути из моря и разбавлением ее концентрации с высотой.

Почти одинаковые средние содержания на двух уровнях – 2,8 и 2,7 нг/м³ наблюдались в Японском море 15 июня с 3:00 до 16:00 (по UTC) (таблица 1.4.2). Расчет обратных траекторий движения воздушных масс в точки измерения показал, что в этот период воздушные массы приходили из региона Желтого моря и северо-восточной части Китая (рисунок 1.4.4). Данные районы характеризуются высокой степенью индустриализации и повышенным содержанием в атмосфере различных загрязняющих веществ, в том числе и ртути. Ранее уже было установлено, что перенос воздушных масс из этих районов увеличивает содержание ртути в Японском море в среднем на 40 % относительно среднего для дальневосточных морей России [1,2].

Таблица 1.4.2 – Основные статистические показатели содержания Hg^0 (нг/м^3) на уровне 2 и 20 м от поверхности воды, полученные 15 июня с 3:00 до 16:00 (UTC) в 70 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев»

2 м		20 м	
Среднее	2,8	Среднее	2,7
Стандартная ошибка	0,01	Стандартная ошибка	0,02
Медиана	2,8	Медиана	2,7
Мода	2,7	Мода	2,6
Стандартное отклонение	0,1	Стандартное отклонение	0,3
Дисперсия выборки	0,01	Дисперсия выборки	0,07
Эксцесс	-0,16	Эксцесс	0,18
Асимметричность	0,004	Асимметричность	-0,03
Интервал	0,6	Интервал	1,4
Минимум	2,5	Минимум	2
Максимум	3,1	Максимум	3,4
Сумма	413	Сумма	388,4
Счет	149	Счет	145
Уровень надежности(95,0%)	0,02	Уровень надежности(95,0%)	0,04

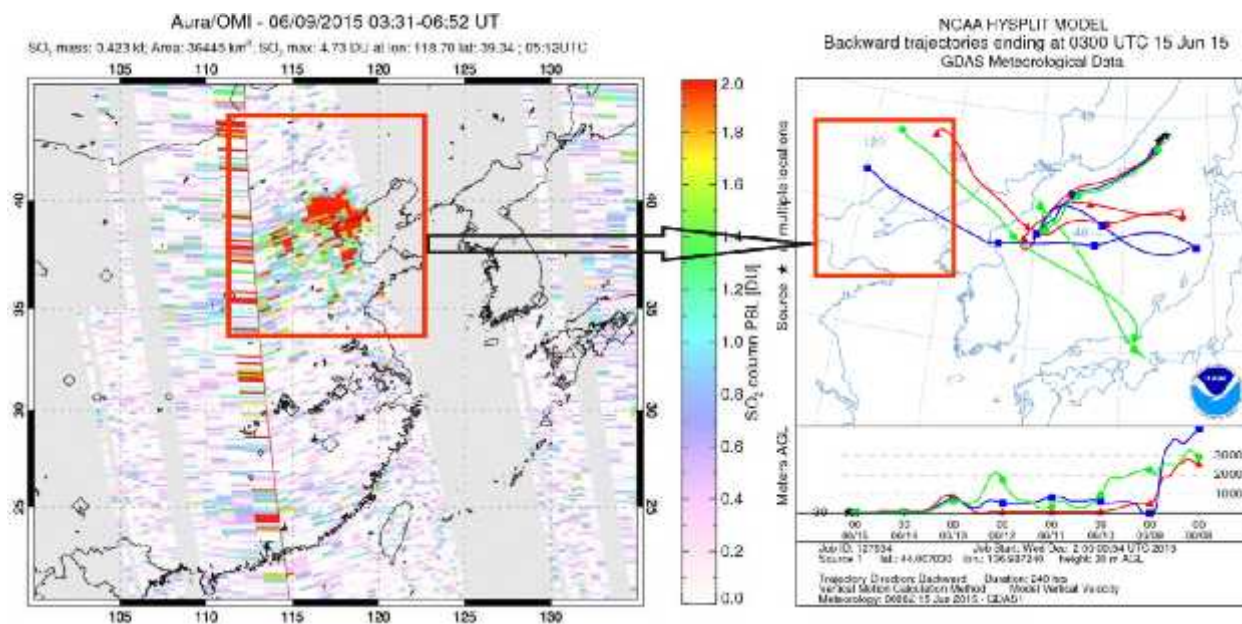


Рисунок 1.4.4 – Перемещение воздушных масс из региона Желтого моря в точки измерения в Японском море в июне 2015 г. Левый рисунок - обратные траектории движения

воздушных масс в точки измерения (звездочки) на высоте 30 м за предыдущие 10 суток от 15 июня 03:00 (по UTC) в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Правый рисунок - спутниковое изображение распределения SO_2 в атмосфере Желтоморского региона представлено за ту дату, перенос воздушных масс от которой обусловил увеличение содержания Hg^0 в точках измерения

Во время стоянки в порту Корсаков с 16 по 18 июня была зафиксирована суточная цикличность изменения содержания Hg^0 на двух уровнях. С уменьшением солнечного излучения и соответственным уменьшением температуры воздуха и увеличением влажности наблюдалось одновременное увеличение содержания Hg^0 на уровне 2 м и уменьшение на уровне 20 м. И наоборот, с увеличением солнечного излучения, ростом температуры и снижением влажности воздуха происходило уменьшение содержания Hg^0 на уровне 2 м и увеличение на 20 м. Возможно такая суточная динамика связана с деятельностью порта или с повышенной дневной эмиссией ртути на суше.

Список использованных источников

1 Калинчук В. В., Астахов А. С., Мишуков В. Ф., Аксентов К.И. Изменение концентрации атомарной ртути в приземном слое атмосферы над акваторией Уссурийского залива Японского моря во время прохождения тайфуна Болавен в 2012 г. // Метеорология и гидрология. 2013. № 5. С. 26-35.

2 Калинчук В.В. Особенности пространственно-временного распределения атомарной ртути в приземном слое атмосферы над дальневосточными морями России (по результатам исследований за 2010-2013 гг.) //Сб. тр. II междунар. симпоз. «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». Н.: ИНХ СО РАН. 2015. С. 173 – 176.

3 М 03-06-2000. Методика выполнения измерений массовой концентрации паров ртути в атмосферном воздухе, воздухе жилых и производственных помещений атомно-абсорбционным методом с зеемановской коррекцией неселективного поглощения и использованием анализатора ртути РА-915+. //СПб.: ООО «Люмэкс», 2000. 10 с. Методика аттестована ГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» Свид-во № 2420/56-2000 от 11 июля 2000 г

4 Draxler R.R., Rolph G.D. HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model. NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD. 2013. – <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php> (дата обращения: 08.06.2015).

5 Lindberg S., Bullock R., Ebinghaus R. et.al. A synthesis of progress and uncertainties in attributing the sources of mercury in deposition. //AMBIO. 2007. № 36(1). P. 19–32.

6 Sholupov S., Pogarev S., Ryzhov V., Mashyanov N., Stroganov A. Zeeman atomic absorption spectrometer RA-915+ for direct determination of mercury in air and complex matrix samples // Fuel Processing Technology. 2004. V. 85. P. 473–485.

1.5 Трансформация осадочного материала и современный литоморфогенез в областях смешения вод морей Востока Азии (в пределах Восточной Арктики и дальневосточной Субарктики)

Введение

Изучение особенностей трансформации состава осадочного материала в областях смешения пресных соленых вод различных климатических зон – фундаментальная задача глобальной проблемы окраинно-морского седиментогенеза, тесно связанного с природными и антропогенными процессами в прибрежно-морских и морских экосистемах.

С позиций концепции биогеохимических барьеров, разработанной академиком А.П. Лисицыным, развитой учеными ИО РАН, ТОИ ДВО РАН и других академических учреждений, областями смешения пресных-соленых вод считались только приустьевые участки рек [1-6]. В упорядоченной природой последовательности градиентных (барьерных) зон этих областей происходит грандиозная по масштабам трансформация вещества. Уже на ранних стадиях смешения запускаются физико-химические и биологические механизмы преобразования транспортируемого из устьев рек аллохтонного вещества, перераспределяются соотношение форм нахождения и содержание химических элементов, изменяется видовой и численный состав планктонных сообществ - сорбента многих элементов. Флокуляция глинистых и коллоидных частиц с устойчивыми органическими соединениями типа гуминовых и фульвовых кислот (в том числе и при микробиальной деятельности) сопровождается гравитационной седиментацией образовавшихся агрегатов взвеси. Результирующая деятельность перечисленных процессов приводит осаждению в структурно-седиментационных ловушках барьерных зон до 95% ежегодного объема осадочного материала в минеральной, органо-минеральной и органической формах. С аномально высокими темпами в течение длительного времени накапливаются мощные терригенные толщи [6-15].

В пределах дальневосточных морей наиболее обширными областями смешения характеризуются системы «река Анадырь – Берингово море» (Субарктика) и «река Амур – Охотское и Японское моря» (умеренный климатический пояс) с пресноводным стоком соответственно, 350 и 41 км³ [16, 17]. В Восточной Арктике наиболее опресненными являются моря Лаптевых и Восточно-Сибирское с суммарным среднегодовым объемом пресной воды 868 км³/год. При этом, от этого объема материковый сток составляет 82%, атмосферные осадки -18%, но 7% расходуется на испарение пресной воды [18, 19].

Области смешения другого типа характерны для высокоширотных акваторий. Они

формируются в результате совокупного поступления материковых вод и расплавов однолетних и многолетних льдов. Доля талой воды морских льдов в Восточно-Сибирском море оценивается в 960 км^3 , в море Лаптевых 650 км^3 . Вклад расплавов льда в пресноводный баланс Чукотского моря по сравнению с другими акваториями МВА невелик [20].

Различия в пресноводном балансе акваторий МВА отражаются на распространении шлейфов материковых вод, темпах таяния льда, циркуляции водных масс, и в конечном итоге – на характере развития термохалинной структуры. К примеру, распреснение может приводить к уменьшению мощности слоя скачка, усиливать поток тепла в системе «гидросфера-атмосфера».

Таким образом, области смешения вод дальневосточных и восточно-арктических морей России – идеальная естественная лаборатория для изучения процессов биогеохимической и механической (литодинамической) трансформации вещества, а получаемые результаты – ключ к пониманию нередко феноменальных природных процессов.

Основу вновь полученных данных составляют натурные наблюдения на модельных полигонах различных пространственных масштабов:

- в области взаимодействия вод р. Анадырь и Берингова моря;
- в области смешения вод, формирующейся в результате совокупного влияния водного стока рек Лена-Яна и расплавов морских льдов.

1.5.1 Особенности трансформации вещества в субарктической эстуарии реки Анадырь на начальном этапе смешения вод

Субарктический эстуарий реки Анадырь на северо-восточной окраине Азии по водному и твердому стоку занимает 7 место на Северо-Востоке Азии, а в бассейне Берингова моря по этим показателям уступает только северо-американским рекам Юкон и Кузоквиг [16, 17].

Воронкообразная морфологическая структура эстуария р. Анадырь предполагает специфический характер гидролого-морфологических процессов, что представляет наибольший интерес с позиций трансформации вещества. В основу работы положены результаты последней экспедиции ТОИ ДВО РАН в летний период 2013 г. Задачи исследований фокусировались на выполнении гидрологических, литодинамических, биогеохимических, газогеохимических, гидробиологических и гидроакустических наблюдений. Перечисленный комплекс междисциплинарных исследований базировался на регистрации термохалинной структуры, концентрации окрашенного растворенного органического вещества (CDOM), интенсивности фотосинтетически-активной проникающей солнечной радиации (PAR), концентрации растворенного кислорода, хлорофилла «а»,

мутности (CTD-зонд «SeaBird 19 plus»); регистрации параметров поля течений (зонд Infinity). Также выполнялись пробоотбор воды батометрами Niskin для гидрохимических анализов; выделение взвешенного материала; фильтрация больших объемов воды для измерения активности короткоживущих изотопов ^{223}Ra , ^{224}Ra в водной толще как трассера подземного стока (измеритель активности изотопов ^{223}Ra и ^{224}Ra «RADECC»); измерения концентрации углеводородных газов до C_6 (включая CH_4), H_2 , CO , CO_2 в донных осадках, воде и приводной атмосфере (газовый хроматограф SRI 8610C); поиск участков пузырькового переноса газов в водной толще (эхолот Simrad EK1S); отбор донных осадков (дночерпатель Van Veen); гидроакустическое зондирование для выявления особенностей морфологии дна (эхолот Simrad EK1S); фотовидеорегистрация подводных литодинамических обстановок (установка Nikon); отбор фитозоопланктона и бентоса (сеть Джеди, дночерпатель Van Veen). Исследования осуществлялись во второй половине июля 2013 г. с борта водометного речного катера КС-102 «Мирный» (ст. 1-16) и морского катера "Harius Nissan" (ст. 17-24).

Комплекс наблюдений осуществлен в фазу прилива на 24 станциях 422-км разреза. В нижнем течении реки (ст. 1) и речной части эстуария до устья (ст. 2-11) исследованиями были охвачены 237 км, а в морской части - залив Онемен (ст. 12-16), Анадырском лимане (ст. 17-20) и Анадырском заливе Берингова моря (ст. 21-24) - 185 км (рисунок 1.5.1).

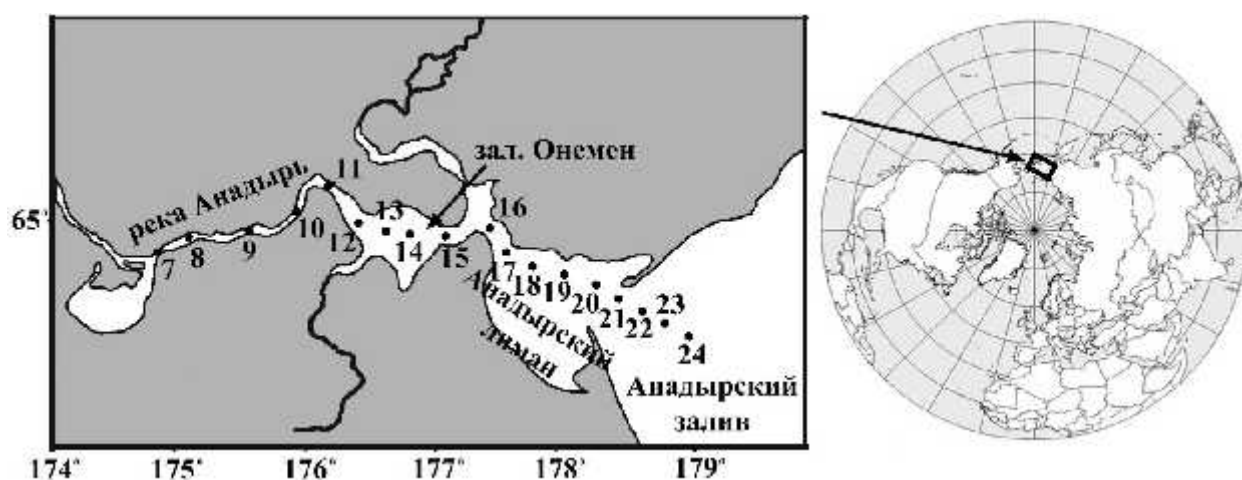


Рисунок 1.5.1 - Район исследований в системе нижнее течение р. Анадырь – Берингово море

1.5.1.1 Трансформация термохалинных, гидрохимических и литодинамических характеристик водной толщи

Гидроакустическим зондированием на разрезе «река-море» выявлен неоднородный по морфометрии рельеф дна. Для речного участка типичны мелководные перекаты, представляющие собой серии гряд (длиной 12÷250 м, высотой 0.3÷3 м), ориентированных вдоль оси потока и сложенных гравийно-галечным материалом с крупнопесчаным

заполнителем. Перекаты маркируют участки эрозийного русла, для которых характерны транзит взвеси и транспорт осадочного материала сальтацией и крипом. Перекаты чередуются с более глубоководными плесами с эрозийно-аккумулятивной направленностью литодинамических процессов. На выходе из устья в залив Онемен скорость стокового течения замедляется. В результате приливного подпора несущая способность потока ослабевает и на фоне физико-химических преобразований усиливается выведение из водной миграции минеральных частиц и органо-минеральных агрегатов взвеси. Поэтому неровности дна в заливе (области аккумуляции) компенсируются тонкозернистыми осадками (ст. 14-15). Весьма значимые вертикальные неоднородности отмечены в рельефе Анадырского лимана и на его входе в Анадырский залив, где стоковыми течениями выработаны узкие эрозийные каналы широтного простираения с глубинами до 30-45 м. В аседиментогенной обстановке транзита взвеси осадки отсутствуют, а на скальном фундаменте залегают галечно-гравийные разности (ст. 16, 20, 22 и др.).

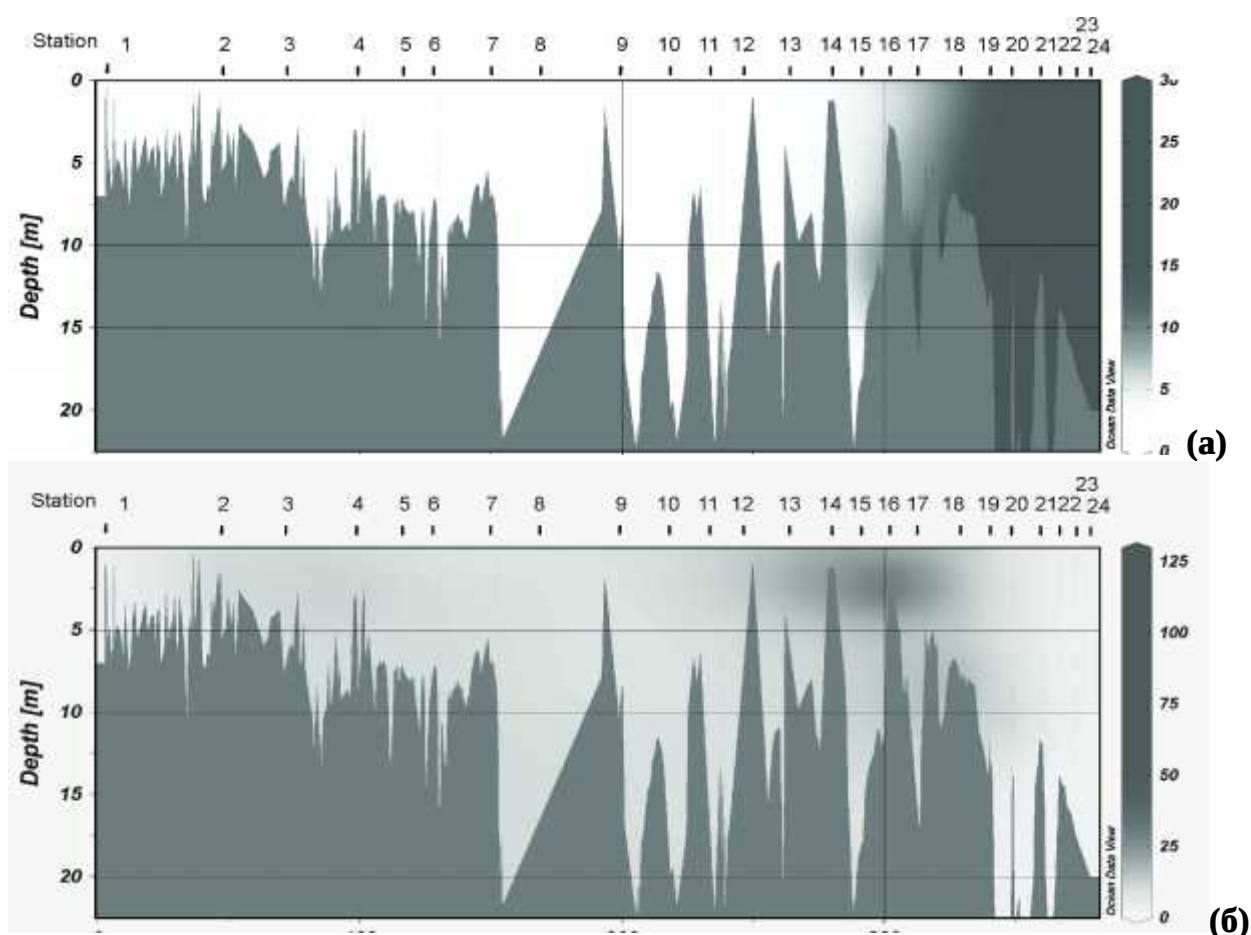


Рисунок 1.5.2 - Пространственная структура распределения на разрезе «река-море» солености (ед. PSU) **(а)** и мутности вод (ед. NTU) **(б)**

В период исследований изохалина <0.5 ‰ не распространялась выше ст. 15 (Рисунок 1.5.2а). Проникновение морских вод в зал. Онемен лимитировали несколько факторов: (а)

специфика морфологии эстуария. Приливной поток испытывает кардинальную трансформацию именно при входе в горло лимана - наиболее протяженный узкий участок эстуария с пороговым рельефом дна; (б) повышенная водность реки в условиях еще не закончившегося снеготаяния в водосборном бассейне и наложившегося на него дождевого паводка. В нижнем течении реки влияние моря прослеживалось только в колебаниях уровня полусуточного приливного масштаба высотой до 10-20 см. На удалении примерно 180 км от устья, в районе переката Намывной с пороговым рельефом, они сглаживались, а средний уровень продольного профиля дна пересекается со средним уровнем поверхности зеркала Анадырского лимана. Поэтому, данный участок считается речной (верхней) границей эстуария. Можно констатировать, что в период работ высокоградиентная по изменениям солености область смешения не распространялась вглубь залива Онемен (Рисунок 1.5.2а), что должно отразиться в распределении других характеристик водной толщи. Так, при входе в горло Анадырского лимана из морской части эстуария резкое сокращение площади живого сечения потока вызывает его трансформацию в мощное струйное течение (с инструментально зарегистрированной результирующей скоростью в отлив до 420 см/с). Гидравлический подпор способствует разрушению структурных связей потока, способствует увеличению его плотности за счет концентрирования взвеси. В пределах этого гидродинамического барьера содержание взвеси (ВМ) возрастает в 16 раз по сравнению с водами залива Онемен, а горизонтальные градиенты составляют 1.1 мг/л/100 м, как например между ст. 15-17 (Рисунок 1.5.2б). Слабо осолоненные речные воды ранней стадии смешения характеризовались высокими концентрациями кремния Si (до 127 мкмоль/л) и CDOM, низкими значениями общей щелочности ($Alk=116\div160$ мкмоль/кг) и pH (то же отмечено и на участке выше, ст. 2-14). Они были пересыщены углекислым газом и служили его источником в атмосферу. Парциальное давление CO_2 (pCO_2) достигало величин 700 мкратм, сопоставимых с зафиксированными авторами в реках Восточной Сибири [21]. Уже на выходе из горла лимана при увеличении площади живого сечения потока содержание ВМ быстро уменьшилось почти на порядок (градиенты до 0.7 мг/л/100 м). Произошло изменение направления потока углекислого газа между водной поверхностью и атмосферой. При существенном снижении мутности вод активизировались процессы фотосинтеза и величины pCO_2 опустились ниже равновесных значений. Поверхностные воды оказались недосыщены углекислым газом и служили стоком для атмосферного CO_2 . Мористее, на выходе из лимана в Анадырский залив Берингова моря содержание ВМ сократилось еще в 3 раза. Концентрации Si в шлейфе стоковых вод уменьшились до 12 мкмоль/л, а значения Alk увеличились до 1895 мкмоль/кг. В осолоненных водах залива еще более интенсифицировались процессы первичного продуцирования. Они сопровождалась

значительной ассимиляцией биогенных элементов и пересыщением кислородом до 117%.

В целом, содержание взвеси на разрезе «река-море» варьировало в диапазоне 0.1÷313.4 мг/л - различия составляли почти 3000 раз. Наиболее низкие значения выявлены в устье притока Белая (ст. 1). В фронтальной зоне смешения вод этой горной реки с водами главного русла Анадыря в нескольких километрах ниже по течению, горизонтальные градиенты составляли 15 мг/л/100 м.

Концентрации растворенного в воде CH_4 на разрезе уменьшались в сторону моря в среднем в 15 раз. Максимальные значения (до 153 нМ) выявлены у устьев низкопорядковых рек – возможное свидетельство гидравлической связи с дистрофными заболоченными водоемами Анадырской низменности, где идет разложение органического вещества. Измеренные концентрации существенно превышали равновесные величины атмосферного CH_4 в данной гидрометеорологической обстановке (~4 нМ). В результате, в речной части эстуария и заливе Онемен наблюдалась эмиссия CH_4 из водной толщи в атмосферу.

1.5.1.2 Поведение природных радионуклидов ^{224}Ra и ^{223}Ra в процессе транзита вод через область смешения

Наименьшая активность из ^{224}Ra и ^{223}Ra была зафиксирована в нижнем течении реки Анадырь перед впадением в Анадырский лиман. Между заливом Онемен и Анадырским лиманом (ст. 15-17) выявлена высокоградиентная зона области смешения, хорошо идентифицируемая по гидрохимическим и седиментологическим признакам [21]. Гидравлический подпор способствовал разрушению структурных связей взвесенесущего потока и увеличению его плотности за счет концентрирования взвеси (ВМ). Рост значений ВМ достигал 16 раз, а горизонтальные градиенты 1.1.мг/л/100 м [22]. Максимальное содержание ВМ на поверхности достигло на станции 18, там же была зарегистрирована максимальная активность из ^{224}Ra . При выходе из пролива содержание ВМ сокращалось почти на порядок с интенсивностью до 0.7 мг/л/100 м, параллельно с этим наблюдалось и падение активности короткоживущих изотопов радия (Рисунок 1.5.3).

Отмеченная выше закономерность поведения короткоживущих изотопов радия объясняется следующим. Изотопы радия начинают поступать в солоноватые воды области смешения в момент контакта с взвесью. Последняя содержит абсорбированные изотопы тория, являющиеся постоянными источниками короткоживущих дочерних изотопов радия.

Поскольку активность ^{232}Th в большинстве ВМ значительно выше ^{235}U , первоначальная активность ^{224}Ra будет существенно превышать активность ^{223}Ra . Во взвеси отношение активности $^{232}\text{Th}/^{235}\text{U}$ и $^{228}\text{Th}/^{227}\text{Th}$ обычно меняется в диапазоне от 16 до 33 в зависимости от Th/U фракционирования [23]. В нашем случае, после обогащения

солончатых вод растворенными изотопами радия отношение активности $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}=28$. После прохождения барьерной зоны и осаждения львиной доли ВМ, растворенные короткоживущие изотопы радия изолированные от источника начинают распадаться, в результате чего их активность начинает уменьшаться вместе с отношением активности $^{224}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$.

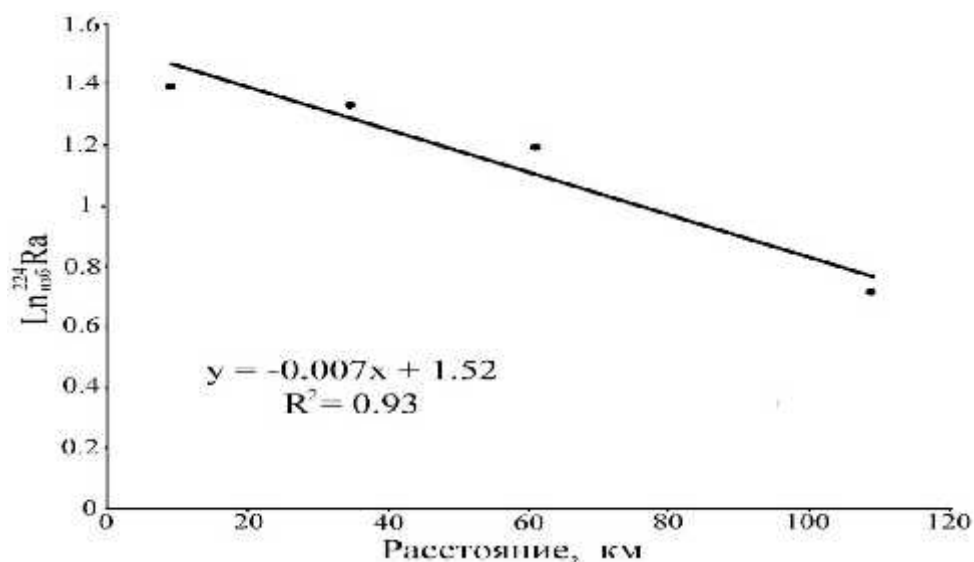


Рисунок 1.5.3 - График зависимости $\ln \frac{^{224}\text{Ra}}{^{223}\text{Ra}}$ от расстояния между устьем и Анадырским заливом

Используя описанную выше закономерность и основываясь на предположении о доминировании смешения над адвекцией в ходе транспорта изотопов радия через область смешения, можно оценить скорость горизонтального смешения речных и прибрежно-морских вод. Результаты свидетельствуют, что время пребывания солончатых речных вод в Анадырском лимане после их обогащения радием (ст. 17) составляет примерно двое суток. Причем на входе в лиман скорость транспорта была гораздо ниже, чем на выходе. Это связано с несколькими обстоятельствами:

- воздействием гидравлического подпора, выводящего из транзита большую часть взвеси – источника радия и существенно замедляющего скорость взвесенесущего потока воды;
- наложению фазы отлива на стоковое течение, значительно усилившего результирующую скорость потока во время работ.

В Анадырском заливе, по мере увеличения площади живого сечения и соответственно уменьшения скорости потока, «возраст радия» увеличился на порядок.

Показатель активности ^{224}Ra и ^{223}Ra является еще и индикатором направленности литодинамических процессов. Отсутствие роста активности активности ^{224}Ra и ^{223}Ra во

взвеси придонных вод – свидетельство отсутствия ресуспензии.

1.5.2 Некоторые черты литоморфогенеза в области смешения вод арктического типа

Как было отмечено в разделе 1.5, область смешения вод арктического типа формируется в результате взаимодействия речного стока, расплавов льда и водной массы арктического шельфа. Так, ежегодный суммарный пресноводный сток в море Лаптевых в течение арктического лета составляет 1410-1430, в Восточно-Сибирское море - 1230-1250 км³. Такой объем может вызвать распреснение поверхностных вод на 10-15% [18, 19].

Ранее на одном из участков юго-восточной части моря Лаптевых интерферометрическим гидролокатором бокового обзора «Гидра» в форматах 2D и 3D получен ряд изображений поверхности дна [24]. На рисунке 1.5.4а,б представлено изображение участка поверхности дна (глубина ~15 м) с множеством выпуклых полигонов. Они имели клумбовидные (тетрагональные) очертания, размеры ~5÷15 м и высоту относительно днища ложбин протаивания до 1 м. Сравнивая рисунок 1.5.4а-в приходим к выводу о сходстве морфоскульптуры поверхности дна с рельефом современной поймы озерно-аллювиальных приморских низменностей Восточной Арктики. Рассмотрим причину феномена поразительного сходства реликтовой затопленной реликтовой морфоскульптуры с современным рельефом восточно-сибирских приморских низменностей.

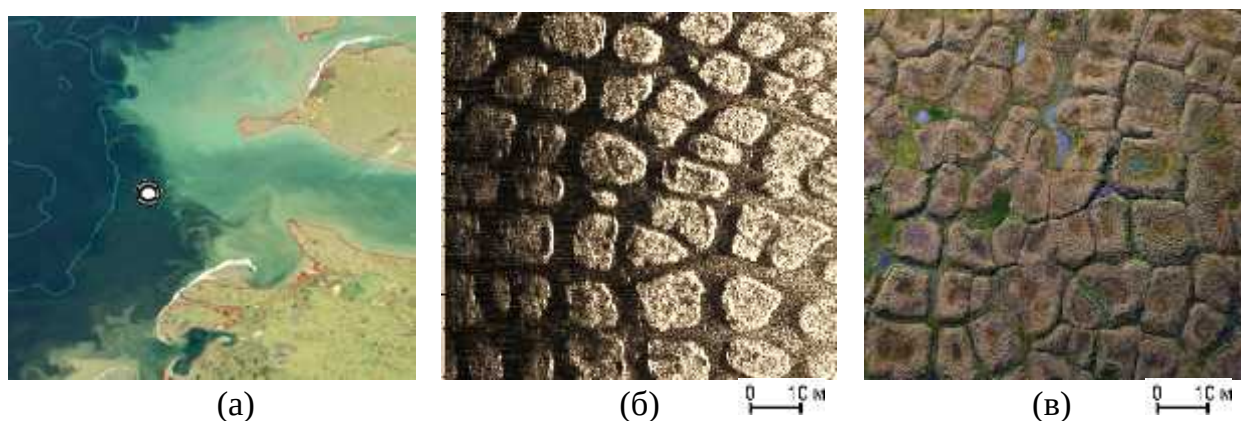


Рисунок 1.5.4 - Точка гидролокации в юго восточной-части моря Лаптевых (а), изображения полигонального микрорельефа на дне (б) и на поверхности прилегающей приморской низменности (в аэрофото М.Н. Григорьева)

В безледный период акватория района работ подвержена тепловому и распресняющему влиянию стока рек Лена и Яна. Водная толща отличается умеренной стратификацией (величина безразмерного показателя Хансена-Раттри составляет 0.1÷0.6) и

устойчивостью вертикальной термохалинной структуры к волновому перемешиванию. Слой сезонного скачка температуры и солености в районе работ заглублен до горизонта 11-14 м, т.е. находится в нескольких метрах от дна. Вертикальные градиенты солености могут достигать $2.6 \div 4.9\text{‰/м}$, температуры - $4.7^\circ/\text{м}$. Ослабление вертикального теплообмена на этом фоне проявляется в снижении температуры под слоем скачка на 1° и в увеличении солености на 6‰ в сравнении с поверхностными водами. Примерно в 4 раза вблизи дна уменьшается содержание взвеси. Расчеты по известным литодинамическим алгоритмам [25] показывают, что интенсивность воздействия штормового волнения на поверхность дна ослаблена, из-за чего деформация рельефа и эрозия вследствие придонного трения незначительны. Необходимо отметить, что в более мелководном проливе Дмитрия Лаптева (Восточно-Сибирское море), всего в 46 км восточнее района работ, ветровым перемешиванием обычно охватывается толща вод до дна (Рисунок 1.5.5). В результате, придонные воды имеют положительную температуру, а подводная криолитозона испытывает не только негативные последствия гидродинамического воздействия, но и тепловой прессинг [26, 27].

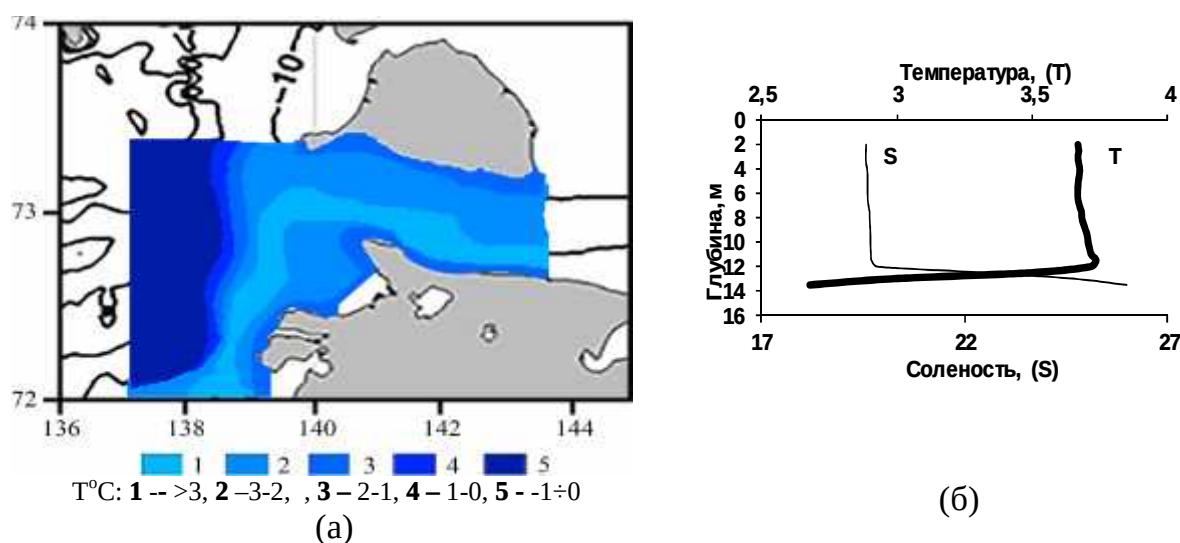


Рисунок 1.5.5 - Пространственная структура распределения температуры придонных вод (а) и типовой вертикальный термохалинный разрез в точке гидролокации (б)

В точке гидролокации дна виброкорером была вскрыта 181 см толща отложений. Она стратифицирована по текстурно-структурным признакам и имеет преимущественно алевритово-пелитовый (суглинистый) литологический состав (Рисунок 1.5.6). Поверхностные 0-41 см - уплотненные и пластичные, что может быть результатом сезонного синерезиса по следующим причинам. Зимний температурный минимум воды у дна достигает

-1.6° при среднегодовом показателе -0.5° и летнем максимуме 3.5°. Материковый сток уменьшает соленость придонных вод до 18‰ летом и 26‰ подо льдом. Состав основных макрокомпонентов поровых вод поверхностных отложений соответствует придонной воде и указывает на слабую засоленность, что отмечалось и другими исследователями [28]. Осадочная толща имеет неустойчивую цветовую текстуру буро-бежевых оттенков, отражающую этапы окислительно-восстановительного диагенеза на фоне сезонного синерезиса. С поверхности отложения перекрыты бурой пленкой, вероятно, гелей гидроксидов железа и марганца. В интервале 0÷20 см они светло-бурого цвета за счет диффузии в поровые воды восстановленных гидроксидов этих металлов до соединений Fe(II) и Mn(II), а ниже – светло-бежевые. Агрегация коллоидов металлов при участии глинистых частиц и органического вещества может являться дополнительным фактором сжатия и усиления пластичности отложений [29; и др.]. С горизонта 41 см отложения вновь уплотняются, приобретают цветовую гамму от светло-серой до коричневатой-серой с сизоватым оттенком. Появляются прослои намывного торфа, перемешанного с минеральными песчаными алевритами (супесями) – признаки озерно-болотных условий осадконакопления. При первичном описании керна, прослойки светло-бежевого цвета на гор. 41-61 см изменили свой цвет в течение нескольких часов до голубовато-синего. Катализатором подобной диагенетической трансформации могло служить быстрое окисление Fe(II) и Fe(III) в аэробной обстановке – реакция, типичная для минералов группы вивианита, образующихся в исключительно восстановительных условиях, включая и заболоченные арктические равнины [30].

Очевидно, что залегающие выше гор. 41 см отложения формировались в прибрежно-морских условиях криолитоморфогенеза, а подстилающая их толща – в континентальных. Изменение обстановок могло произойти ~8 тыс. лет назад, когда во время голоценового термического максимума трансгрессивные воды достигли района работ. Данный возрастной рубеж получен на основании анализа гляциоэвстатической кривой палеоуровня восточно-арктических морей [31]. Последующие ~3 тыс. лет район находился в аседиментогенной области волнового воздействия, что способствовало постепенной трансформации ЛК в безлдястые толщи отложения и их размыву [32]. В течение этого периода урез береговой линии перемещался вглубь суши по нашим оценкам со средней скоростью 17 м/год.

Средние темпы трансгрессии ~5 мм/год могут указывать на доминирующую роль береговой термоабразии в продвижении моря вглубь континента, что согласуется с представлениями Н.Н. Романовского с коллегами. Примерно 5 тыс лет назад уровень моря стабилизировался, природные условия приблизились к современным, и район работ оказался в зоне ограниченного воздействия волнения на дно.



Рисунок 1.5.6 - Структурно-текстурные особенности осадочной толщи

Расчет показывает, что среднемноголетние темпы накопления 41 см толщи голоценовых отложений составят ~ 0.1 мм/год. Такой низкий показатель характерен для областей гравитационной седиментации. Мы показали, что последствия диагенетических преобразований отразились в уплотнении, усилении пластичности и связности структуры современных отложений, чем вероятно и обусловлена их устойчивость к донной эрозии в этом районе моря.

Результаты выполненных исследований выявили сходство морфоскульптурных форм дна района работ с полигонально-валиковым рельефом прилегающей к побережью приморской низменности. Видимые изменения зафиксированы только в расширении до нескольких раз межполигонных ложбин протаивания. Субаквальный полигонально-валиковый рельеф плащеобразно облекается маломощным чехлом голоценовых отложений, из-за чего все его деформации, приобретенные на этапе континентального и прибрежно-морского криолитоморфогенеза, хорошо экспонируются на поверхности дна.

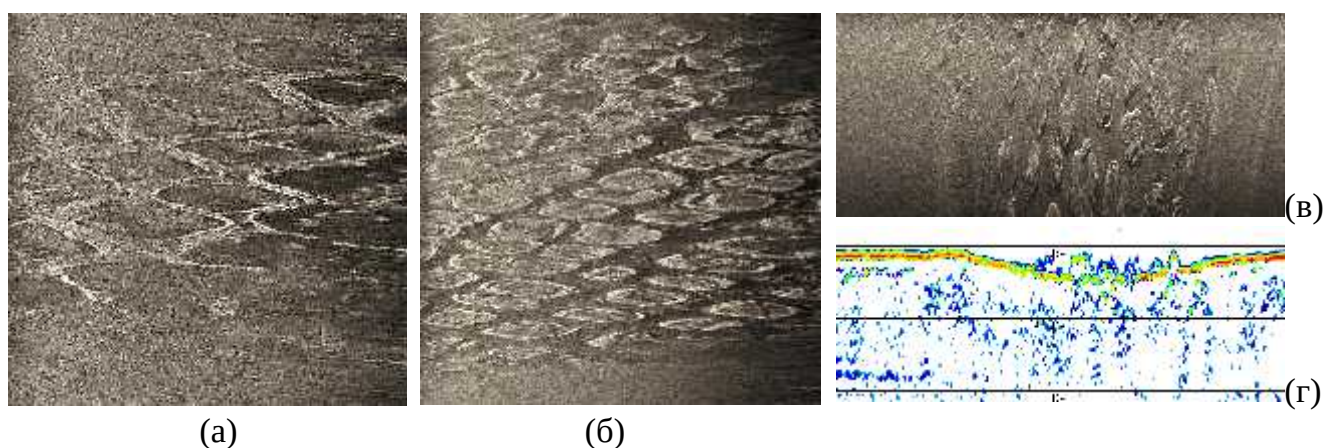


Рисунок 1.5.7 - Формы полигонального реликтового микрорельефа на шельфе юго-восточной части моря Лаптевых (а-в – глубины 12-14 м; в – глубина 10 м, гидролокационный снимок совмещен с эхограммой профилографа «SES-2000 standard, данные Н.Н. Дмитревского)

Как видно, мы имеем дело с своеобразной консервацией реликтового рельефа, причины которой могут состоять в следующем. В масштабе последних тысячелетий

голоцена субэвральный рельеф района работ во время трансгрессивного подъема уровня моря подвергался волновому воздействию относительно кратковременный период. Предполагая стабильные и близкие к современным условия криолитоморфогенеза последние ~5 тыс. лет после завершения трансгрессии, можно говорить о лимитировании волновой эрозии дна в это время существованием вертикальной термохалинной структуры водной толщи и продолжительным ледовым периодом. Диагенетические преобразования при низких темпах седиментации могли вызвать уплотнение, усиление пластичности и связности частиц толщи голоценовых осадков, и таким образом подготовили ее к повышенной сопротивляемости размыву и устойчивости к деформации рельефа в период прибрежно-морского криолитоморфогенеза. Определенный вклад в эти преобразования может вносить агрегация коллоидов металлов при участии глинистых частиц и органического вещества [29]. Расчетное сопротивление сдвигу σ пластичной и уплотненной толщи голоценовых осадков может достигать $1 \div 2 \text{ Н/см}^2$, а размывающая скорость $u_o > 100 \text{ см/с}$. При указанных значениях u_o в движение способны вовлекаться даже грубообломочные литологические разности [25, 28]. Однако, столь высокие придонные скорости не характерны для данного участка юго-восточной части моря Лаптевых [33-38]. Ранее полигональный микрорельеф был обнаружен гидролокацией в Колымском заливе во время морских геофизических исследований Янской ГРЭ ПГО «Якутскгеология» в диапазоне глубин 13-19 м. Было показано большее соответствие его черт современному полигональному микрорельефу суши на глубинах более 15 м.

На гипсометрическом уровне -12-14 м полигональный рельеф выражен менее отчетливо, что объясняется воздействием волновых процессов на фоне ослабленной вертикальной термохалинной стратификации вод (Рисунок 1.5.7 а, б). На глубине 10 м поверхность дна уже хорошо препарирована волнением, но в западинах еще сохранились сильно измененные остатки полигонального микрорельефа (Рисунок 1.5.7 в, г).

Резюмируя все выше перечисленное отметим, что сохранность морфоскульптуры реликтового полигонально-валикового микрорельефа на мелководном шельфе отражает результат совокупного воздействия двух факторов: палеогеографического (обеспечившего кратковременность пребывания рельефа в зоне волнового размыва и современное гипсометрическое положение) и гидрометеорологического (контролирующего состояние вертикальной плотностной стратификации вод и продолжительность ледового режима).

1.5.3 Выводы и практическое применение результатов

Своеобразие морфологического строения эстуария реки Анадырь, представляющего комбинацию последовательно сообщающихся между собой акваторий

(полузамкнутых залива Онемен и Анадырского лимана и открытого Анадырского залива), предопределили специфику водной миграции осадочного материала в приемный бассейн стока. Градиентные по распределению солености и взвеси зоны эстуария реки Анадырь маркируют последовательность расположения природных барьеров, где происходит и трансформация структуры распределения характеристик водной толщи. При реверсивном характере полусуточного прилива незначительный вынос речной взвеси в Анадырский залив происходит только за счет остаточного стокового течения в фазы отлива. Полузамкнутые акватории залива Онемен и Анадырского лимана в данной гидрологической обстановке являются ловушками терригенного материала.

Показана исключительная ценность ^{224}Ra и ^{223}Ra , как трассеров оценки скорости горизонтального смещения и времени транзита вод в эстуарии. Активность и перенос этих природных радионуклидов связаны с поступлением ВМ, структурно-морфологическими особенностями приемного бассейна и динамикой водной толщи.

В масштабе последних тысячелетий субаэральный рельеф во время голоценовой трансгрессии подвергался воздействию волновых процессов относительно кратковременный период. Предполагая относительно стабильные и близкие к современным условия криолитоморфогенеза в последние 5 тыс. лет после завершения трансгрессии, можно говорить о незначительной роли динамической эрозии дна. Она лимитируется устойчивой термохалинной стратификацией водной толщи в короткий безледный период. Диагенетические процессы, включая и сезонный синерезис на фоне низких темпов седиментации, подготовили поверхностную толщу голоценовых отложений к повышенной сопротивляемости размыву, и таким образом, к ослабленной деформации затопленного рельефа за период прибрежно-морского криолитоморфогенеза. По указанным причинам наблюдается схожесть полигонально-валиковой морфоскульптуры рельефа современной приморской низменности с одним из участков дна на юго-востока моря Лаптевых, где видимые изменения отмечены только в расширении до нескольких раз межполигонных ложбин протаивания. Подводный полигонально-валиковый рельеф плащеобразно облекается маломощным чехлом голоценовых отложений, поэтому все его деформации, приобретенные на этапе континентального и прибрежно-морского криолитоморфогенеза, хорошо экспонируются на поверхности дна.

Очевидно, что области смешения вод дальневосточных и восточно-арктических морей России - идеальная естественная лаборатория для изучения процессов биогеохимической и механической (литодинамической) трансформации вещества. Можно утверждать, что получаемые результаты - ключ к пониманию природных, нередко феноменальных процессов в областях смешения вод арктических и субарктических акваторий.

Список использованных источников

- 1 Аникиев В.В., Дударев О.В. Оценка влияния динамического режима вод и седиментационного барьера на распределение и баланс взвешенного вещества в эстуарии р.Амур-Охотское и Японское моря // ДАН СССР. 1991. Т.316. №5. С.1223 - 1226.
- 2 Аникиев В.В., Варлатый В.П., Дударев О.В., Недашковский А.П., Сагалаев С.Б. Распределение, потоки и баланс углерода в эстуарии р. Анадырь - Берингово море // Геохимия. 1996. №12. С.1220 - 1229.
- 3 Аникиев В.В., Дударев О.В., Колесов Г.М. и др. Влияние литодинамических факторов на распределение благородных металлов во взвеси и донных отложениях морской части эстуария р. Анадырь // Геохимия. 1997. № 5. С. 535 - 551.
- 4 Аникиев В.В., Дударев О.В., Колесов Г.М., Боцул А.И. Уткин И.В. Факторы, определяющие мезомасштабную изменчивость распределения взвешенного вещества и химических элементов в водах эстуария р. Амур-Охотское море //Геохимия. 2001. № 1. С. 71 - 94.
- 5 Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735 - 747.
- 6 Биогеохимия океана. М.: Наука. 1983. 283 с.
- 7 Гордеев В.В. Геохимия системы «река-море». М. 2012. 452 с.
- 8 Дударев О.В., Боцул А.И., Семилетов И.П., Чаркин А.Н. Современное осадкообразование в прибрежно-шельфовой криолитозоне пролива Дмитрия Лаптева (Восточно-Сибирское море) // Тихоокеанская геология. Т. 22. № 1. 2003. С. 51 - 60.
- 9 Дударев О.В., Семилетов И.П., Чаркин А.Н. Масштабы неоднородностей состава взвеси в системе река Лена – море Лаптевых // ДАН. 2006. Т.411, № 4. С.527-534
- 10 Дударев О.В., Чаркин А.Н., Семилетов И.П., Крухмалев А.В. Пространственно-временная изменчивость изотопного состава органического углерода взвеси в нижнем течении и эстуарии реки Амур // ДАН. 2010. Т. 433, № 6. С. 822 - 830.
- 11 Емельянов Е.М. Барьерные зоны в океане. Калининград: Янтарный сказ. 1998. 415 с.
- 12 Лисицын А.П. Лавинная седиментация // Лавинная седиментация в океане. //Изд. Рост. Ун-та. 1981. С. 3 - 59.
- 13 Монин А.С., Гордеев В.В. Амазония. М.: Наука. 1988. 216 с.
- 14 Eisma D. Flocculation and de-flocculation of suspended matter in estuaries

// *Neth. J. of Sea Res.* 1986. V. 20. N 2/3. P.183 - 199.

15. Sholkovitz E.R. Flocculation of dissolved organic and inorganic matter during the mixing of the river water and seawater // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 1976. V. 40, № 7. P. 831 - 846.

16. Ионин А.С., Медведев В.С., Павлидис Ю.А. Шельф: рельеф, осадки и их формирование. - М.: Мысль, 1987. 205 с.

17. Добровольский С.Г. Глобальные изменения речного стока. - М.: ГЕОС. 2011. 659 с.

18 Шпайхер А.О. Количество пресной воды в морских льдах полярных областей земного шара //Л.: Гидрометеиздат. 1976 Т. 323. С. 168 - 177. (Труды ААНИИ / Гос. ком. СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды Аркт. и антаркт. НИИ).

19 Кочетов С.В. Оценка пресноводного баланса морей Лаптевых и Восточно-Сибирского / С.В. Кочетов, В.Е. Круглова, Л.А. Тимохов // Научные результаты экспедиции ЛАПЭКС-93. – СПб.: Гидрометеиздат, 1994. – С. 107-118.

20 Arrigo K.R. Annual cycles of sea ice and phytoplankton in Cape Bathurst Polynya, southeastern Beaufort Sea Canadian Arctic / K.R. Arrigo, G.L. van Dijke // *Geophys. Res. Lett.* 2004. Vol. 31. – P. L08304. doi:10.1029/2003GL018978.

21 Пипко И.И., Пугач С.П., Дударев О.В., Семилетов И.П., Чаркин А.Н. Карбонатные параметры вод реки Лены: характеристики и распределение // *Геохимия.* 2010. Т. 48, №11. С. 1206 - 1213.

22 Дударев О.В., Чаркин А.Н., Винников А.В., Пипко И.И., Пугач С.П., Космач Д.А. Черных Д.В., Семилетов И.П. Биогеохимические исследования в системе «река Анадырь – Берингово море» в летний период 2013 г. // *Океанология.* 2015. № 55. С. 1-5.

23 Moore W.S., and Arnold R. Measurement of ^{223}Ra and ^{224}Ra in coastal waters using delayed coincidence counter // *J. Geophys. Res.* 1996. № 101. P. 1321–1329.

24 Дударев О.В. Новые данные о субаэральном полигонально-валиковом рельефе и факторах, контролирующих его трансформацию и современное состояние на Восточно-Сибирском шельфе / О.В. Дударев, А.Н. Чаркин, И.П. Семилетов, Н.Е. Шахова, Н.Н. Дмитриевский, Л. И. Лобковский, Р.А. Ананьев, А.А. Мелузов, А.Г. Росляков, В.И. Сергиенко // *ДАН.* 2014. Т. 457, № 2. С. 226 – 229.

25 Лонгинов В.В. Очерки литодинамики океана / В.В. Лонгинов. – М.: Наука, 1966. – 244 с.

26 Дударев О.В., Семилетов И.П., Чаркин А.Н., Боцул А.И. Седиментационные обстановки на приконтинентальном шельфе Восточно-Сибирского моря // *ДАН.* 2006. Т. 409, № 6. С. 822-827.

- 27 Дударев О.В., Чаркин А.Н., Семилетов И.П. и др. О современном состоянии подводных островных реликтов на Восточно-Сибирском шельфе // ДАН. 2008. Т. 419. № 2. С. 255 - 261.
- 28 Молочушкин Е.Н. К мерзлотной характеристике донных пород восточной части Ванькиной губы, море Лаптевых // Вопросы географии Якутии. Вып. 6. Л.: Гидрометеиздат. 1973. С. 123 - 129.
- 29 White W.A. Colloid phenomena in sedimentation of argillaceous rocks // J. Sediment. Petrol. 31. 1961. P. 560-570.
- 30 Годовиков А.А. Минералогия. М.: Недра. 1975. - 520 с.
- 31 Дегтяренко Ю.П., Пуминов А.П., Благовещенский М.Г. Береговые линии восточно-арктических морей в позднем плейстоцене и голоцене // В кн.: Колебания уровня морей и океанов за 15000 лет. М.: Наука. 1982. С. 179 - 184.
- 32 Гаврилов А.В., Романовский Н.Н., Хуббертен Х.-В. Палеогеографический сценарий послеледниковой трансгрессии на шельфе моря Лаптевых // Криосфера Земли. 2006. Т. X, № 1. С. 39 - 50.
- 33 Совершаев В.А. Берегоформирующие факторы и районирование берегов морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского по динамическому принципу / В.А. Совершаев: автореф. дис. канд. геогр. наук. – М.: МГУ -1980. 25 с.
- 34 Войнов Г.Н. Лунные месячный и полумесячный приливы в арктических морях // Океанология. 2007. Т. 47, № 5. С. 674 - 684.
- 35 Войнов Г.Н. Основные закономерности приливных течений в море Лаптевых // Научные результаты экспедиции ЛАПЭКС-93 / отв. ред. Л.А. Тимохов. – М.: Гидрометеиздат, 1994. С. 119-131.
- 36 Войнов Г.Н. Приливные течения // Вертикальная структура и динамика подледного слоя океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – С. 97 - 101.
- 37 Молочушкин Е.Н. Влияние термоабразии на температуру многолетнемерзлых пород в прибрежной зоне моря Лаптевых // Докл. и сообщ. II Межд. конф. по мерзлотовед. – Якутск, 1973. Вып. 2. С. 52 - 58.
- 38 Лоция моря Лаптевых. – СПб: ГУН и О МОРФ. 1997. 278 с.

1.6 Изучение пространственно-временной динамики ПАУ в поверхностных водах северо-западной части Японского моря

Введение

В настоящее время загрязнение ПАУ широко исследуется для прибрежных акваторий морей Европы, Южной и Северной Америки и Юго-Восточной Азии [1-4]. В последнее десятилетие японскими учеными [5,6] ведется изучение распространения ПАУ у берегов в юго-восточной части Японского моря. Однако, в северо-западной части моря эти исследования являются разрозненными и единичными [7,8].

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) являются широко распространенными органическими поллютантами, образующимися при сгорании большинства органических веществ и оказывающими вредоносное влияние на сухопутные и морские организмы [9,10]. В морскую среду ПАУ поступают главным образом из атмосферы на аэрозольных частицах, с осадками, а также непосредственно через атмосферно-водный обмен или со стоком рек [11]. Также возможно прямое поступление ПАУ вследствие разливов нефти и нефтепродуктов при их транспорте или при утечке топлива с судов [5]. Соответственно, поверхностные воды для ПАУ являются главными “воротами” при вхождении их в водную толщу морей и океанов.

Японское море имеет важное экономическое и экологическое значение для России и стран, берега которых омывает. Российские территориальные воды расположены в северной части Японского моря, где наиболее освоенной акваторией является залив Петра Великого, и входящие в его состав внутренние заливы: Посъета, Амурский, Находка и др. (рис. 1.6.1). Подъем экономики России в 2000-е годы привел к активизации и нарастанию темпов промышленного роста, увеличивая объемы поступающих в водную среду поллютантов, что коснулось и акваторий залива Петра Великого [12]. К тому же сосредоточение на берегах залива более 80% населения Приморья обуславливает большие объемы бытовых выбросов и стоков. Вклад в загрязнение залива Петра Великого внутренних заливов различен и зависит от объемов промышленных и бытовых выбросов, поставляемых прибрежными территориями [13]. Все эти факторы приводят к необходимости изучать пространственное и временное распределение ПАУ в поверхностных водах прибрежных и глубоководных районов северо-западной части Японского моря.

Материалы, методы, район работ

Отбор проб воды производился, используя батометры Нискина, в экспедициях в поверхностных водах заливов Находка (ноябрь 2011, апрель 2012), Посъета (февраль, май, июль и ноябрь 2013) и в Амурском заливе (июнь 2015) (карта заливов представлена на рис. 1), а также в открытой части Японского моря (июль 2009, рис.1.6.2).

Отбор, пробоподготовка и анализ образцов воды и взвеси осуществлялись методами, представленными в статье [14]. Было идентифицировано по 13 соединений ПАУ в воде (РПАУ) и ПАУ на взвеси (ВПАУ): ПАУ с 3 кольцами - аценафтен (Ace), флуорен (Fle), антрацен (Ant); ПАУ с 4 кольцами - флуорантен (Flu), пирен (Pyr), бензо[а]антрацен (BaA), хризен (Chr); ПАУ с 5 кольцами - бензо[к]флуорантен (BkF), бензо[б]флуорантен (BbF), бензо[а]пирен (BaP), дибензо[а,h]антрацен (DBA); ПАУ с 6 кольцами - бензо[g,h,i]перилен (BgPe), инденопирен (IDP).

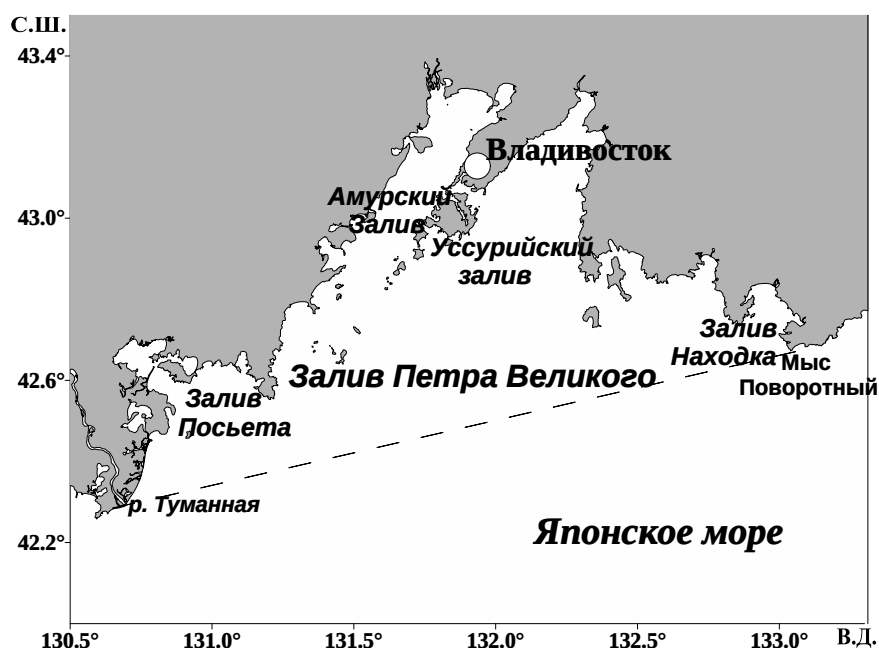


Рисунок 1.6.1 - Карта залива Петра Великого, с обозначенными внутренними заливами, в которых производился отбор образцов.

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования показали наличие сезонной изменчивости ПАУ в поверхностных водах заливов Находка и Посъета. В холодный период года отмечалось повышенное содержание ПАУ в водах этих заливов (табл. 1.6.1), что, вероятно, связано с

увеличивающейся антропогенной нагрузкой в этот период, когда к постоянно действующим в исследуемых районах источникам загрязнения добавлялись выбросы от котельных и частного отопления. Такое предположение подтверждает расчет маркерных соотношений $Flu/(Flu+Pyr)$, $BaA/(BaA+Chr)$, $IDP/(IDP+BgPe)$, который показал наличие ПАУ, образованных при сжигании угля, в холодное время года в обеих акваториях. Следует отметить, что в весенне-летний период в водах заливов присутствовали, главным образом, ПАУ от сжигания нефтепродуктов и ПАУ петрогенного происхождения.



Рисунок 1.6.2 - Расположение станций пробоотбора в открытой части Японского моря в июле 2009.

Результаты, полученные в ходе работ, представлены в таблице 1.6.1.

Таблица 1.6.1. Суммарные концентрации РПАУ и ВПАУ в поверхностной воде исследованных заливов.

Исследуемая акватория	Дата	РПАУ, нг/л	ВПАУ, нг/л	Преобладающие ПАУ
Залив Находка	Ноябрь 2011	40-72 (56,4)	0,52-1,36 (1,03)	В воде - Fle, Ace, Pyr, Flu; во взвеси –Pyr, Flu, Fle, BgPe
	Апрель 2012	8,1-28,9 (14,4)	0,69-4,1 (2,2)	
Залив Посьета	Февраль 2013	15,1-38,9 (23,7)	0,74-7,35 (2,76)	В воде - Ace, Pyr, Fle; во взвеси – Flu, Pyr (летом Ace, Fle)
	Май 2013	21,9-31,5 (25,2)	1,12-1,87 (1,35)	
	Июль 2013	6,1-7,9 (6,9)	0,93-1,94 (1,40)	
	Ноябрь 2013	10,2-14,0 (11,6)	1,08-2,88 (2,05)	

Амурский залив	Июнь 2015	8,3-44,9 (17,4)	7-34,0 (19,7) 134,5 на 1 станции	В воде - Fle, BaP, Pyr; во взвеси – BgPe, BbF, IDP
Открытая часть моря	Июль 2009	-	1,2-4,4	Ace, Pyr, Fle, Flu

Примечание. В скобках приведены средние значения суммарных концентраций ПАУ.

Изучение ПАУ в Амурском заливе в июне 2015 г. обнаружило рост их содержания в поверхностной воде в сравнении с 2005 г., когда суммарная концентрация 10 ПАУ изменялась в пределах 3,6-17,5 нг/л [8]. Значительное увеличение содержания ПАУ в водах залива за 10 лет можно объяснить продолжающимся в течение этого периода подъемом экономики в регионе, сопровождающимся увеличением объемов поллютантов, в т.ч. ПАУ, поступающих в окружающую среду. Необходимо отметить, что зафиксированные в 2015 г. высокие концентрации ПАУ с 5 и 6 кольцами свидетельствуют о поступлении в воды залива ПАУ преимущественно из антропогенных источников, в частности, повышенные уровни BgPe и BbF указывают на наличие ПАУ, поступающих с выхлопными газами бензиновых двигателей [15]. Следует обратить внимание, что с ростом промышленного развития концентрация BaP, обладающего канцерогенными свойствами, увеличилась и достигла на некоторых станциях пробоотбора значений выше допустимой для водной среды нормы, принятой в России - 5 нг/л [16].

Результаты исследований показали, что в прибрежных зонах загрязнение ПАУ находилось в прямой зависимости от степени индустриализации и транспортной активности. Так, содержание ПАУ в наиболее освоенных акваториях заливов Находка и Амурском было в несколько раз выше, чем в относительно незаселенном зал. Посыета (табл. 1.6.1).

Для открытой части Японского моря было установлено, что средние концентрации ВПАУ в шельфовой зоне российской акватории моря были на 48% выше (2,3-3,5 нг/л, среднее значение 3,1 нг/л), чем в глубоководной зоне (1,2-1,9 нг/л, среднее значение 1,6 нг/л). Такое распределение можно объяснить тем, что ПАУ, поступающие в открытую часть моря, главным образом, с атмосферным переносом с прибрежных территорий, легче преодолевают меньшие расстояния до шельфовых областей, чем до глубоководных. При сопоставлении полученных данных о распределении ВПАУ в поверхностных водах Японского моря со схемой результирующего ветра над Японским морем отмечается зависимость концентраций ПАУ от силы и направления ветра. Показано, что концентрации ПАУ в юго-западной части моря были максимальными (4-4,4 нг/л) и снижались по

направлению к северо-востоку, что согласуется с преобладанием летом ветров южного направления.

Выводы

Таким образом, изучение пространственно-временной динамики ПАУ в поверхностных водах северо-западной части Японского моря показало неравномерное распределение этих поллютантов. Так, загрязнение ПАУ прибрежных зон находилось в прямой зависимости от степени индустриализации и транспортной активности, а при удалении от побережий, мест локализации источников образования ПАУ, уровни загрязнения снижались. Наличие сезонной изменчивости ПАУ было установлено для прибрежных акваторий – в зимний период там отмечался рост концентраций ПАУ, обусловленный выбросами котельных и частного отопления.

Список использованных источников

1. Barra R., Quiroz R., Saez K et al. (2009) Sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of the Biobio River in south central Chile. *Environ Chem Lett.* V.7 P. 133–139
2. 10. Han B., Jiang F., Li C. et al. (2009) Distribution and origin of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sea water, pore water and sediment of the Central Area in the South Yellow Sea. *Advances in Marine Science.* V.27 P. 233–242
3. Berrojalbiz N., Dachs J., Ojeda M.J. et al. (2011) Biogeochemical and physical controls on concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in water and plankton of the Mediterranean and Black Seas. *Global Biogeochem Cy.* V.25. № 16 P. 1-14
4. Guigue C., Tedetti M., Ferretto N. et al. (2014) Spatial and seasonal variabilities of dissolved hydrocarbons in surface waters from the Northwestern Mediterranean Sea: results from one year intensive sampling. *Sci Total Environ.* V. 466-467. P. 650-662
5. Hayakawa K., Nomura M., Nakagawa T., Oguri S., Kawanishi T., Toriba A., Kizu R., Sakaguchi T., Tamiya E. (2006) Damage to and recovery of coastlines polluted with C-heavy oil spilled from the Nakhodka. *Water Res.* V.40. P. 981-989.
6. Hayakawa K., Makino F., Yasuma M. et al. (2016) Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Water of the Southeastern Japan Sea. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin.* V.64. № 6. P. 625-631

7. Урбанович М.Ю. (1989) Распределение и миграция бенз(а)пирена в морской среде. Дис. ... канд. геогр. наук. Владивосток. 113 с.
8. Немировская И.А. (2007) Углеводороды в воде и донных осадках в районе постоянного нефтяного загрязнения. Геохимия. № 7. С. 704–717
9. Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. (1988) Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. Л.: Гидрометеоиздат. 224 с.
10. Reynaud S., Raveton M., Ravanel, P. (2008). Interactions between immune and biotransformation systems in fish: A review. *Aquatic Toxicology*, 87 (3): 139-145.
11. Wolska L., Mechlinska A., Rogowska J., Namiesnik J. (2012) Sources and fate of PAHs and PCBs in the marine environment. *Crit Rev Env Sci Tec.* V. 42. P. 1172-1189
12. Христофорова Н.К., Гамаюнова О.А., Афанасьев А.П. (2015) Состояние бухт Козьмина и Врангеля (залив Петра Великого, Японское море): динамика загрязнения тяжелыми металлами. *Известия ТИНРО*. № 180. С. 179–186
13. Черняев А.П., Нигматулина Л.В. (2013) Мониторинг качества прибрежных вод залива Петра Великого (Японское море). *Известия ТИНРО*. № 173. С. 230–238
14. Chizhova T., Hayakawa K., Tishchenko P., Nakase H., Koudryashova Y. (2013) Distribution of PAHs in the northwestern part of the Japan Sea. *Deep-Sea Res Pt II*. V.86-87. P. 19–24
15. Lima A.L.C., Farrington J.W., Reddy C.M. (2005) Combustion-derived polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment – a review. *Environ Forensics* V.6. P. 109-131
16. Беспямятнов Г.П., Кротов Ю.А. (1985) Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Л.: Химия. 528 с.

Глава 2 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Роль природных факторов в воспроизводстве морских ежей

Для успешного воспроизводства морских беспозвоночных с внешним оплодотворением важным условием является синхронизация нереста у самцов и самок, а также приуроченность нереста к условиям, благоприятным для развития личинок [1]. Необходимость существования внешнего стимула, синхронизирующего нерест, определяется малым временем жизни половых клеток во внешней среде и быстрым разбавлением гамет [2]. Морские биологи давно отметили, что нерест многих беспозвоночных приурочен к цветению фитопланктона [3]. Смысл такого совпадения в том, что оно обеспечивает достаточный уровень питания и, следовательно, успешного развития потомства. Несмотря на интенсивные исследования, природа факторов, регулирующих нерест, до сих пор остается в значительной степени неизвестной, а полученные данные противоречивы. Предполагается, что фитопланктон, температура, фазы лунного цикла, продолжительность светового дня и химические вещества, выделяемые самими животными, могут служить факторами, запускающими нерест и способствующими его синхронизации [4].

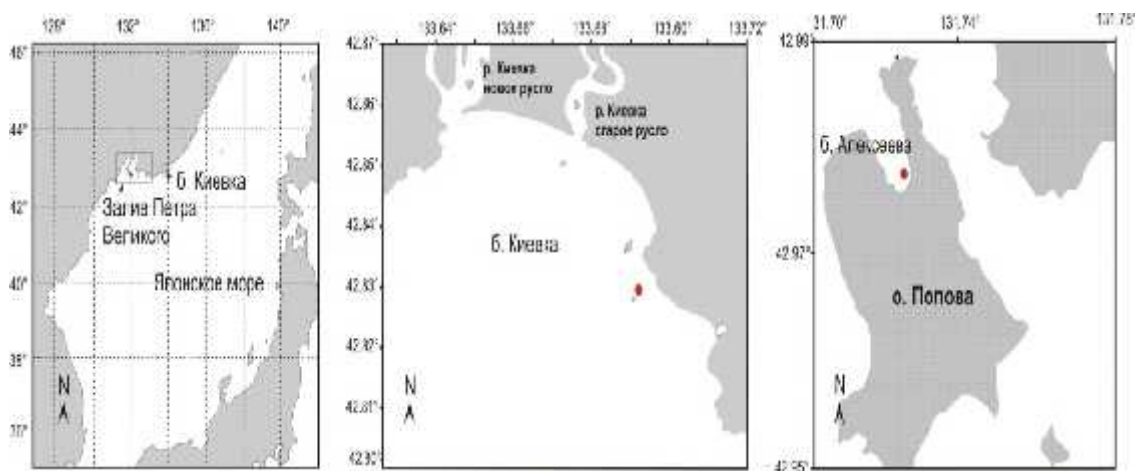
Противоречивость данных о природе стимула, запускающего нерест, обусловлена тем, что анализ взаимосвязей между нерестом морских беспозвоночных с внешним оплодотворением и факторами среды лимитируется недостаточно частым контролем состояния животных (обычно ежемесячным) и недостаточным контролем факторов среды. Многие исследователи отмечали [1, 4], что для понимания природы стимула, запускающего нерест морских донных беспозвоночных с внешним оплодотворением, необходимо осуществлять прямое (*in situ*) наблюдение нереста, его синхронности, социального поведения животных и регистрацию сопровождающих эти явления факторов среды. Однако до настоящего времени такие наблюдения носили случайный характер, были кратковременны, относились к единичным особям и не сопровождались необходимыми измерениями параметров среды.

Нами разработан новый методический подход с использованием видео регистрации нерестового поведения морских донных беспозвоночных в комплексе с регистрацией гидробиологических факторов среды с помощью современных океанологических приборов, который в полной мере удовлетворяет изложенным выше требованиям. Цель настоящей работы состояла в том, чтобы получить ответ на вопрос о природе факторов среды, регулирующих нерест, с использованием комплекса методов, включающего видеосъемку

поведения морских ежей *Syrongylocentrotus. intermedius* и *Mesocentrotus nudus in situ* в нерестовый период и одновременную регистрацию параметров среды в месте обитания животных.

Материалы и методы

Исследования были проведены в 2014–2016 гг. в 2 районах северо-западной части Японского моря: б. Киевка (42.830 с.ш., 133.691° в.д.) и б. Алексеева (42.981° с.ш., 131.730° в.д.) (рис. 2.1.1). Всего было осуществлено 3 эксперимента, 2 в б. Киевка (август–сентябрь 2014 и 2015 гг.) и 1 в б. Алексеева (май–июнь 2016 г.). Время проведения экспериментов совпадало с нерестовыми сезонами *S. intermedius* в этих районах [5, 6].



Красные точки на детализированных схемах указывают на места постановки видеокамер.

Рисунок. 2.1.1 – Район исследований в северо-западной части Японского моря.

Покадровую видеосъемку поведения морских ежей осуществляли видеокамерами TLC200 Pro (Brinno Incorporated) с интервалом в 1 мин. Ночью поле зрения видеокамер освещали источником света мощностью 1 W с длительностью импульса 1 с. Видеокамеры и фонари были закреплены на стойках на расстоянии 1 м от дна, расстояние между стойками составляло 2 м. Чтобы удерживать морских ежей в поле зрения видеокамер, возле них помещали плоские сетчатые контейнеры (1.1 × 0.75 м), заполненные ламинарией (*Laminariales, Phaeophyta*). В 2014 г. использовали 2, а в 2015 и 2016 гг. – 4 видеокамеры, в поле зрения каждой из них находилось 32 ± 9 особей (среднее значение $\pm$ стандартное отклонение). Для контроля состояния гонад каждые 3–7 сут из-под видеокамер отбирали по 5–10 особей, и на их место подсаживали такое же или несколько большее число особей, обитающих в непосредственной близости от камер. Таким образом, в поле зрения видеокамер за время эксперимента сменилось не менее 568, 521 и 422 особей в 2014, 2015 и

2016 гг. соответственно. Между стойками с камерами размещали океанологический мультипараметрический зонд RBRXRХ-620 (Sea and Land Technologies Pte. Ltd.), который регистрировал с интервалом в 10 мин концентрации растворенного кислорода и хлорофилла *a* (Chl), соленость, температуру, уровень прилива и фотосинтетически активную радиацию (ФАР). Кадры видеосъемки просматривали и определяли общее число морских ежей и долю нерестящихся животных, точное время нереста и его длительность у каждой особи.

По ссылке <https://www.youtube.com/watch?v=a4C5uwLzPIs> можно видеть пример регистрации нереста морского ежа *S. intermedius*. Такой методический подход к анализу факторов среды, необходимых для запуска нереста донных беспозвоночных, был использован впервые. Мы использовали также традиционные методы гистологического анализа состояния гонад. Для этого с интервалом в 3 сут вблизи камер отбирали морских ежей с диаметром панциря более 50 мм. Объем выборки составлял ≥ 20 экз. Это позволяло судить о динамике репродуктивного цикла и сроках нереста по величине гонадного индекса (ГИ), готовности самцов и самок к нересту и клеточному составу гонад. Детали метода описаны ранее [5].

Гидробиологическая характеристика района исследований

Уровень моря и погода. В обеих бухтах регистрировались неправильные полусуточные приливы с максимальной амплитудой 50 см (рис. 2.1.2–2.1.4). Влияние штормов на морских ежей, в большей степени сказывалось в более открытой б. Киевка, чем в б. Алексеева. Особенно сильным штормом сопровождалось прохождение тайфуна Гони в конце августа 2015 г. Судя по потере части игл, примерно 5% морских ежей были повреждены во время этого шторма.

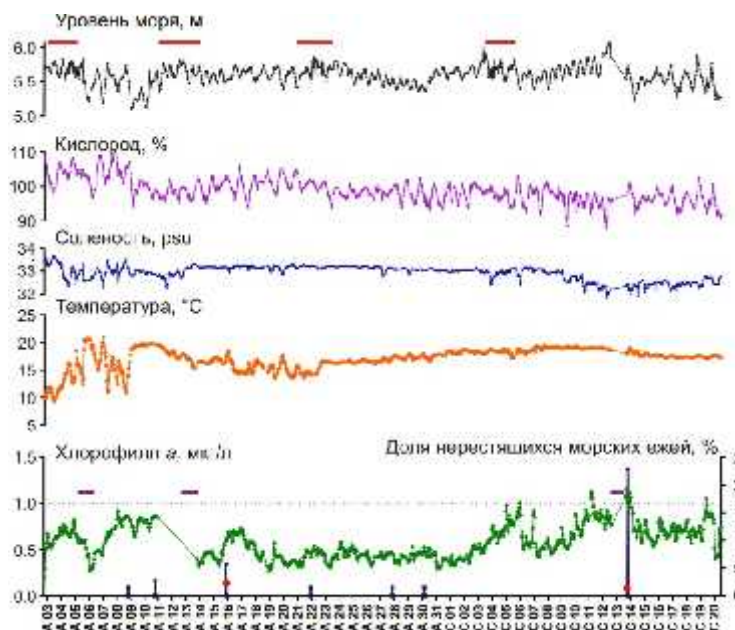
Кислород. В обеих бухтах медианные значения насыщения кислородом в придонном слое были близки к 100%. Уровень насыщения кислородом увеличивался днем и снижался в ночное время ($r_{\text{Спирмена}} = 0.39$, $p < 0.001$). При этом суточные вариации в уровне насыщения кислородом были выше в б. Алексеева, чем в б. Киевка (рис. 2.1.2–2.1.4).

Соленость. В б. Киевка соленость в течение обеих периодов исследования была относительно стабильной, и отклонялась от своего медианного значения (около 33 psu) менее чем на 1,5 psu. В б. Алексеева соленость менялась в более широких пределах возможно из-за близости экспериментального полигона к берегу и меньшей глубины. Однако ее значение не снижалась менее чем до 28 psu (рис. 2.1.2–2.1.4).

Температура. Динамика температуры в б. Киевка в 2014 и 2015 гг. была сходной. Резкие колебания температуры (12–20 °C) в первой половине августа сменились периодом относительной стабильности, который продолжался до конца сентября. В б. Алексеева

динамика температуры соответствовала сезонному прогреванию вод и увеличилась с начала мая по конец июня с около 7 °С до 17 °С (рис. 2.1.2–2.1.4).

Хлорофилл. В б. Киевка концентрация Chl в 2015 была выше, чем в 2014 г. (Table 1, Wilcoxon test, $p < 0.0001$). Однако в оба года она редко превышала 1 мкг/л. В б. Алексеева концентрация Chl большую часть времени превышала 1 мкг/л и ее медианное значение было значительно выше, чем в б. Киевка (Table 1, Wilcoxon test, $p < 0.0001$) (рис. 2.1.2–2.1.4)..

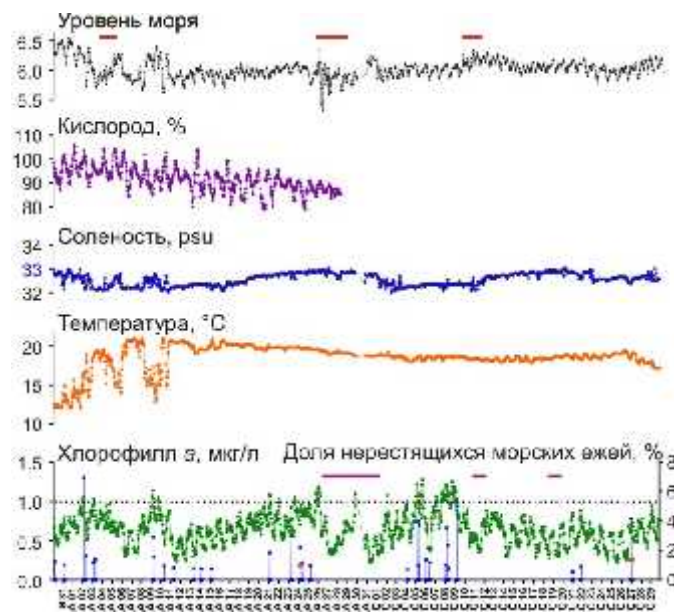


Левые оси ординат: параметры среды. Правая ось ординат на нижнем графике доля нерестящихся морских ежей: синими квадратами обозначена доля нерестящихся морских ежей обоих полов, красными кружочками – доля нерестящихся самок (от общего числа особей перед видеокамерой). Горизонтальные линии на верхнем графике отмечают периоды штормовой погоды, на нижнем графике – время, когда не работали видеокамеры.

Рисунок 2.1.2 – Динамика нереста морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* и параметры среды в августе–сентябре 2014г. в б. Киевка

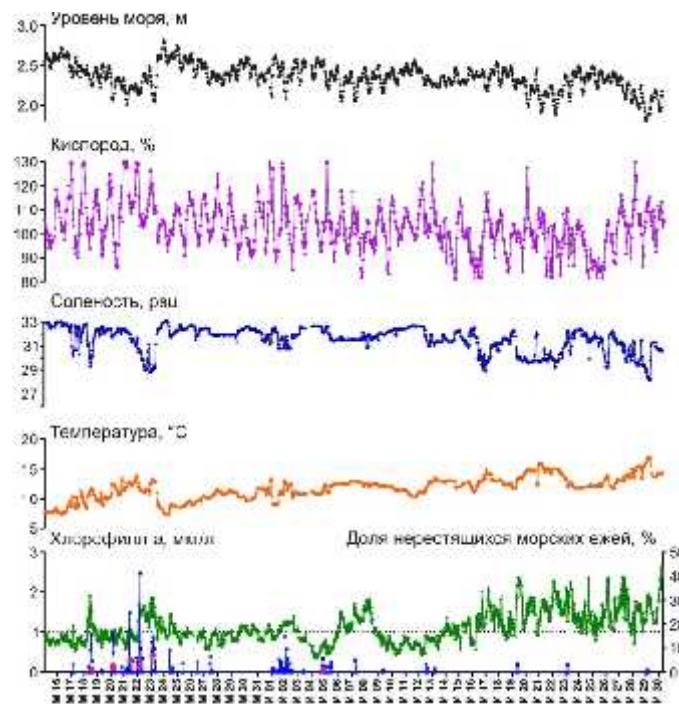
Динамика состояния гонад *S. intermedius*

Соотношение полов и гонадный индекс. В обеих бухтах соотношение самцы/самки достоверно не отличалось от 1 (односторонний t -тест, $t = 1.465$, $df = 38$, $p = 0.1511$ и $t = 1.549$, $df = 18$, $p = 0.1388$ для б. Киевка и б. Алексеева соответственно). Поскольку не было обнаружено различий в гонадном индексе самцов и самок (непарный t -test и ANOVA, для всех $p > 0.05$), данные для ГИ для обеих полов анализировались совместно (рис. 2.1.5 А–2.1.7 А). В оба сезона в б. Киевка не было обнаружено различий между каждыми двумя последовательными значениями ГИ (ANOVA, тест Тьюки, для всех $p > 0.05$) (рис. 2.1.5 А–2.1.6 А).



Левые оси ординат: параметры среды. Правая ось ординат на нижнем графике доля нерестящихся морских ежей: синими квадратиками обозначена доля нерестящихся морских ежей обоих полов, красными кружочками – доля нерестящихся самок (от общего числа особей перед видеокамерой). Горизонтальные линии на верхнем графике отмечают периоды штормовой погоды, на нижнем графике – время, когда не работали видеокамеры.

Рисунок 2.1.3 – Динамика нереста морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* и параметры среды в августе–сентябре 2015 г. в б. Киевка.



Левые оси ординат: параметры среды. Правая ось ординат на нижнем графике доля нерестящихся морских ежей: синими квадратиками обозначена доля нерестящихся морских

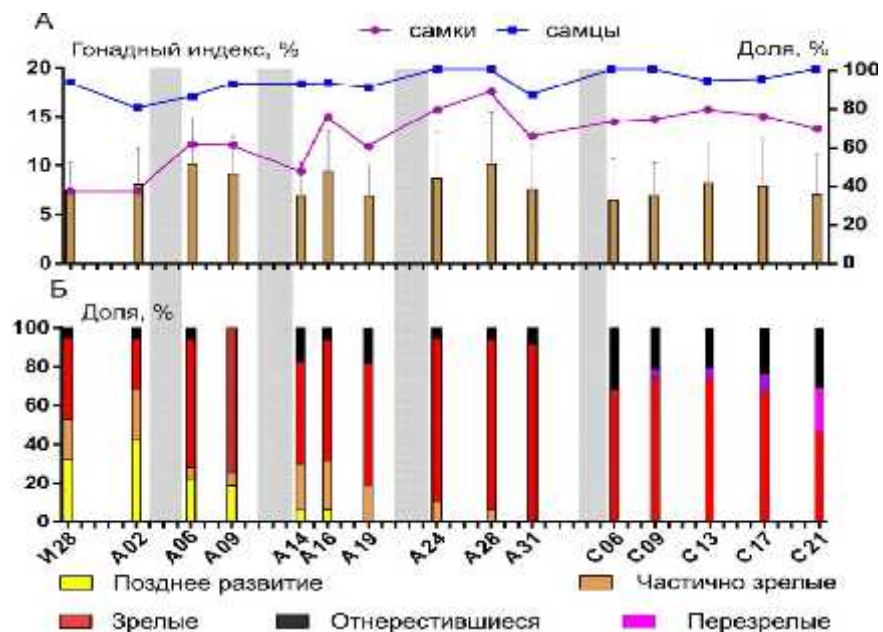
ежей обоих полов, красными кружочками – доля нерестящихся самок (от общего числа особей перед видеокамерой).

Рисунок 2.1.4 – Динамика нереста морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* и параметры среды в мае–июне 2016 г. в б. Алексеева.

В то же время, на протяжении сезона, наблюдалось достоверное снижение ГИ (ANOVA пост тест на линейный тренд, наклон = -0.087 , $p = 0.022$ и наклон = -0.064 , $p = 0.0002$ для 2014 г. и 2015 г., соответственно). В б. Алексеева в 2016 г. ГИ достоверно снизилось 29 мая (ANOVA, тест Тьюки, $p < 0.05$) и впоследствии оставалось на постоянно низком уровне (рис. 2.1.7А).

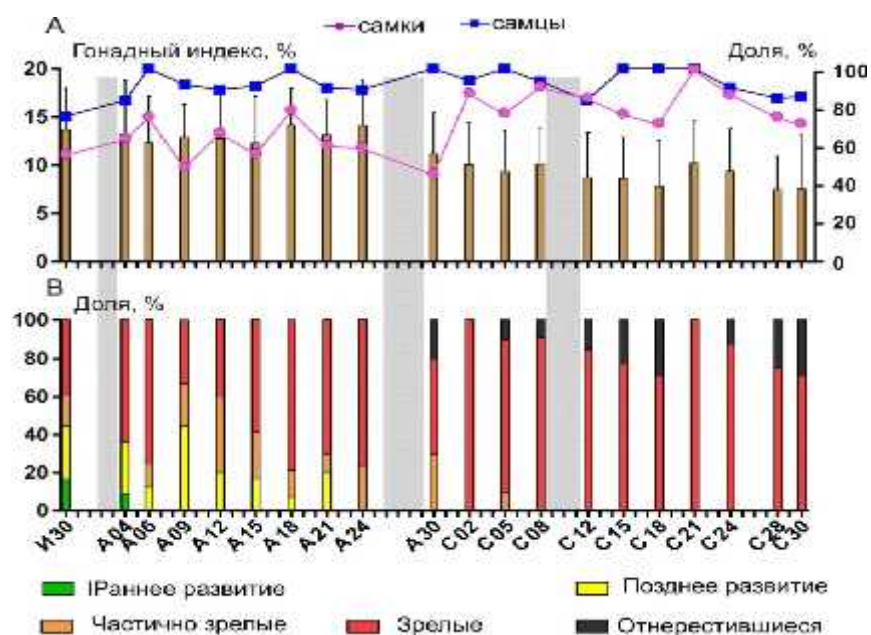
Готовность к нересту. В обеих бухтах доля самцов готовых к нересту была существенно выше, чем самок (красные и голубые линии на рис. 2.1.5 А, 6 А и 2.1.7 А). В б. Киевка этот параметр составлял 80 до 100% в оба года исследований. В 2014 г. доля самок готовых к нересту увеличилась с 40 до 80% в августе и снизилась до 70% в сентябре (включая особей с перезревшими, фрагментированными яйцеклетками) (рис. 2.1.5 А). В августе–сентябре 2015 г. этот параметр составлял 50 – 100% (рис. 6 А). При этом не обнаруживалось достоверных изменений в доле самок готовых к нересту в каждой паре последовательных выборок (биномиальная статистика, $p > 0.05$). В б. Алексеева в период 8–22 мая доля самок готовых к нересту составляла от 60 до 40% (рис. 2.1.7 А). Этот параметр уменьшился в 2 раза к 29 мая и снизился до нуля к 10 июня.

Зрелость гонад. В б. Киевка в августе 2014 и 2015 г. Подавляющее большинство самок находились на преднерестовой (2), частично зрелой (3), зрелой (4) стадиях развития (рис. 2.1.5 Б и 2.1.6 Б). В то же время в 2015 г. Развитие гонад у самок несколько отставало относительно 2014 г. Судя по наличию незрелых самок (менее 20%) в выборках 30 июля и 4 августа. Полностью отнерестившиеся самки (5 стадия развития) встречались с конца июля в 2014 г. и с конца августа в до конца сентября в 2015 г. их доля не превышала 31%. При этом последовательные выборки в течение сезона не различались достоверно по этому показателю (биномиальная статистика, $p > 0.05$). В сентябрьских выборках 2014 г. присутствовали самки (от 5 до 23%, рис. 2.1.5 Б) с крупными гонадами, которые содержали наряду с морфологически нормальными яйцеклетками, фрагментированные яйцеклетки. В б. Алексеева с 8 мая по 30 июня 2016 г. 30–40% самок были незрелыми (стадия 1) (рис. 2.1.7 Б). Это обусловлено тем, что популяция *S. intermedius* в этой бухте имеет два пика нереста, один в мае–июне, и другой в августе–сентябрь [6].



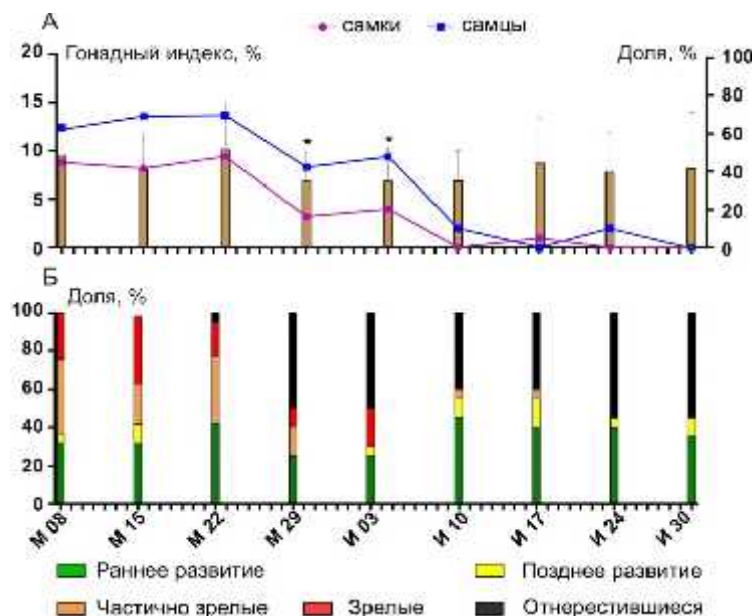
А – Динамика гонадного индекса (коричневые столбцы: среднее $\pm$ SD) и доля самцов (голубые линии и квадраты) и самок (розовые линии и кружки) готовых к нересту и Б – динамика зрелости гонад. Вертикальные затененные области – периоды штормовой погоды.

Рисунок 2.1.5 – Динамика состояния гонад *S. intermedius* в б Киевка в 2014 г.



А – Динамика гонадного индекса (коричневые столбцы: среднее $\pm$ SD) и доля самцов (голубые линии и квадраты) и самок (розовые линии и кружки) готовых к нересту и Б – динамика зрелости гонад. Вертикальные затененные области – периоды штормовой погоды.

Рисунок 2.1.6 – Динамика состояния гонад *S. intermedius* в б Киевка в 2015 г.



А – Динамика гонадного индекса (коричневые столбцы: среднее $\pm$ SD) и доля самцов (голубые линии и квадраты) и самок (розовые линии и кружки) готовых к нересту и Б – динамика зрелости гонад.

Рисунок 2.1.7– А Динамика состояния гонад *S. intermedius* в б Алексеева в 2016 г.

В период с 8 по 22 мая примерно 60% самок были на стадии частичной (3) и полной (4) зрелости, 29 мая их доля уменьшилась до 25% (рис. 2.1.7 Б). Вместе с этим достоверно возросла доля полностью отнерестившихся самок (биномиальная статистика, $p < 0.05$). К концу июня зрелые или частично зрелые самки отсутствовали.

Нерестовое поведение *S. intermedius*

Количество морских ежей в поле зрения камер в отсутствие штормов было относительно стабильным и составляло 32 ± 9 особей (средне $\pm$ SD). Во время штормов количество морских ежей на контейнерах с ламинарией достоверно снижалось (непарный t -тест, $t = 10$, $df = 428$, $p < 0.0001$). Морские ежи прекращали питаться и группировались у основания больших камней.

Непосредственно перед нерестом двигательная активность морских ежей увеличивалась. Эта активность не имела определенной направленности на горизонтальной поверхности. Однако, однажды в б. Киевка и трижды в б. Алексеева в результате активных перемещений морские ежи образовывали агрегаты из 10–15 нерестящихся особей, в которых одни особи располагались поверх других. В таких агрегатах всегда присутствовали нерестящиеся самки. На вертикальных поверхностях (стенка пирса в б. Алексеева) морские

ежи перед и во время нереста двигались строго вверх. Выделение гамет во время нереста происходило не непрерывно, а порциями. Длительность выделения гамет в течение одной порции (время, в течение которого на апикальной поверхности присутствовала «шапочка» из гамет) варьировало в пределах 1–17 мин (3.9 ± 3.8 мин, среднее $\pm$ SD). Продолжительность такого прерывистого нереста составляла от 1 до 46 мин (21.4 ± 12.4 min, mean $\pm$ SD). Максимальное количество выделяемых порций в течение нереста у самок составляло 3, а самцов 5 порций.

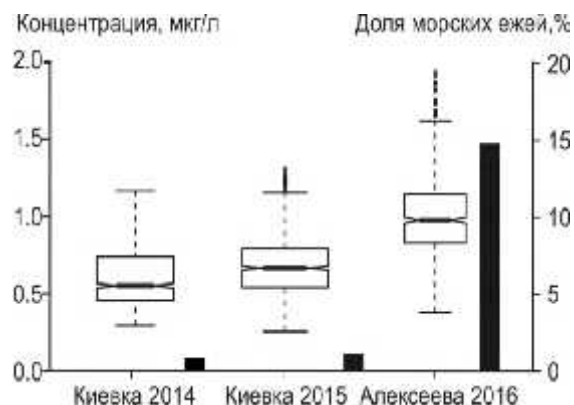
Самцы нерестились в одиночку (одиночным считался нерест, когда в течении часа нерестился один самец) или группами от одной и более особей. В б. Киевка доля одиночно нерестящихся самцов (55%) была значимо выше чем в б. Алексеева (31%) ($p = 0.0297$, точный тест Фишера). Самки начинали нереститься только когда вблизи находилось несколько нерестящихся самцов. При этом между количеством нерестящихся самцов и самок имела место положительная корреляция ($r_{\text{Спирмена}} = 0.637$, $p < 0.0001$)

Связь между нерестовой активностью и состоянием среды

Сезонная нерестовая активность. Сезонная нерестовая активность *S. intermedius*, регистрируемая с помощью видеокамер, отличалась в разных бухтах. В б. Киевка нерест регистрировался редко. В августе–сентябре 2014 г. был зарегистрирован нерест 23 самцов и 3 самок, а в 2015 г 83 самцов и 3 самок. Временной интервал между эпизодами нереста в б. Киевка варьировал от 1 до 14 дней (рис. 2.1.2–2.1.3). В б. Алексеева интенсивность нереста была значительно выше: здесь было зарегистрировано 388 эпизод нереста у самцов и 16 эпизод у самок. Большинство эпизодов нереста (69%) зарегистрировано между 18 и 24 мая. Эта повышенная нерестовая активность совпала с полнолунием, которое имело место 22 мая. К 13 июня полностью было зарегистрировано 95% от всего количества нерестовых эпизодов. Впоследствии регистрировался только нерест одиночных самцов.

Корреляционный анализ не выявил достоверной зависимости между относительным количеством нерестящихся морских ежей и температурой, соленостью воды и уровнем ее насыщения кислородом. В то же время, обнаружена достоверная положительная корреляция между долей нерестящихся животных и концентрацией Chl. При высоком уровне достоверности ($p < 0.001$) коэффициенты корреляции Спирмена составили 0.112, 0.167 и 0.305 для 2014, 2015 и 2016 гг. соответственно. Низкие значения коэффициентов обусловлены наличием большого числа структурных нулей в ячейках таблицы сопряженности признаков, что связано с тем, что количество измерений параметров среды значительно превышало число эпизодов нереста. Ранговый тест Вилкоксона с поправкой на

непрерывность показал, что средняя за нерестовый сезон концентрация Chl в б. Киевка достоверно различалась в разные годы (в 2015 г. она была выше, чем в 2014 г.), а в б. Алексеева она была достоверно выше, чем в б. Киевка (во всех случаях $p < 0.001$) (рис. 2.1.8). Эти данные также указывают на наличие причинно-следственной связи между нерестом и концентрацией Chl: более высокая концентрация Chl в течение нерестового сезона соответствует более высокой среднесуточной частоте эпизодов нереста (рис. 2.1.8).



Левая ось ординат концентрация хлорофилла *a*, правая ось ординат среднесуточная доля нерестящихся морских ежей черные столбики. Различия достоверны при $p < 0.001$ (ранговый тест Вилкоксона с поправкой на непрерывность)

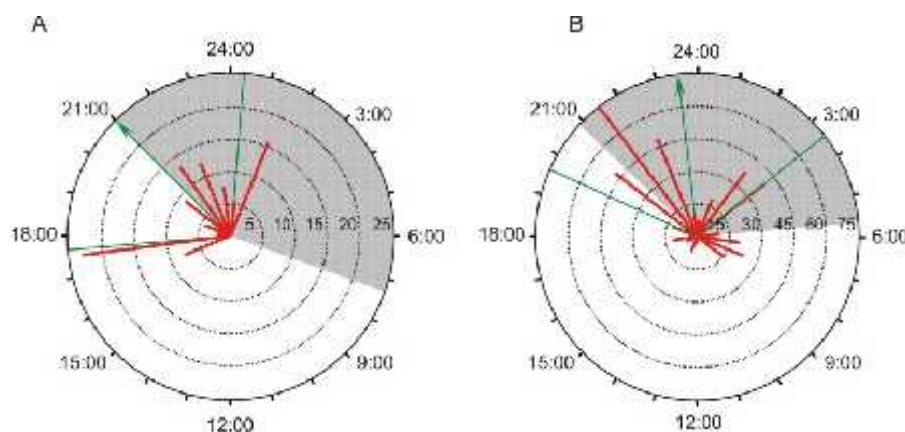
Рисунок 2.1.8 – Медианные значения за нерестовый сезон концентрации хлорофилла *a* и среднесуточная доля нерестящихся морских ежей в б. Киевка в 2014–2015 гг. и в б. Алексеева в 2016 г.

Суточная нерестовая активность. Эпизоды нереста морских ежей в течение суток были распределены неравномерно (для б. Киевка $p < 0.005$, для б. Алексеева $p < 0.002$, круговая статистика, тест Рэля). В б. Киевка все эпизоды нереста были зарегистрированы между 16 и 2 часами (рис. 2.1.9 А). Середина этого интервала нерестовой активности приходилась на закат (среднее значение $\pm$ доверительный интервал = 20 ч 58 мин $\pm$ 3 ч 20 мин), когда ФАР на уровне дна в августе снижалась до 6.7 ± 7.9 мкМ/м²/с, а в сентябре до нуля (для сравнения, ФАР в период с 12 до 13 ч составляла 379 ± 162 мкМ/м²/с). В б. Алексеева большая часть эпизодов нереста (74.8%) зарегистрирована в темное время суток, и середина интервала нерестовой активности соответствовала 23 ч 33 мин $\pm$ 4ч 35мин (рис. 2.1.9 Б). Для объединенной выборки из б. Киевка и б. Алексеева середина интервала нерестовой активности соответствовала 22 ч 03мин $\pm$ 4ч 35 мин.

Статистический анализ параметров среды показал, что период нерестовой активности *S. intermedius* в б. Киевка отличался от остальной части суток повышенной на 0.2– 0.5°C температурой воды ($p < 0.05$, ранговый тест Вилкоксона) и повышенным на 0.6–1.7%

насыщением воды кислородом ($p < 0.05$), в то время как в б. Алексеева различий в температуре между этими двумя периодами не обнаружено, а насыщение воды кислородом в период повышенной нерестовой активности было на 6% ниже. При этом концентрация Chl и соленость в периоды низкой и повышенной нерестовой активности на обеих станциях не отличались. Таким образом, неравномерное распределение эпизодов нереста *S. intermedius* в течение суток (циркадного ритма) свидетельствует об участии эндогенного фактора в регуляции нереста.

В б. Киевка морские ежи нерестились в благоприятный период суток (между 16 и 2 часами) далеко не каждый день (рис. 2.1.9 А и 2.1.9 Б). Для выяснения связи между межсуточной вариабельностью эпизодов нереста, их внутрисуточным распределением и параметрами среды мы использовали логистический регрессионный анализ. Если в промежутке между 16 и 2 часами нерестилась хотя бы одна особь, этому интервалу присваивали значение 1, а если нет, то 0. Были протестированы модели с использованием различных сочетаний параметров среды в качестве непрерывных независимых величин (предикторов). В результате выявлена достоверная связь между вероятностью нереста морских ежей и концентрацией Chl (ANOVA, $p = 0.01$) и показано отсутствие зависимости между нерестом и соленостью, температурой и степенью насыщения кислородом. Таким образом, можно сделать вывод, что вероятность нереста увеличивается, если благоприятное для нереста время суток совпадает с повышением концентрации Chl, а факторы «время суток» и «фитопланктон» вместе оказывают синергический эффект на нерестовую активность *S. intermedius*.



А – б. Киевка, объединенные данные 2014 и 2015 гг., Б – б. Алексеева, 2016 г. Затененные сектора соответствуют темному времени суток. Сплошные красные линии и цифры внутри круга показывают число эпизодов нереста, стрелка и зеленые линии показывают их среднее значение и стандартное отклонение.

Рисунок 2.1.9 – Диаграммы распределения эпизодов нереста морского ежа *S. intermedius* в течение суток в б. Киевка и б. Алексеева.

Динамика состояния гонад M. nudus

Исследования, проведенные в 2014 г. показали, что к началу работ 27 июня более 55% особей *M. nudus* уже отнерестились, поэтому детальные исследования репродуктивного поведения в период размножения этого вида были проведены только в 2015 г.

Соотношение полов и гонадный индекс. Соотношение самцы/самки *M. nudus* достоверно не отличалось от 1 (односторонний *t*-тест, $t = 1.321$, $df = 28$, $p = 0.1511$). Гонадный индекс самцов и самок достоверно не различался на протяжении всего сезона (непарный *t*-test and ANOVA, для всех $p > 0.05$), поэтому этот показатель был объединен для обеих полов. Величина объединенного ГИ в 2015 г. не менялась вплоть до 24 августа и достоверно (примерно в два раза) снизилась между 24 и 30 августа (ANOVA, Tukey's post-hoc test, $P < 0.0001$).

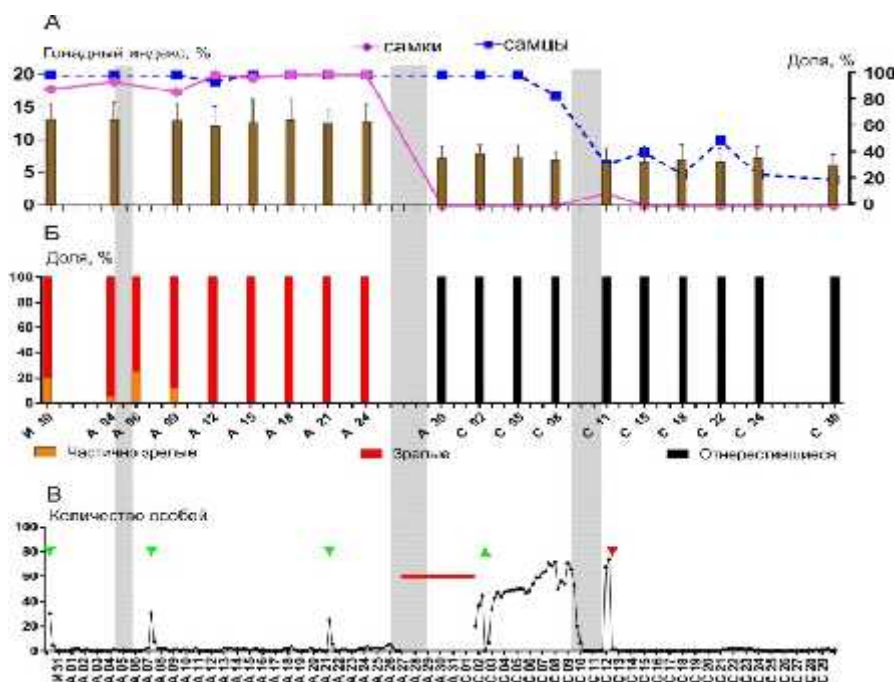
Готовность к нересту. Доля самцов и самок, готовых к нересту, в период с 27 июня по 24 августа составляла около 100% (красные и синие линии на рис. 7 А). Между 24 и 30 августа доля самок снизилась до 0%, в то время как около 100% самцов сохраняли способность выделять гаметы еще в течение 6 дней. Постепенно, доля самцов снижалась и к концу сентября упала до 20%.

Зрелость гонад. Подавляющее большинство самок (около 100%) *M. nudus* к началу исследований были полностью зрелыми (4 стадия развития) (рис. 2.1.10 Б). Между 24 и 30 августа произошел массовый нерест *M. nudus*, и вплоть до конца исследований почти все выборки содержали только полностью отнерестившихся самок (5 стадия развития).

Нерестовое поведение

Количество морских ежей в поле зрения камер. Поведение *M. nudus* в нерестовый период разительно отличалось от поведения *S. intermedius*. Количество *M. nudus* в поле зрения камер зависело от степени зрелости гонад. На протяжении всего периода полной зрелости самок (с 27 июня по 24 августа) кормушка, заполненная ламинарией, не привлекала *M. nudus* (рис. 2.1.10 В). В результате, количество особей этого вида в поле зрения всех четырех камер не превышало 4 особей. Более того, когда мы принудительно помещали на кормушки от 30 до 40 особей, они покидали кормушки в течение 4–8 час (рис. 2.1.10 В). Напротив, после массового нереста, прошедшего их между 24 и 30 августа, количество *M. nudus* резко возросло и в отдельные дни достигало более 80 особей (рис. 2.1.10 В). При этом они вытесняли *S. intermedius* с поверхности кормушек. Поскольку отнерестившиеся *M. nudus* не представляли интереса для экспериментов с использованием видео регистрации, мы периодически удаляли особей этого вида из поля зрения видеокамер.

Кардинально решить проблему конкуренции между *S. intermedius* и *M. nudus* за место на кормушке с ламинарией удалось решить после того, как десять особей было раздроблено в непосредственной близости от кормушек. В результате *M. nudus* стали избегать кормушки и не появлялись в поле зрения видеокамер от 8 до 14 сут (рис. 2.1.10 В).



А – Динамика гонадного индекса (коричневые столбцы: среднее $\pm$ SD) и доля самцов (голубые линии и квадраты) и самок (розовые линии и кружки) готовых к нересту; Б – динамика зрелости гонад. В – Динамика численности морских ежей *Mesocentrotus nudus* в поле зрения видеокамер. Зеленые треугольники на, направленные вершиной вниз, указывают на время помещения морских ежей на контейнеры с ламинарией; зеленые треугольники с вершиной вверх – на время, когда морских ежей удалили с контейнеров. Вертикальные затененные области – соответствуют штормовой погоде, красная горизонтальная линия – перерыву регистрации из-за повреждений, причиненных штормом. Красный треугольник указывает на время помещения раздробленных особей *M. nudus* вблизи контейнеров с ламинарией.

Рисунок 2.1.10 – Динамика состояния гонад и численности морских ежей *Mesocentrotus nudus* в поле зрения видеокамер в б. Киевка в 2015г.

Связь между нерестовой активностью и состоянием среды

Сезонная нерестовая активность. Всего в течение сезонов 2014–2015 гг. видеокамерами был зарегистрирован нерест 19 самцов *M. nudus*. Столь малое количество

зарегистрированных эпизодов нереста очевидно связано с тем, что зрелые, способные к нересту особи избегали кормушек с ламинарией и появлялись в поле зрения видеокамер уже после нереста. По данным гистологического анализа гонад массовый нерест *M. nudus* произошел между 24 и 30 августа. Этот промежуток времени совпадает с прохождением тайфуна Гони (с 25 по 27 августа), который сопровождался сильнейшим штормом. После шторма с 28 по 29 августа, из-за нанесенных штормом повреждений, регистрация параметров среды не велась. Тем не менее, имеющиеся данные указывают на то, что в период массового нереста *M. nudus* температура и соленость оставались стабильными а концентрация Chl превышала уровень 1 мкг/л. Это предполагает, что для *M. nudus*, как и для *S. intermedius* фактором, запускающим нерест, является не шторм, а повышение концентрации фитопланктона. Подтверждение этой точки зрения было получено в 2016 г. в исследованиях, проведенных в б. Алексеева. Здесь мы наблюдали массовый нерест 23 июля при полном штиле и при концентрации и Chl 3,2 мкг/л (в 3,5 раза выше медианного значения в бухте за период исследования).

Суточная нерестовая активность. Все 19 эпизодов нереста *M. nudus* были зарегистрированы в период с 16:00 до 0:04. Таким образом, для *M. nudus*, как и для *S. intermedius* распределение нереста в течение суток было неравномерным, причем периоды повышенной нерестовой активности для обоих видов полностью совпадали.

Заключение

В настоящем исследовании впервые показаны потенциальные возможности использования комплекса методов включающего: 1. видео регистрацию нерестового поведения морских ежей; 2. исследование состояния гонад (динамики ГИ, зрелости гонад и динамику доли особей готовых к нересту), основанном на сравнительно частом отборе (3–7 дней); 3. непрерывную регистрацию параметров среды непосредственно в месте обитания (солености, температуры, насыщения кислородом и концентрации Chl), что позволило выявить связи между нерестовой активностью морских ежей и внешними факторами. Необходимо подчеркнуть, что эксперименты проводились в двух бухтах с различным уровнем первичной продукции, низкой (б. Киевка) и относительно высокой (б. Алексеева). Это дало дополнительную возможность для выяснения связи между нерестом морских ежей и фитопланктоном, наиболее вероятным кандидатом на роль ключевого природного фактора запускающего нерест морских ежей в природных популяциях.

В результате исследований впервые показано, что:

1. Вероятность нереста и нерестовое поведение *S. intermedius* положительно коррелируют с содержанием фитопланктона и не зависят от других гидрологических параметров. В акваториях с низким уровнем первичной продукции нерест затянут, и у части популяции вместо нереста происходит резорбция половых клеток
2. Частота нереста самцов превышает этот показатель у самок, что обусловлено тем, что самцы в течение нерестового сезона могут нереститься несколько раз.
3. Для запуска нереста самок, помимо повышенной концентрации фитопланктона, необходимо присутствие вблизи нескольких нерестящихся самцов.
4. Распределение нерестовых эпизодов в течение суток неоднородно, оно подчинено циркадному ритму с максимумом нерестовой активности в $22:03 \pm 4:35$ (среднее значение $\pm$ стандартное отклонение).

В целом результаты настоящего исследования свидетельствуют о том, что в регуляции нереста морского ежа *S. intermedius* принимают участие несколько факторов. Главным из них является фитопланктон, при низкой концентрации которого репродуктивный цикл у всей или части популяции не завершается нерестом, и половые клетки резорбируются [5,7]. В природных популяциях для стимуляции нереста самок помимо повышенной концентрации фитопланктона, необходимо присутствие спермы самцов. Фазы лунного цикла [7] и время суток повышают вероятность нереста, оказывая модулирующее влияние на нерестовую активность *S. intermedius*, по-видимому, изменяя их чувствительность к фитопланктону.

В исследованиях *M. nudus* было обнаружено два неизвестных ранее поведенческих феномена:

1. *M. nudus* с гонадами, находящимися на стадии полной зрелости, не привлекает предпочтительный для них вид водоросли (Laminariales, Phaeophyta). Активно питаться этим видом водорослей *M. nudus* начинает сразу же после нереста
2. После размещения раздробленных панцирей морских *M. nudus* вблизи контейнеров с ламинарией, морские ежи этого вида покидают окрестности контейнеров и более 2 недель избегают появляться в этом месте. Этот феномен маркирования опасной территории обнаружен впервые и представляет интерес для понимания механизмов взаимоотношений хищник–жертва.

Список использованных источников

1 Himmelman J.H. Spawning, marine invertebrates // Encyclopedia of Reproduction. New York: Academic. 1999. P. 524 –5 33.

- 2 Levitan D.R., Petersen C. Sperm limitation in the sea // Trends. Ecol. Evol. 1995. V. 10. P. 228 – 231.
- 3 Thorson G. Reproduction and larval development of Danish marine bottom invertebrates, with special reference to the planktonic larvae of the Sound (Øresund) // Medd. Komm. Danm. Fish. Havunders. Ser. Plankton. 1946. V. 4, No 1. P. 1 – 529.
- 4 Mercier A., Hamel J.-F. Endogenous and exogenous control of gametogenesis and spawning in Echinoderms // Adv. Mar. Biol. 2009. V. 55. P. 1 – 302.
5. Zhadan P.M., Vaschenko M.A., Almyashova T.N. Spawning failure in the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* in the northwestern Sea of Japan: Potential environmental causes // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2015. V. 465. P. 11 – 23.
6. Zaslavskayaa N.I., Vashchenko M.A., Zhadan P.M. The genetic structure of populations of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* from the northwestern Sea of Japan in connection with a shift in spawning time // Russian Journal of Marine Biology. 2012. V. 38, No 4. P. 325 - 338.
7. Zhadan P.M., Vaschenko M.A., Lobanov V.B., Sergeev A.F., Kotova S.A. Fine-scale temporal study of the influence of hydrobiological conditions on the spawning of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* // Mar Ecol Prog Ser. 2016. V. 550. P. 147 - 161.

2.2 Характеристика морской биоты и оценка антропогенного воздействия на припортовые акватории в заливе Петра Великого

Залив Посъета

Проведены многолетние сезонные исследования морской биоты (фито- и зоопланктона, ихтиопланктона и макробентоса) в бухтах зал. Посъета (Порт-Посъет, Постовая, Новгородская). Эти бухты, прилегающие к порту «Посъет», испытывают максимальное антропогенное воздействие в результате дноуглублений, реконструкции старых и строительства новых причалов, хранения и проведения перегрузки большого количества каменного угля, часть которого попадает в морскую воду. Эти работы отражаются на видовом составе и количественных и продукционных характеристиках морской биоты, из-за уникальности которой, а также из-за их большой значимости для экосистемы залива и рыбного хозяйства, все бухты с 1974 г. относятся к особо охраняемым природным территориям (ООПТ) как памятники природы.

Комплекс доминирующих видов фито- и зоопланктона, установленный в результате исследований в мае, августе и октябре 2013 г., являлся характерным для залива Посъета. Обнаружено 15-16 видов микроводорослей из двух отделов. Максимальное число видов микроводорослей в планктоне отмечено в бухтах Порт-Посъет и Новгородская. По числу видов (10-12) преобладают диатомовые водоросли, составляющие 63-80 % от общего числа видов. Максимум плотности микроводорослей (78 тыс. кл./л) и биомассы (584,65 мг/м³) отмечен в б. Новгородская в мае 2013 г.

В зоопланктоне зал. Посъета обнаружены 4 таксономические группы голопланктона: Copepoda (5 видов), Cladocera (3), Chaetognatha (1 вид) и Appendicularia (1), а также личиночные формы донных Polychaeta (от 3 до 95 экз./м³), Gastropoda (9-3456 экз./м³) и Bivalvia (2-2567 экз./м³). Невысокие значения плотности личинок Decapoda (*Eualus japonica*), Echinodermata и Hydrozoa составили несущественную долю в меропланктоне. Максимальные плотности меропланктона отмечены в летний период. Ихтиопланктон не обнаружен, что связано как с нарушениями нерестового цикла в 2013 г. из-за относительно холодного весенне-летнего периода, так и с отбором небольшого числа проб в открытых районах бухт.

По сравнению с исследованиями в эти же периоды 2011 и 2012 гг., в 2013 г. обнаружено меньшее число видов макрофитов, а количество макробентосных животных осталось примерно тем же (более 30 видов). Наибольший видовой состав отмечен на станциях в б. Новгородской. Наибольшее разнообразие видового состава наблюдалось на твердых грунтах. Илы характеризовались однотипным населением, с низкими биомассами и

высокой численностью многощетинковых червей, особенно вблизи причалов порта «Посъет».

За период с 2011 г. возросла доля многощетинковых червей и двустворчатых моллюсков. Произошло перераспределение показателей биомассы и плотности поселения макробентоса на станциях. Обнаружены ранее не встречавшиеся, но обычные виды *Tritonalia japonica*, *Anthopleura* sp., *Lepidopleurus assimilis*, *Hemigrapsus sanguineus*.

Летом зарегистрирован пик плотности *Eualus japonica*, так как отбор проб совпал с периодом нереста креветки. За весь период исследований самая низкая биомасса наблюдалась у разноногих ракообразных, а плотность – у представителей эпибентоса *Distolasterias nipon*, *Srongylocentrotus intermedius*, *Amphipholis kohii*, *Protothaca euglypta*, *Tritonalia japonica*.

Общая биомасса макробентоса осенью достигала 141 г/м², причем полихеты *Maldane sarsi* и *Pectinaria dimai* составляли 25,7 % и 24 % от общей биомассы соответственно. Общая плотность животных насчитывала 3106 экз./м² с преобладанием многощетинковых червей *Lumbrinereis fragilis* и *Maldane sarsi* (33 и 25 % от общей плотности). От весны к осени наблюдалось снижение общей биомассы после отмирания макрофитов и крупных форм эпифауны, и увеличение общей плотности макробентоса за счет преобладания многощетинковых червей.

Рекомендовано в бухтах зал. Посъета Новгородская, Экспедиции и Рейд Паллада сохранить статус ООПТ – памятники природы, который ОАО «Порт Посъет» пытался изменить в начале 2013 г. Кроме того, разработано биологическое обоснование по созданию плантаций морской аквакультуры на прилегающих акваториях б. Экспедиции с целью сохранения ценных водных биоресурсов (рыбы, макрофиты, двустворчатые моллюски, иглокожие, ракообразные и др.) и лечебных ресурсов – иловые сульфидные грязи. Рекомендации переданы заказчикам, проектных организациям и предприятиям, готовым осуществить эти работы (ОАО НПК «ЭКОпроект», ОАО «Горняк», ООО «ЗоРоз», порт «Посъет»).

Залив Находка

Общая характеристика биоты. В зал. Находка в последние годы ведутся активные работы по реконструкции существующих и строительству новых портов, причалов, перегрузочных комплексов, включая отсыпки грунта на морской акватории, дноуглублениями судоходных каналов, дампингом грунта на морской свалке и др. Работы в портах «Восточный» (б. Врангеля), нефтепорта (б. Козьмина), рыбного и др. (б. Находка) связаны также с хранением и перегрузкой опасных грузов (нефтепродукты, уголь, клинкер,

ферросплавы, химические удобрения и др.), которые попадают на акваторию и оказывают существенное воздействие на морскую биоту. Поэтому, с 2004 г. здесь ведутся почти непрерывные сезонные наблюдения за состоянием планктонных и бентосных сообществ, и в 2013 г. эти наблюдения были продолжены.

В зал. Находка у о. Лисьего, в районе дампинга грунта, весной 2013 г. в макробентосе обнаружено 13 видов животных и 2 вида фитобентоса. У о. Лисьего было обнаружено большее число видов макробентоса, имеющих высокие показатели плотности и биомассы по сравнению с 2012 г. Отмечена смена доминирующих видов, связанная, скорее всего, с дноуглубительными работами и свалкой грунта.

В местах дноуглубления в б. Врангеля встречались пустые раковины двустворчатых моллюсков *Mizuhopecten yessoensis* (двухлетки), *Glycymeris yessoensis*, *Crassostrea gigas*, *Macra chinensis*, *Fellaniella usta*, *Pillucina pisidium*, *Keenocardium californiensis*, *Cilliatocardium ciliatum*, *Diplodonta semiaspiroides*, *Megangulus venulosus*, *Liocyma fluctuosa*, *Arca boucardi*, а брюхоногие были представлены только *Littorina sp.*

Некоторые виды полихет, двустворчатых и брюхоногих моллюсков, ракообразных, встречавшиеся в этих районах в 2012 г., в апреле 2013 г. не обнаружены. Офиура *Amphipholis kochii*, отмеченная в пробах исследованной акватории практически повсеместно в ноябре 2012 г., весной следующего года не зарегистрирована.

Общая биомасса макробентоса составила 1344 г/м², и основная доля приходилась на красные водоросли (62,8 %), двустворчатых моллюсков (17,5 %) и многощетинковых червей (15,7 %). Вклад остальных групп макробентоса не превышал 2,5 %. По сравнению с 2012 г., биомасса макробентоса исследованной акватории зал. Находка увеличилась более чем в 10 раз. Общая плотность макробентосных животных составила 1619 экз./м². Основными по численности были представители многощетинковых червей.

Таким образом, установлено, что за период с ноября 2012 г. по апрель 2013 г. в районе исследования в зал. Находка произошли заметные изменения в макробентосе, а именно – увеличилась его биомасса. Возможно, это связано с отсутствием работ по дноуглублению бухты и сбросом грунта на свалке у о. Лисий в холодный период года.

В результате исследования осенью в районе о. Лисий и порта «Восточный» обнаружено 14 видов инфавны и эпибентосных организмов. В отличие от предыдущих съемок в пробах не найдено водорослей-макрофитов, а среди бентосных животных преобладали представители многощетинковых червей.

По сравнению с бентосной съемкой предыдущих сезонов в зал. Находка в районе о. Лисий произошло сокращение видового состава, плотности и биомассы некоторых групп макробентосных животных, изменение бентосных сообществ и доминирующих видов. Это

связано, скорее всего, с дноуглубительными работами и свалкой грунта в районах отбора проб макробентоса.

Исследования зоопланктона бухты Врангеля

Антропогенное воздействие на морскую биоту бухты Врангеля за последнее десятилетие связано со строительством сухого дока и оснований нефтедобывающих морских платформ в порту Восточный. Эти работы сопровождаются дноуглублением, дампингом грунта, разборкой перемычки и выводом построенных платформ в море. К настоящему времени накоплен большой объем наблюдений, позволяющий оценить изменения видового состава и количественные показатели основных групп личинок рыб, зоопланктона и бентоса [1, 2].

В 2011 г. началось проектирование Приморского нефтехимического завода на промышленной площадке, расположенной в долине р. Глинка на побережье бухты Врангеля (залив Находка). В проект входило также строительство гидротехнических сооружений (сброса очищенных сточных вод, водозабора, причала и др.). В связи с этим в апреле 2012 г. в бухте Врангеля и прилегающих к ней районах залива Находка проводились инженерно-эко-логические изыскания. В соответствии с утвержденными техническими заданиями осуществлялся отбор проб с целью получения информации о состоянии морских организмов на этих акваториях. В задачи исследования входило определение видового состава и количественных показателей, расчет численности и биомассы зоопланктона. В работе учитывались сведения о морской биоте, полученные автором с участием ДВО ВНИИ охраны природы в бухте Врангеля в 2010-2014 гг. при выполнении программы экологического мониторинга, обусловленного строительством сухого дока и функционированием порта Восточный.

Материалы и методы. Бухта Врангеля вдается в восточный берег залива Находка (залив Петра Великого) между мысами Каменского и Петровского и вытянута с северо-запада на юго-восток [2]. Станции располагались на глубинах 9-15 м, по типу грунта преобладали илы и заиленные пески (рисунок 2.2.1). Согласно программе мониторинга состояния окружающей среды в б. Врангеля, связанной со строительством платформ в сухом доке порта «Восточный», исследования зоопланктона были выполнены на 9 станциях. Всего было собранно и обработано 63 пробы зоопланктона.

Пробы зоопланктона отбирали на каждой станции тотально (от дна до поверхности) с помощью планктонной сети с фильтрующим ситом (ячей около 150 мкм). Пробы фиксировались 4% раствором формалина. На каждой станции отбирали по одной пробе. Разбор и анализ проб планктона производили по стандартным методикам [3, 4, 5]. Подсчет

производился под стереомикроскопом, оснащенным камерой (AxioCam Iсс 3, модель Stemi2000-C).

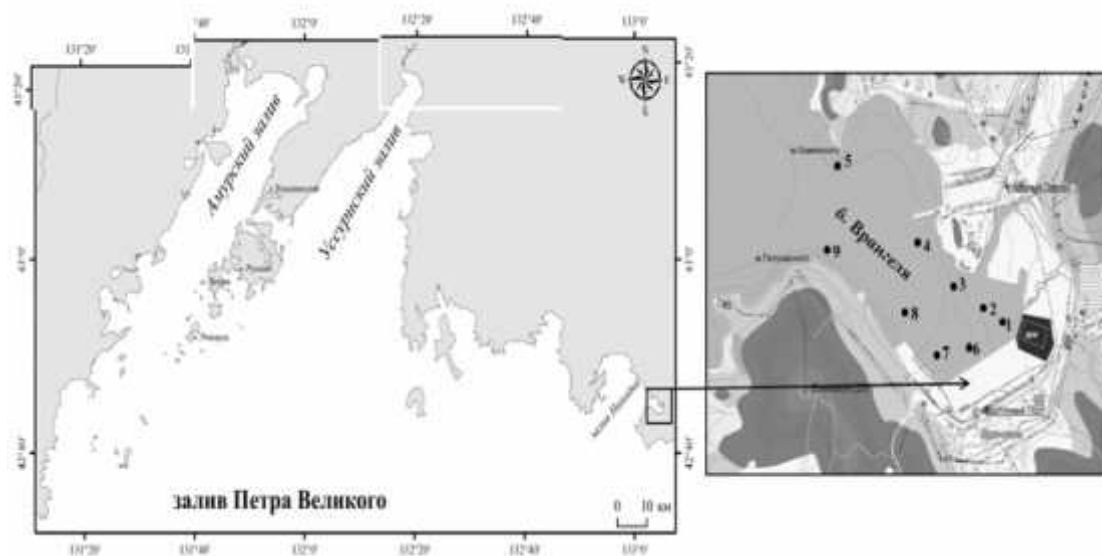


Рисунок 2.2.1 - Схема станций отбора проб зоопланктона в бухте Врангеля (зал. Находка) в 2010-2014 гг.

Организмы, встреченные в небольшом количестве, подсчитывались во всей пробе. Биомассу находили при помощи таблиц стандартных весов и номограмм Численко [6]. Коэффициенты уловистости для сети не применяли. Все данные в дальнейшем были пересчитаны на плотность в экз./м³.

Результаты и обсуждение.

В период исследования зоопланктона, собранного в акватории бухты Врангеля за 2010-2014 гг., было отмечено 42 группы животных, принадлежащих к различным таксонам. Из них идентифицировано 28 видов (или 67% от общего числа групп) (таблица 2.2.1). В бухте Врангеля общая биомасса зоопланктона колебалась от 62,23 до 705,50 мг/м³, а плотность составила от 5900 до 49788 экз./м³. Минимум количества планктеров и биомассы отмечен в августе 2014 г., а максимум – в октябре 2011 г. Среднегодовое значение плотности зоопланктона за 2010-2014 гг. составило 29392,57 экз./м³, а биомассы – 470,89 мг/м³ (таблица 2.2.2).

Среди основных групп зоопланктона копеподы были доминирующей группой по численности и биомассе, составив в течение года 55-85% от общей плотности и 50-80% от общей биомассы зоопланктона. Среднегодовые значения плотности и биомассы копепод составили 25529,28 экз./м³ и 327,08 мг/м³ соответственно (таблица 2.2.3). При сравнении ежегодных данных по видовому составу, численности и биомассе зоопланктона в период с 2010 по 2014 г. с литературными данными по исследованию видового состава залива Петра

Великого [2,4,7,8,9] мы отметили сходство по основным фаунистическим группировкам планктона во все сезоны.

Таблица 2.2.1 - Видовой состав зоопланктона в б. Врангеля (зал. Находка) в разные сезоны 2010-2014 гг.

Таксоны	Период исследования, год, месяц						
	2010		2011			2012	2014
	IX	X	IV	VIII	X	IV	VIII
Cladocera							
<i>Podon leuckartii</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pseudoevadne tergestina</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>Evadne nordmanni</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pleopsis polyphemoides</i>	+	+	+	+	+	+	+
Copepoda							
<i>Calanus pacificus</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>C. glacialis</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>Neocalanus cristatus</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>N. plumchrus</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>Paracalanus parvus</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pseudocalanus minutus</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>P. newmani</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>P. avirostris</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>Metridia pacifica</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>Acartia clausi</i>	—	+	—	+	+	+	+
<i>A. pacifica</i>	—	+	—	+	+	+	+
<i>A. hudsonica</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>A. longiremis</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>A. tumida</i>	—	—	+	+	—	+	+
<i>A. omortii</i>	—	—	—	—	—	+	—
<i>Oithona similis</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>O. brevicornis</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>O. plumifera</i>		—	—	—	—	+	+
<i>O. borealis</i>	+	+	+	+	—	+	+
nauplii Copepoda	+	+	+	+	+	—	+
Cirripedia							
Cirripedia gen. sp., cypris	+	+	+	+	—	—	—
Chaetognatha							
<i>Sagitta elegans s.l.</i>	+	+	+	+	+	+	+
Polychaeta							
Polychaeta - larvae	+	+	+	+	+	+	+
<i>Capitella capitata</i>	—	+	+	—	+	—	—
<i>Polodora spp.</i>	+			+	—	—	—
<i>Pholoe spp.</i>	+	+	+	+	—	—	—
<i>Paraprionospio spp.</i>	+	—	—	+	—	—	+
<i>Lumbrineris spp.</i>	—	+	+	—	+	—	+

Таксоны	Период исследования, год, месяц						
	2010		2011			2012	2014
	IX	X	IV	VIII	X	IV	VIII
Decapoda							
Decapoda-larvae sp.	–	–	–	–	–	–	+
Paguridae, zoea, megalopa	–	–	–	+	+	–	+
<i>Chionoecetes opilio</i> , zoea	–	–	–	–	–	–	–
<i>Paralithodes camtschaticus</i> , zoea	–	–	–	–	–	–	–
Mollusca							
Кл. Bivalvia - larvae spp.	+	+	+	+	+	+	+
<i>Mytilus</i> spp.	–	–	–	+	–	–	–
Кл. Gastropoda - larvae spp.	+	+	+	+	+	+	+
Appendicularia							
<i>Oikopleura</i> spp.	–	+	–	–	+	–	–
Hydrozoa	+	+	+	+	–	–	–
Echinodermata							
Echinodermata spp. - larvae	+	+	–	–	–	+	–
Всего видов	29	32	29	33	28	28	31
Примечание - «–» - отсутствует вид, «+» - присутствует вид.							

При сравнении ежегодных данных по видовому составу, численности и биомассе зоопланктона в период с 2010 по 2014 г. с литературными данными по исследованию видового состава залива Петра Великого [2,4,7-10] мы отметили сходство по основным фаунистическим группировкам планктона во все сезоны.

Таблица 2.2.2 - Общая плотность (N, экз./м³) и биомасса зоопланктона (B, мг/м³) в районе б. Врангеля (зал. Находка) в 2010-2014 гг.

Период исследования	N, экз./м ³	B, мг/м ³
Сентябрь 2010	5900	118
Октябрь 2010	20229	404,58
Апрель 2011	40234	650,1
Август 2011	44123	664,67
Октябрь 2011	49788	705,5
Апрель 2012	42349	691,18
Август 2014	3125	62,23
Всего	205748	3296,26
Среднее значение	29392,57	470,89

На всей исследованной акватории преобладали два широко распространенных вида *O. similes* и *P. newmani* (рисунок 2.2.2). Ввиду большой плотности эти виды составляют основу зоопланктона в целом. Невысокими показателями обилия отличался неритический вид копепод – *A. hudsonica*, который является одним из преобладающих в планктоне закрытых и полузакрытых бухт залива Петра Великого [11,12] в летний период. При исследовании бухт залива Находка в период с 1990-2000 гг. *A. hudsonica* характеризовался довольно высокой численностью (до 5500 экз./м³) [5].

Таблица 2.2.3 - Общая плотность (N, экз./м³) и биомасса Copepoda (B, мг/м³) в районе б. Врангеля (зал. Находка) в 2010-2014 гг.

Период исследования	N, экз./м ³	B, мг/м ³
Сентябрь 2010	3938	78,76
Октябрь 2010	14136	300,56
Апрель 2011	38805	450,56
Август 2011	39914	467,89
Октябрь 2011	41121	501,56
Апрель 2012	38468	443,76
Август 2014	2323	46,48
Всего	178705	2289,57
Среднее значение	25529,28	327,08

Причиной низкой численности *A. hudsonica* в бухте Врангеля в течение всего периода наших наблюдений (2010-2014 гг.), возможно, является малое распреснение вод на всей протяженности исследуемой акватории (>‰) особенно в летний период [2,13].

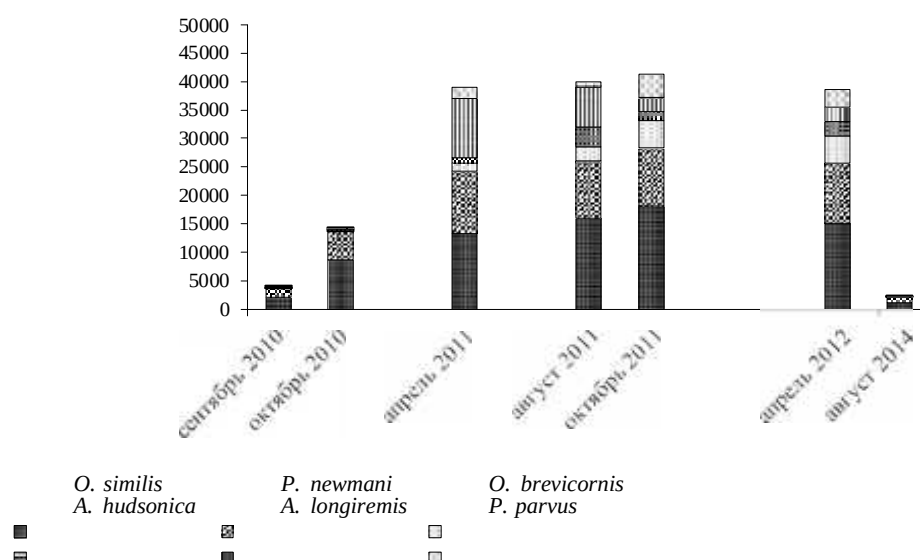


Рисунок 2.2.2 - Плотности массовых видов Copepoda в б. Врангеля в разные сезоны.

Весной, помимо широко распространенных *O. similes* и *P. newmani*, значительную роль в копеподном сообществе играл неритический вид *A. longiremis*, численность которого

апреле в 2011 г. достигала 10530 экз./м³. Однако другие неритические виды, обычные для этого времени года в планктоне прибрежных участков северо-западной части Японского моря, образовывали лишь небольшие скопления. С сентября по октябрь планктонное сообщество б. Врангеля было представлено, в основном, холодноводными и бореальными видами. Основу зоопланктона составляли, как и во всех прибрежных акваториях северо-западной части Японского моря, копеподы [11,12,14-16], представленные большей частью неритическими видами с небольшой примесью океанических. Появление видов океанического комплекса указывает на воздействие открытых вод залива.

Приносимые с южными и теплыми водами, развивающиеся в бухте Врангеля копеподы *P. parvus* характерны для поверхностной япономорской водной массы, а *P. newmani* – ее подповерхностной модификации. С юга с теплыми водами Цусимского течения [4,9,13] также заносятся не дающие вспышки численности представители *P. avirostris* из кладоцер. Присутствие копеподы *C. glacialis* указывает на приток вод Приморского течения с севера Японского моря.

В соответствии с представлениями о биотопических основах распределения населения пелагиали [17] по видовому составу планктона можно сделать вывод, что прибрежные воды исследованной акватории находятся под влиянием вод разного происхождения. В мелководных районах водные массы очень динамичны, здесь постоянно происходит их трансформация и перемешивание [10]. Таким образом, пестрый состав видов с разной экологией говорит о смешивании вод различного происхождения в данном локальном районе.

Как показали исследования, ветвистоусые рачки *Cladocera* были представлены четырьмя видами – *Pseudoevadne tergestina* (от 9 до 45 экз./м³), *Pleopsis polyphemoides* (от 106 до 456 экз./м³), *P. leuckarti* (от 68 до 108,45 экз./м³) и *Evadne nordmann* (от 90 до 125 экз./м³). Следует отметить, что увеличение плотности *Pleopsis polyphemoides*, индикатора значительного загрязнения морских вод [6,18], было зарегистрировано на всех станциях и в течение всего периода наблюдений, что указывает на высокую степень эвтрофикации прибрежных вод бухты Врангеля. Наибольшая численность этого вида была зарегистрирована в августе 2014 г., когда его плотность достигала 456 экз./м³.

Численность щетинкочелюстных (Chaetognatha) на исследованной акватории бухты Врангеля изменялась от 20 до 3000 экз./м³. Аномальных животных не выявлено. Минимальные значения численности были отмечены в апреле 2011 г. – 20 экз./м³, а максимальные значения в октябре 2010 г. – 3000 экз./м³. Представители аппендикулярий (*Appendicularia*) были встречены в наших пробах только в октябре 2010 и 2011 гг.

Распределение численности *Appendicularia* в это время было однородным. В среднем на всех станциях численность составила 230 экз/м³ в октябре 2010 г. и 215 экз/м³ в октябре 2011 г.

Личинки донных беспозвоночных являются важным элементом планктона, они способствуют распространению и увеличению численности многих видов (моллюсков, иглокожих, ракообразных, медуз и др.) в том числе и промысловых. Как показали результаты, личинки донных беспозвоночных присутствовали в планктоне в течение всего периода исследований. Доминирующими являлись личинки *Bivalvia* (от 20 до 155 экз./м³), *Gastropoda* (от 17 до 143 экз./м³) и *Polychaeta* (от 15 до 88 экз./м³) (рисунок 2.2.3). Наибольшее количество меропланктона было встречено в октябре 2011 г., когда общая плотность всех организмов составила 408 экз./м³, а наименьшее в августе 2014 г. – 56 экз./м³ (рисунок 2.2.3).

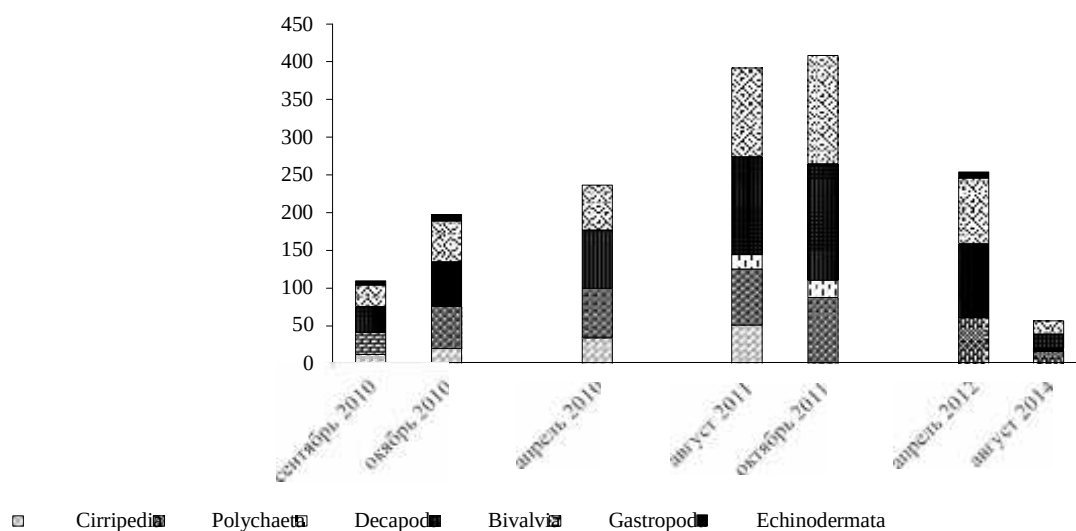


Рисунок 2.2.3 - Сезонная динамика (экз/м³) основных групп меропланктона б. Врангеля

Наши исследования показали, что меропланктон бухты Врангеля имел небольшую плотность, что свидетельствует о невысоком репродуктивном потенциале популяций донных беспозвоночных этой акватории. Следует отметить, что уменьшение численности меропланктона в загрязненных акваториях может быть не только следствием гибели личинок в результате непосредственного действия на них токсичных веществ, но и следствием нарушения у взрослых особей процесса формирования половых клеток (гаметогенез) под влиянием загрязнения. Исследования 1984-92 гг. показали, что морские ежи и гребешок, обитающие в бухте Золотой Рог, проливе Босфор Восточный, Амурском заливе, не способны давать полноценное потомство из-за низкого качества продуцируемых ими и половых клеток вследствие загрязнения [8,13].

Таким образом, проводимые в бухте Врангеля дноуглубительные и другие строительные работы оказывают определенное отрицательное воздействие на морскую биоту (зоопланктон, включая меропланктон). Антропогенная нагрузка порта «Восточный» на акваторию исследуемой бухты оказывает влияние на продуктивность водной экосистемы. Попадая в прибрежные воды залива, загрязняющие вещества влияют на качество морской среды и на населяющие ее организмы. Так, увеличение плотности *Pleopsis polyphemoides*, индикатора значительного загрязнения вод в районе бухты Врангеля (залив Находка), указывает на интенсивную эвтрофикацию вод бухты. Также следует отметить небольшую плотность меропланктона бухты Врангеля, что свидетельствует о невысоком репродуктивном потенциале популяций донных беспозвоночных этой акватории. Необходимо продолжение экологического мониторинга морской биоты бухты Врангеля залива Находка.

Залив Восток

Видовой состав фитопланктона. В марте 2016 г. видовой состав фитопланктона в районе зал. Восток формировали два отдела микроводорослей: динофитовые (Dinophyta) и диатомовые (Bacillariophyta). Обнаружено 25 видов и внутривидовых таксонов микроводорослей, общий список которых представлен в таблице 2.2.4.

Таблица 2.2.4 - Видовой состав и распределение фитопланктона в районе зал. Восток (март 2016 г).

№	Таксон	экол. хар-ка	геогр. хар-ка	Станции
Bacillariophyta				
1	<i>Chaetoceros decipiens</i>	П	К	На всех станциях
2	<i>C. affinis</i>	Н	ТБ	На всех станциях
3	<i>C. compressus</i>	Н	ТБ	На всех станциях
4	<i>C. mitra</i>	Н	БА	На всех станциях
5	<i>C. debilis</i>	Н	ТАБ	На всех станциях
6	<i>C. septentrionales</i>	Н	БА	На всех станциях
7	<i>Chaetoceros</i> spp.	—	—	На всех станциях
8	<i>Coscinodiscus oculus iridis</i> Ehr.	О	К	На всех станциях
9	<i>Coscinodiscus</i> spp.	—	—	На всех станциях
10	<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehr.)	Н	К	На всех станциях
11	<i>Leptocylinthus danicus</i>	Н	К	На всех станциях
12	<i>Rhizosolenia</i> spp.	—	—	На всех станциях
13	<i>Thalassionema nitidius</i> Grun.	П	К	На всех станциях
14	<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	Н	ШП	На всех станциях
15	<i>Thalassiosira</i> spp.	—	—	На всех станциях
16	<i>Skeletonema costatum</i> (Grev.)	Н	К	На всех станциях
17	<i>Cerataulina pelagica</i>	Н	К	На всех станциях
18	<i>Navicula</i> spp.	—	—	На всех станциях

№	Таксон	экол. хар-ка	геогр. хар-ка	Станции
Dinophyta				
19	<i>Gymnoinium simplex</i> Lohm.	Н	—	На всех станциях
20	<i>Gymnoinium</i> spp.	—	—	На всех станциях
21	<i>Prorocentrum</i> spp.	—	—	На всех станциях
22	<i>Dinophysisacuminata</i>	Н	—	На всех станциях
23	<i>D. acuta</i>	Н	Б	На всех станциях
24	<i>Dinophysis</i> spp.	—	—	На всех станциях

Примечания: Экол. – экологическая характеристика: Н – неритический, О – океанический, П – панталассный. Геогр. – фитогеографическая характеристика: ТАБ – тропическо-бореально-арктический, ТБ – тропическо-бореальный, К – космополит, ШР – широко распространенный, БА – бореально–арктический вид, Б – биполярный.

По числу видов ведущее положение занимали отдел диатомовых (18 видов и внутривидовых таксонов). Динофитовых было отмечено 7 видов.

Экологическая и биогеографическая характеристика фитопланктона

Экологическая характеристика видового состава установлена для 16 видов (66,66% от общего числа видов) фитопланктона, обнаруженных на исследованной акватории в марте 2016 г. (табл. 2.2.4, рис. 2.2.4). Для остальных видов экологическая и биогеографическая характеристики сомнительны или неизвестны. Основу флоры микроводорослей формировали неритические (13 видов или 81,25% от общего числа), панталассный вид представлен (2 вида или 12,5% от общего числа), а океанический представлен одним видом (6,25%).

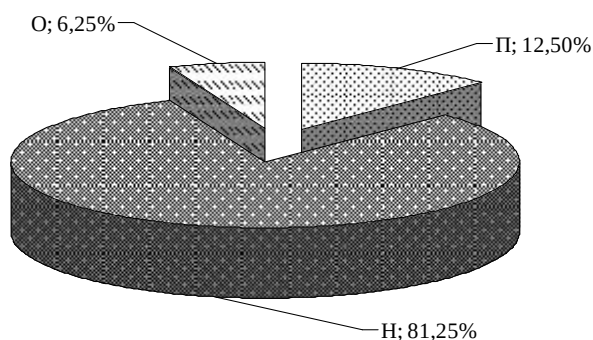


Рисунок 2.2.4 - Экологическая структура сообщества фитопланктон в районе зал. Восток 16-18 марта 2016 г. Обозначения см. в таблице 1.

Биогеографическая принадлежность установлена для 14 видов фитопланктона (58,3% от общего числа), обнаруженных на исследованной акватории (рис. 2.2.5).

Доминировали виды с космополитическим типом ареала (7 видов или 50% от общего числа видов с известной экологической характеристикой), тропическо-бореальных и бореально-арктических видов отмечено по два вида (14,3%), бореально-арктический, широко распространенные и биполярные представлены по одному виду(7,14)%.

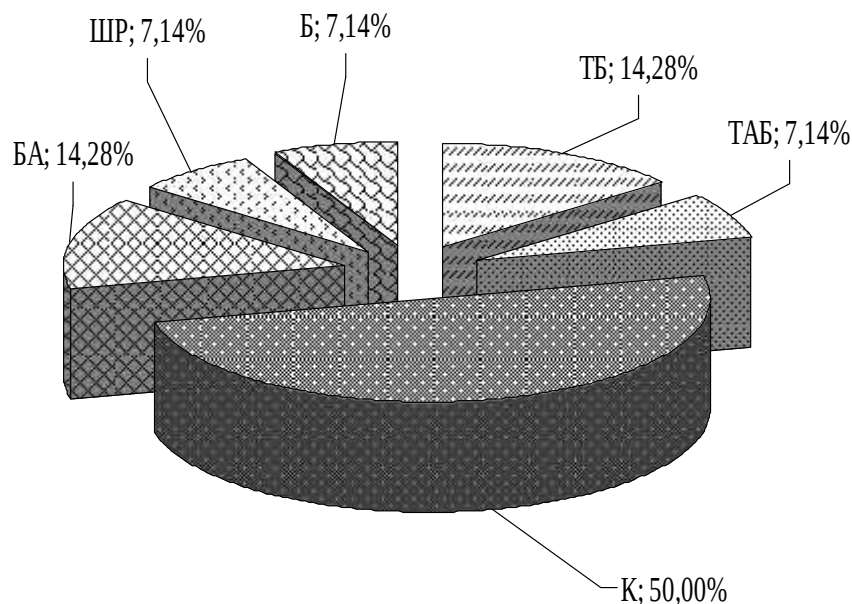


Рисунок 2.2.5 - Биогеографическая структура фитопланктона в районе зал. Восток
Обозначения см. в табл. 2.2.4.

Результаты проведенного анализа, свидетельствующие о преобладании широко распространенных видов-космополитов, совпадают с данными биогеографического анализа, полученными ранее для зал. Восток [16, 19-22].

В районе исследований 16-18 марта 2016 г. сообщество фитопланктона характеризовалось высокими количественными показателями: в поверхностном слое плотность варьировала от 82500 до 174500 кл./л, а биомасса от 1016 до 3938 мг/м³. Максимальные значения плотности и биомассы в поверхностном слое воды зарегистрировано на станции 3 за счет развития комплекса диатомей, а минимум плотности - на станциях 16 и 18. На всех станциях был обнаружен пик цветения фитопланктона. В придонном слое также были высокие показатели. Среднии значения по плотности варьировали от 40333 до 87833 кл./л, а по биомассе от 829 до 1931 (табл. 2.2.5, рис. 32.2.6 и 2.2.7.

Таблица 2.2.5 - Количественные характеристики фитопланктона в районе залива
Восток (N – численность, тыс. кл./л; В – биомасса, мг/м³)

№ станции	Поверхностный слой		Придонный слой		Средние значения	
	N	В	N	В	N	В
1	129000	2365,634	80600	1710,943	69866,66	1358,859
2	174000	3984,383	89500	1808,286	87833,33	1930,889
3	174500	3938,673	86500	1794,517	87000	1911,0633
4	151500	3142,651	80000	1937	77166,66	1693,217
5	122500	2892,942	72000	1771,733	64833,33	1554,89
6	119500	2870,194	75500	1812,188	65000	1560,794
7	119500	2870,194	75500	1812,188	65000	1560,794
8	117500	2770,975	71500	1739,24	63000	1503,405
9	108500	2415,623	58000	1484,65	55500	1300,091
10	115500	2116,098	52500	1223,38	56000	1113,159
11	92500	2092,703	53500	1387,93	48666,66	1160,211
12	95500	2129,085	51500	1385,99	49000	1171,691
13	99500	2272,79	49500	1295,635	49666,66	1189,475
14	140000	2866,196	65500	1451,693	68500	1439,296
15	97000	2119,266	48000	1091,568	48333,33	1070,278
16	82500	1869,101	42500	1016,683	41666,66	961,928
17	79000	1796,776	42000	1016,613	40333,33	937,7963
18	82500	1869,101	42500	1016,683	41666,66	961,928
19	87000	1844,16	42000	1049,935	43000	964,698
20	143000	3158,315	85000	1786,88	76000	1648,398
21	152500	3320,45	91000	2027,763	81166,66	1782,73
22	95500	1750,66	58000	966,89	51166,66	905,85
23	84500	1711,441	45500	851,35	43333,33	854,263
24	91000	1956,971	51000	958,7	47333,33	971,89
25	84500	1631,906	50000	854,965	44833,33	828,957
Всего	2838500	61756,288	1559100	35253,403	1465866,667	32336,56367

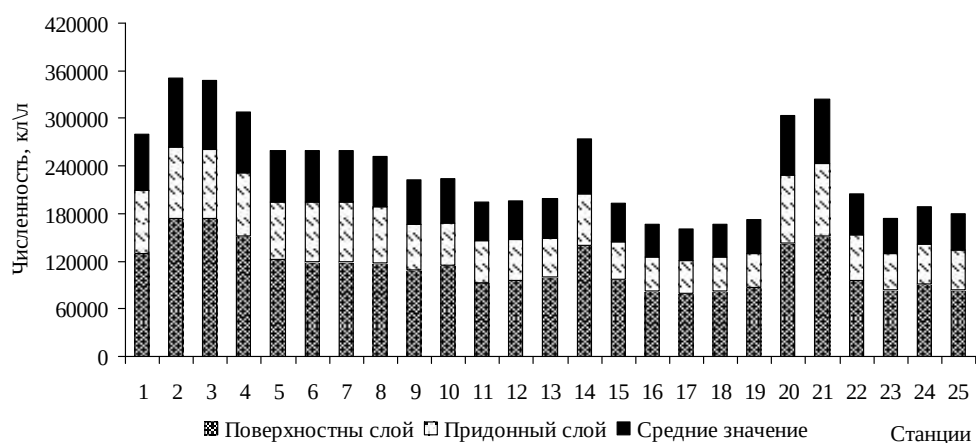


Рисунок 2.2.6 - Распределение численности фитопланктона (N, кл/л) по станциям.

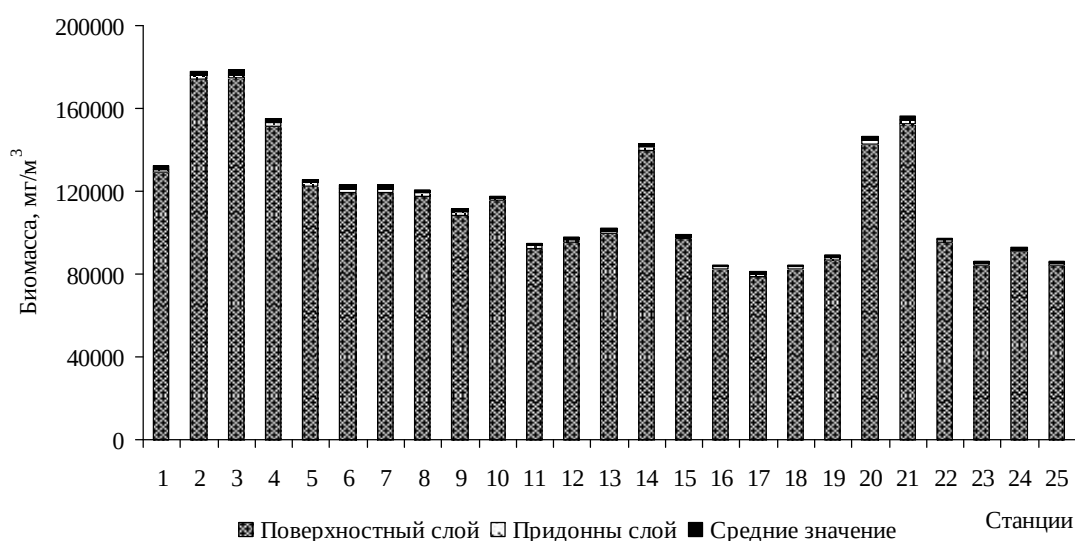


Рисунок 2.2.7 Распределение биомассы фитопланктона (B, мг/м³) по станциям.

Анализ вертикального распределения численности и биомассы показал, что в большей степени водоросли развивались в поверхностном слое. Количественная характеристика фитопланктона показала, что распределение плотности микроводорослей в исследуемом районе было равномерно. Диатомовые водоросли являлись доминирующей группой фитопланктона в районе исследования. Плотность диатомовых водорослей за период исследования составляла 90% от общей плотности фитопланктона, биомасса достигала до 97% от суммарной биомассы микроводорослей. Небольшой вклад внесли в общую биомассу и численность динофитовые водоросли. Пик цветения создавали следующие виды водорослей из отдела диатомовых: *Skeletonema costatum* (от 9000 кл./л до 25500 кл./л), *Coscinodiscus oculsiridis* (от 12000 кл./л до 35500 кл./л) и *Chaetoceros debilis* (от 15500 кл./л до 30500 кл./л) (рис. 2.2.8).

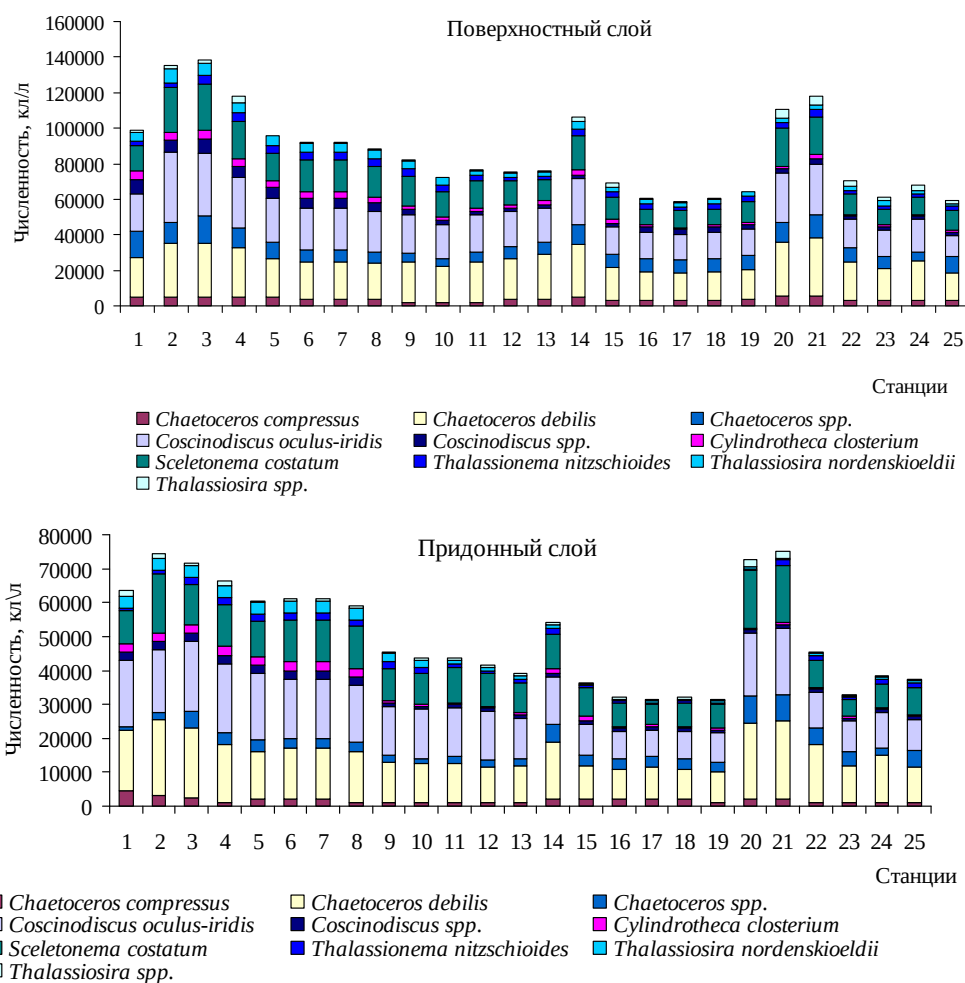


Рисунок 2.2.8 - Состав и распределение доминирующих видов диатомовых микроводорослей (численность, кл/л) в районе исследования зал. Восток

Skeletonema costatum – индикатор эвтрофных вод, свидетельствующий о высоком содержании органических веществ осенний период в районе зал. Восток. Массовое развитие этой водоросли обычно отмечается водах, богатых питательными веществами, так как этот вид считают как азото-, так и фосфоролубивым, а также особо чувствительным к содержанию кремния [23]. В районах подверженных значительному антропогенному воздействию, таких как Амурский залив и зал. Находка, численность *Skeletonema costatum* может превышать 8 млн. кл/л [24], что свидетельствует об экстремально-эвтрофном типе вод. По данным Морозовой и Орловой [22] – плотность *Skeletonema costatum* в зал. Восток в 1970-е гг. до начала работ по культивированию мидии не превышала 1-2 млн. кл/л. В 1980-е гг. после ввода в эксплуатацию установок марикультуры, занимающих площадь около 2,5 га, плотность *Skeletonema costatum* возрасла до 6 млн. кл/л. В 1990-е гг. в период максимальной антропогенной нагрузки, когда площадь эксплуатируемой территории увеличилась до 20-25 га, плотность *Skeletonema costatum* достигала уже 18 млн. кл/л [25], что близко к верхнему пределу плотности фитопланктона, установленному для прибрежных вод зал. Петра

Великого. Вместе с тем ежегодное массовое развитие *Skeletonema costatum*, отмеченное в районах демонтажа, можно объяснить особенностями биологии этого вида. Известно, что это вид способен образовывать покоящиеся клетки, которых сохраняют жизнеспособность не менее трех лет. При благоприятных условиях окружающей среды накопившиеся на дне клетки могут стать источником спорадических вспышек плотности этой микроводоросли.

Cylindrotheca closterium – отмечается в загрязняемых и эвтрофных заливах. В наших пробах был отмечен на всех станциях, в небольшом количестве численность не превышала 2000 кл/л.

Другие виды диатомовых водорослей были представлены с плотностью от 500 кл/л до 7000 тыс. кл./л. Доля диатомовых в общей биомассе была более заметной, чем отдел динофитовых микроводорослей (рис. 2.2.9). По биомассе доминировали два вида из отдела диатомовых: *Chaetoceros affinis* от 82 до 329 мг/м³ и *Coscinodiscus oculiroides* от 553,6 до 1349,4 мг/м³.

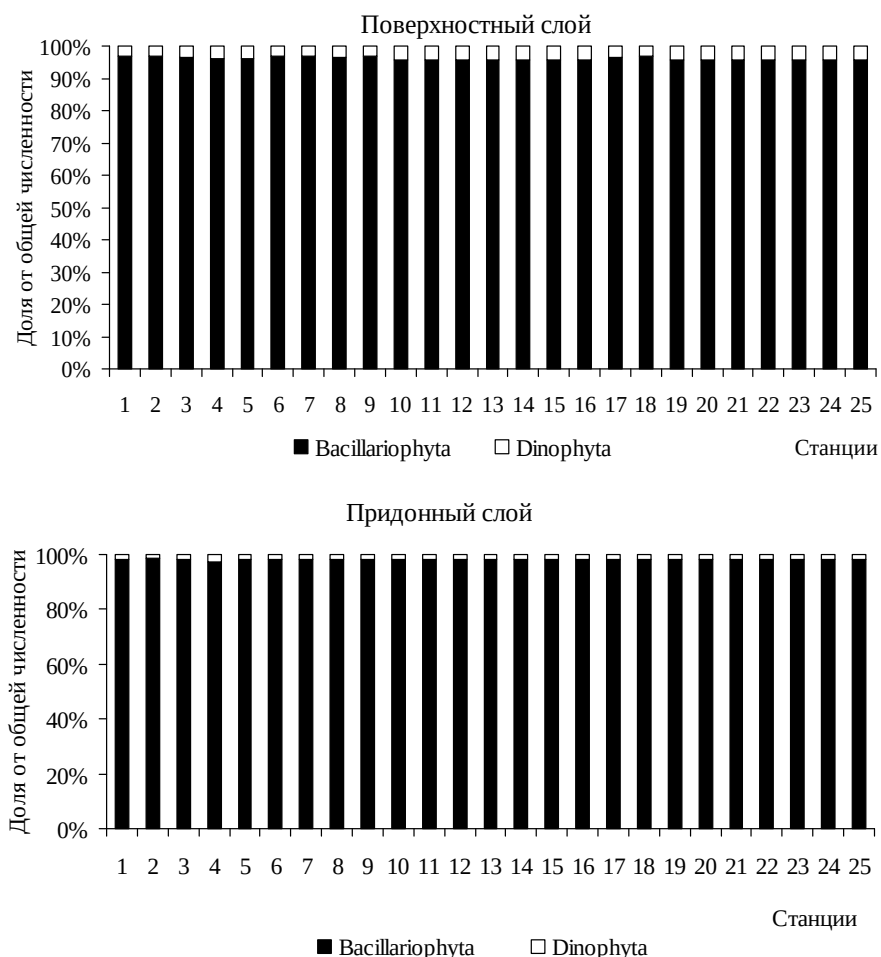


Рисунок 2.2.9 - Доля различных отделов фитопланктона в районе зал. Восток от общей численности по станциям

Плотность динофитовых водорослей не превышала 5000 кл/л. Существенный вклад в биомассу они не вносили. Вертикальное распределение численности и биомассы

характеризовалось наибольшими значениями в поверхностном слое. Это объясняется массовым развитием следующих видов диатомовых водорослей: *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus oculus-iridis*, *Chaetoceros debilis*. В поверхностном слое отмечалось массовое развитие тех же видов, что и в придонном слое. Таким образом, развитие фитопланктона в марте 2016 г. было активным, так как отмечался пик цветения. Структуру сообщества формировали, главным образом, диатомовые водоросли. Микроводоросли концентрировались в поверхностном слое. Общую численность фитопланктона формировали на всех станциях диатомовые водоросли, не большой вклад внесли динофитовые водоросли.

Особенности зоопланктона зал. Восток в середине лета 2015 г.

Новые данные о состоянии зоопланктона в зал. Восток были получены в период с 31 августа по 3 сентября 2015 г., что для зал. Петра Великого соответствует середине гидробиологического лета. К этому времени температура воды в верхних слоях моря достигает максимальных значений – в прибрежной зоне у поверхности воды до 25-26 °С, а у дна в центральной части зал. Восток – до 13-15 °С.

За период наблюдения в августе-сентябре 2015 г. в зал. Восток были встречены следующие таксономические группы голопланктона: Cladocera, Copepoda, Chaetognatha, Appendicularia, и меропланктона: Polychaeta, Bivalvia, Gastropoda, Echinodermata, Hydromedusae, Cirripedia. Самыми массовыми в голопланктоне по численности оказались личинки веслоногих ракообразных *Oithona similis* и *Oithona plumifera*, относящиеся к отр. Cyclopoida. Личинки этой группы присутствовали в зоопланктоне зал. Восток в течение всего периода исследования. Личинки щетинкочелюстных Chaetognatha в зоопланктоне зал. Восток представлены видом *Parasagitta elegans* и *Flaccisagitta* sp., и они наблюдались в течение всего периода исследований. Личинки ветвистоусых Cladocera в этот период были представлены в зоопланктоне зал. Восток видами *Podon leuckarti*, *Evadne nordmani*, *Evadne tergestina*, *Evadne* sp., *Daphnia* sp., *Podon* sp. Эти личинки встречались во всех представленных пробах планктона.

Личинки аппендикулярий относились к видам *Oicopleura albicans*, *Oicopleura cophocerca*, *Phritillaria borealis*, *Phritillaria* sp., и они присутствовали во всех пробах зоопланктона. Самую многочисленную группу меропланктона зал. Восток составили личинки Polychaeta. Максимальная численность наблюдается в конце августа – начале сентября в зал. Восток личинок *Prionospio* sp. Личинки брюхоногих моллюсков присутствовали в планктоне зал. Восток в течение всего периода наблюдений. Личинки Echinodermata наблюдались в зоопланктоне в течение всего срока исследований. В планктоне были отмечены не идентифицированные виды Echinodermata с наибольшей численностью.

Личинки усоногих ракообразных Cirripedia были представлены видом *Chthamalus dalli*, *Balanus rostratus*, *Balanus* sp., *Chthamalus dalli*. Личинки гидроидных Hydromedusae представлены видом *Colobonematypicum*. Они встречались в небольшом количестве в начале сентября 2015 г.

Характеристика зоопланктона зал. Восток весной 2016 г.

Видовой состав. Исследования, проведенные в марте 2016 г. в районе зал. Восток, показали присутствие 6 таксономических групп зоопланктона, среди которых по плотности доминировали Copepoda (13 видов) – 72,22%, остальные таксоны представлены одной формой (в случае неидентифицированных личинок) и видами (таблицы 2.2.6 и 2.2.7 рис. 2.2.10). Преобладали холодноводные океанические и интерзональные виды копепод.

Таблица 2.2.6 - Таксономический состав зоопланктона в районе зал. Восток весной 2016 г.

Группа	Количество видов	Содержание в %
Copepoda	13	72,22
Amphipoda	1	5,55
Mollusca	1	5,55
Chaetognatha	1	5,55
Cumacea	1	5,55
Polychaeta	1	5,55
Всего	18	100

В целом в районе в районе зал. Восток в марте 2016 г. в зоопланктоне по количеству видов доминировал неритический комплекс, представленный прибрежными видами голопланктона (66%) и меропланктона.

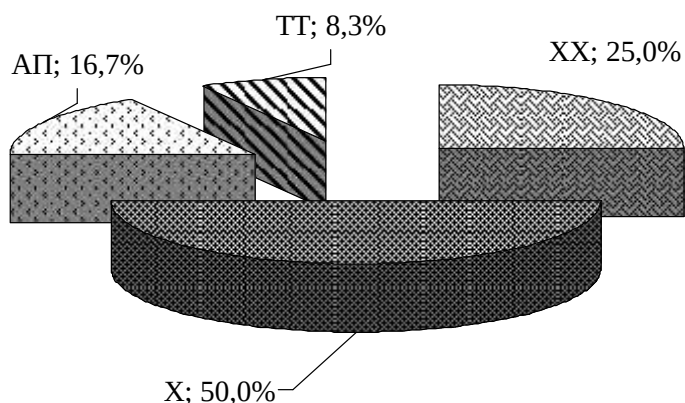


Рисунок 2.2.10 - Экологический комплекс планктонной фауны в районе зал. Восток в марте 2016 г. X - умерено холодноводные виды, XX - холодноводные виды, АП - абиссально-пелагические виды.

Таблица 2.2.7 - Видовой состав зоопланктона в районе зал. Восток в марте 2016 г.

Видовой состав зоопланктона	Трофическая характеристика	Экологическая характеристика
Copepoda		
<i>Pseudocalanus minutus</i> s.l.	Фильтраторы - эврифаги	ХХ
<i>Neocalanus plumchruss</i> s.l.	Грубые фильтраторы - эврифаги	Х
<i>Neocalanus cristatus</i>	Грубые фильтраторы - эврифаги	ХХ
<i>Oithona plumifera</i>	Хищники – эврифаги	ТТ
<i>Oithona similis</i>	Хищники – эврифаги	Х
<i>Oithona</i> spp.	—	—
<i>Metridia pacifica</i>	Эврифаги со смешанным типом питания	АП
<i>Acartia tumida</i>	Хвататели - эврифаги	Х
<i>Acartia clausi</i>	Хвататели - эврифаги	Х
<i>Acartia</i> spp.	—	—
<i>Calanus gracialis</i>	Грубые фильтраторы - эврифаги	ТТ
<i>Centropages abdominalis</i>	Хвататели - эврифаги	Х
<i>Tortanus discaudatus</i>	Хвататели - эврифаги	Х
nauplii cop.	—	—
Chaetognatha		
<i>Sagittaelegans</i> s.l.	Заглатывающие хищники	ХХ
Amphipoda		
<i>Hyperia</i> spp.	—	—
Mollusca		
Gastropoda-larvae spp.	—	—
Polychaeta		
Polychaeta-larvae spp.	—	—
Cumacea		
Cumacea spp.	—	—

Примечание: экологическая характеристика видов: 1. Х – умеренно холодный, ХХ – холодноводный, АП – абиссально-пелагический, ТТ – тепловодный, АП – абиссально - пелагический 2. Видовые названия копепод приводятся в соответствии с новейшими определителем планктона (AnIllustrated..., 1997). 3. ***Pseudocalanus minutus* s.l.** – имеются в виду два таксономически близких вида *Pseudocalanus minutus*, известный ранее как *Ps. gracilis* и *Pseudocalanus newmani*, известный ранее как *Ps. minutus* (Frost, 1989). 4. ***Neocalanus plumchruss* s.l.** – имеются в виду два таксономических близких вида – *N. plumchrusi* и *N. flemingeri* вместе (Miller, 1988). 5. ***Oithona plumifera*** – субтропический вид, морфологически сходный с океаническим холодноводным видом *Oithona atlantica* (AnIllustrated..., 1997).

В биогеографическом аспекте распределения видов зоопланктона характеризовалось в целом для всего района исследования холодноводными видами (50%) и умеренно холодноводными (38%). Абиссально-пелагических было 12%. Трофическую структуру

сообщества формировали две группы – нехищный и хищный зоопланктон. В первую группу, «мирного» планктона, вошли растительноядные виды из нескольких категорий - тонкие фильтраторы, грубые фильтраторы и фитофаги, а также эврифаги (их общая доля составляла 69%). «Хищный» зоопланктон (собирающие зоофаги и хвататели) составили около 31% от общей биомассы зоопланктона. По данным Долгановой Н.Т. [16] планктон мелкой и средней фракции, наряду с бактериями и простейшими, формирует кормовую базу хищного планктона. Кроме того мелкий планктон является основной пищей личинок рыб. В этом случае хищный планктон выступает пищевым конкурентом малькам рыб.

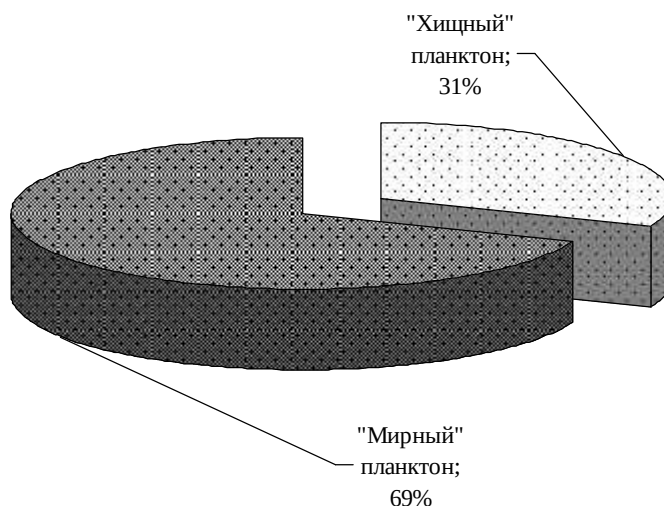


Рис. 2.2.11 - Трофическая характеристика зоопланктона в районе зал. Восток

Биомасса колебалась на разных станциях в пределах от 143,38 экз./м³ до 423,36 мг/м³, а численность варьировала от 2009 экз./м³ до 6417 экз./м³. Из таблицы 2.2.8 видно, что биомасса зоопланктона доминировала на ст. 48, а минимум пришелся на ст. 22. Численность зоопланктона доминировала на ст. 48, а минимум пришелся на ст. 22. Из копепоид по биомассе доминировал вид *Pseudocalanus minutuss.l.* от 105,65 до 376,38 мг/м³.

Основу численности и биомассы зоопланктона в районе зал. Восток 16-24.03.2016 г. составляли копепоиды. На их долю пришлось около 72,22%. Основу его составляли два холодноводных вида: *Pseudocalanus minutuss.l.* (от 840 до 2788 экз./м³) и *Oithona similis* (от 890 до 3004 экз./м³) (рис. 2.2.12). Субдоминантом можно выделить субтропический вид *Oithona plumifera* (от 77 до 212 экз./м³). *Calanus gracilis* отмечен на трех станциях 1, 2 и 4. Численность его варьировала от 20 – 55 экз./м³. *Centropages abdominalis* типично неарктический вид встречался на всех станциях. Численность его не превышало 1 экз./м³. *Acartia clausi* арктический вид поверхностных слоев воды отмечен на всех станциях, и численность его варьировала от 15 до 39 экз./м³. *Acartia tumida* так же был встречен на всех станциях в не большом количестве от 11 – 38 экз./м³. *Metridia pacifica* отмечен на всех станциях численность их составила от 15 до 45 экз./м³. В пробах были отмечены nauplii сор.

от 23 до 211 экз./м³. Щетинкочелюстные (Chaetognatha) на исследованной акватории в период 16-24 марта 2016 г. были представлены – умеренно холодноводным видом *Sagittaeleganss.l.*, который был отмечен на всех станциях с плотностью от 1 экз./м³ до 55 экз./м³. Они доминировали на станции 33 – 55 экз./м³, а минимум пришелся на станции 23 и 48 – 1 экз./м³ (рис. 2.2.13). Биомасса их варьировала от 5,136 до 59,064 экз./м³ (рис. 2.2.14). Размерный состав их варьировал от 3 до 4 мм.

Таблица 2.2.8 - Общая численность (экз./м³) и биомасса зоопланктона (мг/м³) в районе зал. Восток в марте 2016 г.

Станции	Численность, экз./м ³	Биомасса, мг/м ³	Количество видов
1	3180	209,46	18
2	3583	263,064	18
3	4054	342,05	17
4	4276	330,60	18
5	2563	239,241	16
6	2756	231,57	16
7	2579	194,14	16
8	2488	179,17	16
9	2073	148,45	16
10	2112	146,84	16
11	2300	163,37	17
12	2573	190,03	17
13	2434	178,64	16
14	3998	291,21	16
16	2049	163,51	16
17	2581	167,81	16
18	2121	161,26	16
19	2876	207,75	16
20	3541	255,14	17
21	3500	327,77	17
22	2009	143,38	17
23	2324	158,91	16
24	2185	196,91	16
33	6038	496,50	16
36	6094	460,31	16
41	3559	249,28	16
46	5743	391,85	16
48	6417	423,36	16
54	3766	282,61	16
65	3903	292,35	16
Всего: 30 проб	99675	7486,535	

Среди гиперид преобладала мелкоразмерная молодь *Hyperia* spp. численность их не превышала 1 экз./м³. Они не внесли существенный вклад биомассу зоопланктона. В пробе были встречены кумовые *Cumaceagen. spp.* на следующих станциях 1 - 1 экз./м³, 2 - 1 экз./м³,

3 - 5 экз./м³, 4 - 1 экз./м³, 11 - 1 экз./м³, 12 - 2 экз./м³, 20 – 1 экз./м³, 21 - 3 экз./м³, 22 – 3 экз./м³. Так же они не внесли существенный вклад биомассу зоопланктона.

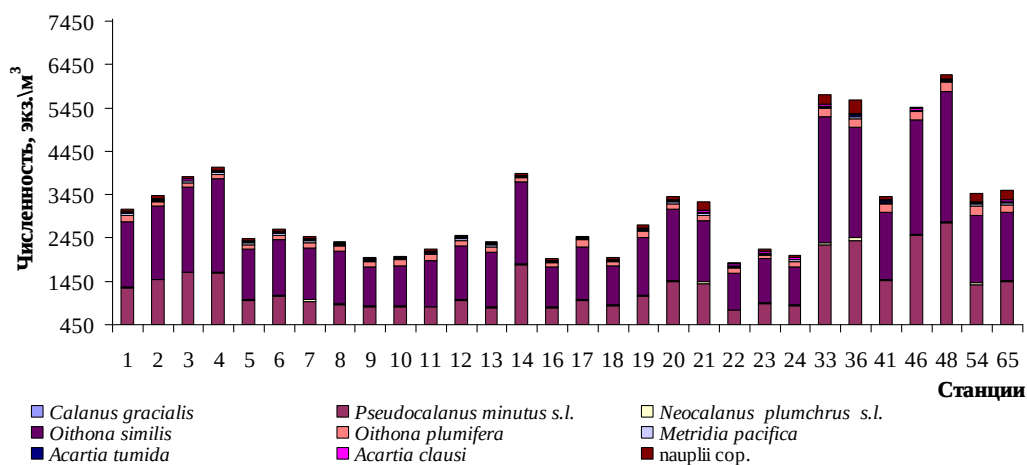


Рисунок 2.2.12 - Распределение доминирующих видов копепоид по станциям в районе зал. Восток

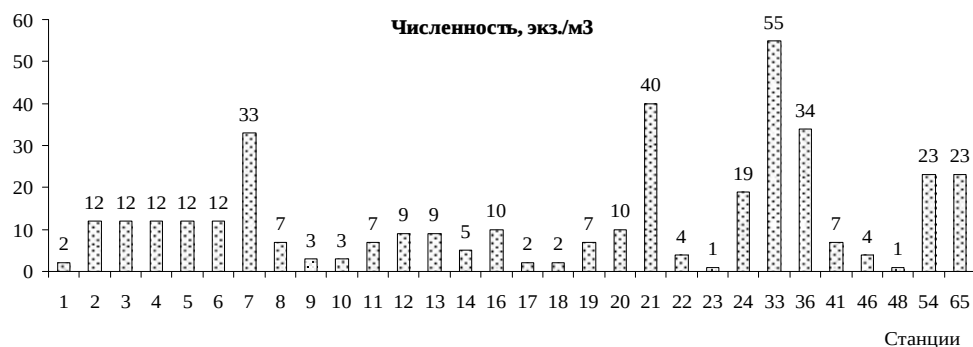


Рисунок 2.2.13 - Распределение численности щетинкочелюстных по станциям в районе зал. Восток

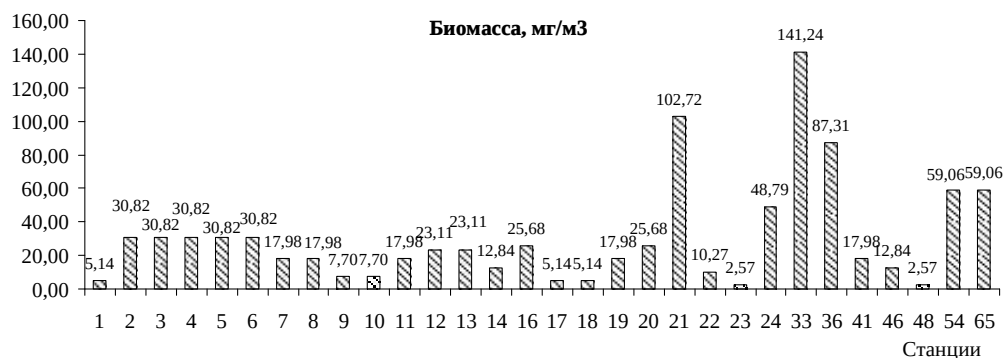


Рисунок 2.2.14 - Распределение биомассы щетинкочелюстных по станциям в районе зал. Восток

Меропланктон в районе зал. Восток 16-24 марта 2016 г. был скудно представлен (рис. 2.2.15). Невысокие значения плотности личинок Gastropoda (от 1 экз./м³ до 29 экз./м³) и Polychaeta (от 1 экз./м³ до 18 экз./м³) составили несущественную долю в меропланктоне.

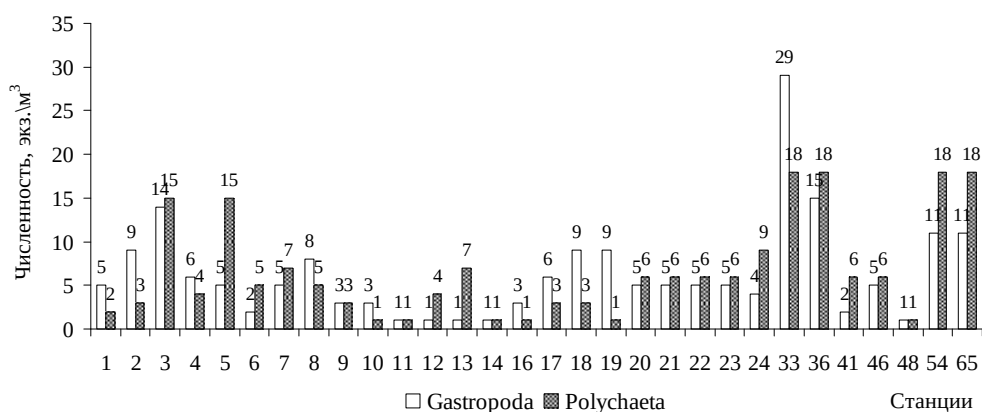


Рисунок 2.2.15 - Распределение меропланктона в районе зал. Восток

В.В. Косьян [26] был изучен видовой состав, динамика плотности и распределение зоопланктона в районе строительства Приморского нефтехимического завода (зал.Восток) в январе 2009 г. Обнаружено 6 таксономических групп зоопланктона, среди которых по плотности доминировали Copepoda (8 видов). Преобладали холодноводные океанические и интерзональные виды копепод. Плотность зоопланктона варьировала от 1577 до 5095 экз./м³. Информация может быть важна для оценки степени антропогенного пресса на качество морской среды и населяющих ее зоопланктонных животных в результате строительства нефтехимического завода. В исследуемом районе были обнаружены представители 6 таксономических групп зоопланктона: Copepoda, Chaetognatha, Amphipoda, Appendicularia, личиночные формы донных беспозвоночных Polychaeta и Gastropoda. Доминирующими были веслоногие ракообразные (Copepoda) (99,4 % от общей плотности). На долю остальных групп зоопланктона приходилось в среднем не более 1 %. Плотность зоопланктона находилась в пределах от 1577 до 5095 экз./м³. В зоопланктоне исследованной акватории обнаружено 8 видов веслоногих ракообразных (Copepoda), относящихся к 6 родам, 6 семействам и 2 отрядам этих животных. Наиболее представительными оказались роды *Pseudocalanus* и *Oithona*— по 2 вида, остальные роды насчитывали не более 1 вида. Среди найденных копепод преобладали морские виды — 100 %, а по отношению к биотопу — океанические и интерзональные (75 %). При этом биогеографический состав был невелик — обнаруженные виды относились к 3 биогеографическим подразделениям, а преобладали широкобореально—арктические виды (75 %). Из них наиболее представительными были холодноводные виды *Pseudocalanus newmani* (1615 экз./м³ и 67,7 %) и *Oithona similis* (628 экз./м³ и 26,3 %). Несколько меньший вклад вносил *O. atlantica* (80 экз./м³ и 3,4 %). На долю остальных видов веслоногих ракообразных приходилось в среднем не более 1 %. *Neocalanus plumchrus*, *Pseudocalanus newmani*, *Oithona similis* и *O. atlantica* были обнаружены во всех пробах. *Metridia pacifica* встречалась в 33% проб, остальные виды (*Pseudocalanus minutus*, *Acartia hudsonica* и *Tortanus discaudatus*) встречались в 16 % проб каждый. В прибрежном

районе плотность океанического вида веслоногих ракообразных (*Neocalanus plumchrus*) была примерно в четыре раза ниже, чем в открытом районе (соответственно 8 и 34 экз./м³). Такое формирование плотности и числа таксономических групп зимнего зоопланктона в исследуемом районе неотъемлемо связано со сложившейся системой течений зал. Восток, где проникновение и циркуляция вод Приморского течения в центральную часть залива обуславливает океанический облик его планктонного населения. В осенних наших пробах такж доминировали эти виды.

Обобщение данных по видовому составу зоопланктона заказника «Залив Восток» за 1998—2000 гг. [27] позволило установить, что основу фауны формируют представители 9 таксономических групп: Cladocera, Copepoda, Chaetognatha, Cnidaria, Ctenophora, Appendicularia, Pteropoda, Amphipoda и Ciliophora. На 2/3 она состоит из видов бореального происхождения (умеренных и холодноводных видов) и на 1/3 — тропических и субтропических видов. Состав планктона меняется в соответствии с ходом сезонной сукцессии и отражает присутствие различных водных масс на акватории. Зимой, весной и в начале лета в планктоне доминируют холодноводные океанические и интерзональные виды открытых вод зал. Петра Великого (*Pseudocalanus minutus*, *P. newmani*, *Neocalanus plumchrus* и *Metridia pacifica*). По мере прогрева водной толщи (август-сентябрь) почти все холодноводные виды из планктона замещаются тепловодными. В октябре, по мере охлаждения вод, вновь преобладают холодноводные океанические виды, и в ноябре планктон зал. Восток практически не отличается по составу от планктона северной части Японского моря.

За период наблюдения в августе-сентябре 2015 г. в зал. Восток были встречены следующие таксономические группы голопланктона: Cladocera, Copepoda, Chaetognatha, Appendicularia и меропланктона: Polychaeta, Bivalvia, Gastropoda, Echinodermata, Hydromedusae, Cirripedia. Самыми массовыми в голопланктоне по численности оказались личинки веслоногих ракообразных *Oithona similis* и *Oithona plumifera*, относящиеся к отр. Cyclopoida. Личинки этой группы присутствовали в планктоне зал. Восток в течение всего периода исследования. Личинки щетинкочелюстных Chaetognatha в планктоне зал. Восток представлены видом *Parasagitta elegans* и *Flaccisagitta* sp. В планктоне они наблюдались в течение всего периода исследований. Личинки ветвистоусых Cladocera представлены в планктоне видами *Podon leuckarti*, *Evadne nordmani*, *Evadne tergestina*, *Evadne* sp., *Daphnia* sp., *Podon* sp. Эти личинки встречались во всех представленных пробах планктона.

Личинки аппендикулярий были представлены видами *Oicopleura albicans*, *Oikopleura cophocerca*, *Phritillaria borealis*, *Phritillaria* sp., личинки присутствовали во всех пробах зоопланктона. Самую многочисленную группу меропланктона составили личинки

Polychaeta. Они встречались в планктоне с августа по сентябрь. Максимальная численность наблюдается в сентябре у личинок *Prionospio* sp. Личинки брюхоногих моллюсков присутствовали в планктоне в течение всего периода наблюдений. Наибольшее количество их встречалось в августе. Личинки Echinodermata наблюдались в планктоне в течение всего срока исследований. В планктоне были отмечены не идентифицированные виды Echinodermata с наибольшей численностью. Личинки усоногих ракообразных Cirripedia были представлены видом *Chthamalus dalli*, *Balanus rostratus*, *Balanus* sp., *Chthamalus dalli*, они присутствовали в планктоне в изученный период в течение всего срока. Личинки Hydromedusae представлены видом *Colobonematypicum*. Встречались в небольшом количестве в первую половину сентября.

Заключение

Таким образом, в целом в зоопланктоне в районе зал. Восток в период 16-24 марта 2016 г. по количеству видов доминировал неритический комплекс, представленный прибрежными видами голопланктона и меропланктона (личинок донных беспозвоночных животных). Исследования, проведенные в марте 2016 г. в районе зал. Восток, показали, 6 таксономических групп зоопланктона, среди которых по плотности доминировали Copepoda (13 видов) – 72,22%, остальные таксоны представлены одной формой (в случае неидентифицированных личинок) и видами. Биомасса колебалась на разных станциях в пределах от 143,38 экз./м³ до 423,36 мг/м³, а численность варьировала от 2009 экз./м³ до 6417 экз./м³. Из таблицы 6 видно, что биомасса зоопланктона доминировала на ст. 48, а минимум пришелся на ст. 22. Численность зоопланктона доминировала на ст. 48, а минимум пришелся на ст. 22. Из копепод по биомассе доминировал вид *Pseudocalanus minutuss.l.* от 105,65 до 376,38 мг/м³. Основу численности и биомассы зоопланктона в районе зал. Восток 16-24.03.2016 г. составляли копеподы. На их долю пришлось около 72,22%. Основу его составляли два холодноводных вида: *Pseudocalanus minutuss* (от 840 до 2788 экз./м³) и *Oithona similis* (от 890 до 3004 экз./м³). Субдоминантом можно выделить субтропический вид *Oithona plumifera* (от 77 до 212 экз./м³). Меропланктон в районе зал. Восток 16-24.03.2016 г. был скудно представлен. Невысокие значения плотности личинок Gastropoda (от 1 экз./м³ до 29 экз./м³) и Polychaeta (от 1 экз./м³ до 18 экз./м³) составили несущественную долю в меропланктоне.

Список использованных источников

1. Еловская О.А., Федорец Ю.В, Косьяненко А.А. и др. Современное состояние морской биоты бухты Врангеля (залив Находка, Японское море) //Вестник ДВО РАН. 2013. № 6. С.162- 169.

2. Федорец Ю.В. Шарова О.А., Раков В.А. и др. Экологический мониторинг морской биоты в районе порта Восточный в бухте Врангеля (залив Находка) //Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14 (№ 1). С. 2454-2457.
3. Богров В.Г. Планктон мирового океана. М.: Наука. 1974. 320 с.
4. Кос М.С. Сезонные изменения в составе, структуре и распределении зоопланктона залива Посыет (Японское море) //Исследование фауны морей. 1977. Т. 19 (27). С. 64-93.
5. Чавтур В.Г., Косьян В.В. Распределение и динамика *Pseudocalanus newmani* Frost (Copepoda: Calanoida) в Амурском заливе Японского моря //Известия ТИНРО. 2002. Т. 130. С. 483-502.
6. Численко Л.Л. Номограммы для определения веса водных организмов по размерам и форме тела. - Л.: Наука, 1968. - 105 с.
7. Вышкварцев Д.И., Крючкова Н.А., Карапетян Т.Ш. Исследования зоопланктона в мелководных бухтах залива Посыета в 1969-1971 гг. //Исследования пелагических и донных организмов дальневосточных морей. 1979. № 15. С. 17-29.
8. Раков В.А. Определитель двустворчатых моллюсков Приморского края. –Владивосток: Дальнаука. 2006. - 100 с.
9. Раков В.А., Селиванова Е.Н., Шевченко О.Г. и др. Мониторинг биоты залива Находка //Дальневосточные моря России: в 4-х кн. [Кн. 2: Исследования морских экосистем и биоресурсов / отв. ред. В.П. Челомин]. М.: Наука, 2007. С. 559-580.
10. Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России [Т. 1]. Владивосток: ТИНРО. 2001. 580 с.
11. Саматов А.Д., Саматова И.Н. Пространственное распределение и сезонная динамика копеподы *Acartia hudsonica* а Авачинской губе (Юго-Восточная Камчатка) //Биология моря. 1996. Т. 22. С. 21-30.
12. Слабинский А.М. Сезонные изменения мезопланктона Амурского залива (Японское море) в 1981 г. //Известия ТИНРО. 1984. Т. 109. С. 120-125.
13. Раков В.А., Селиванова Е.Н., Шевченко О.Г. и др. Мониторинг биоты на морских акваториях бухты Врангеля и залива Находка: препринт Владивосток: ТОИ ДВО РАН. 2005. – 76 с.
14. Бродский К.А. Свободноживущие веслоногие рачки (Copepoda)//Известия ТИНРО. 1948. Т. 26. С. 1-30.
15. Бродский К.А. Веслоногие рачки (Calanoida) дальневосточных морей СССР и Полярного бассейна. М. - Л.: Изд-во АН СССР. 1950. 441 с.
16. Долганов Н.Т. Состав, сезонная и межгодовая динамика планктона северо-западной части Японского моря //Биология, состояние запасов и условия обитания промысловых

гидробионтов дальневосточных морей //Известия ТИНРО. 2001. Т. 128 (ч. III). С. 810-889.

17. Беклемишев К.В. Экология и биогеография пелагиали. М.: Наука. 1969. 291 с.
18. Милейковский С.А. Обзор советских исследований по влиянию антропогенного фактора на естественные сообщества морского и эстуарного зоопланктона и нейстона //Биология моря. 1981. № 4. С. 3-11.
19. Коновалова Г.В., Орлова Т.Ю. Структура фитопланктона мелководий северо-западной части Японского моря // Биология моря. 1988. № 5. С. 10-20.
20. Коновалова Г.В., Орлова Т.Ю., Паутова Л.А. Атлас фитопланктона Японского моря. Л.: Наука, 1989. 160 с.
21. Орлова Г.В., Паутова Л.А. Атлас фитопланктона Японского моря. – Л: Наука, 1989. – 160 с.
22. Морозова Т.В., Орлова Т.Ю. Мониторинг фитопланктона в районе хозяйства марикультуры в заливе Восток Японского моря // Биология моря. 2005. Т. 31. № 1, С. 11 – 16
23. Бегун А.А. Влияние поверхности субстрата и времени его экспозиции в море на количественное развитие диатомовых водорослей перифитона. // Известия ТИНРО. Том 163. С. 240-285. 2010.
24. Стоник И.В., Селина М.С. Фитопланктон как показатель трофности вод залива Петра Великого Японского моря // Биология моря. 1995. Т. 21, № 6. С. 403-406.
25. Селина М.С. Фитопланктон залива Восток Японского моря: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. Владивосток: Дальнаука. 1998. 25 с.
26. Косьян В.В. Зимний зоопланктон в районе строительства Приморского нефтехимического завода // Universum: Химия и биология : электрон.научн. журн. 2014. № 8 (8). URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/1514>
27. Школдина Л.С. О зоопланктоне морского заказника «Залив Восток» // V Дальневосточная конференция по заповедному делу. — Владивосток, 12—15 октября 2001 г.: Материалы конференции. — Владивосток: Дальнаука, 2001. С. 317-318.

2.3 Использование молекулярных биомаркеров окислительного стресса для оценки загрязнения морской среды

Введение

Морская среда и обитающие в ней животные наряду с многочисленными естественными факторами испытывают весьма значительное отрицательное влияние отходов хозяйственной деятельности человека. Для выявления и оценки антропогенного воздействия необходимо совершенствование методологической базы биологического мониторинга и внедрение подходов, основанных на достижениях современной биохимии.

Резкое увеличение масштабов и разнообразия форм производственной и бытовой деятельности человека приводит к хроническому загрязнению морских экосистем, что делает необходимым всестороннее изучение реакции гидробионтов на новые экологические факторы среды. Наиболее ощутимые последствия антропогенной активности наблюдаются в прибрежных экосистемах, куда поступают терригенные стоки, загрязненные различными химическими соединениями, включая высокотоксичные нефтеуглеводороды, пестициды, детергенты, фенолы, тяжелые металлы и др. Часть этих загрязнений накапливается в донных отложениях и усваивается различными гидробионтами. Кроме того, для водных масс этих районов характерны резкие изменения гидрохимических параметров - температуры, солености, концентрации кислорода, мутности и других, которые непосредственно оказывают существенное влияние на жизнедеятельность обитающих в этих местах живых организмов. В свою очередь, вариабельность физико-химических факторов может изменять биодоступность и, соответственно, токсичность загрязнителей. Поэтому в таких зонах возникает множество комбинаций синергических, антагонистических и маскирующих эффектов антропогенных факторов, что в значительной степени затрудняет использование традиционных гидробиологических методов оценки негативных изменений в экосистемах. Более того, они не позволяют оперативно оценить экотоксикологическую ситуацию в акваториях и нередко информация, собранная с их помощью, может быть проанализирована тогда, когда результаты воздействия проявятся на экосистемном уровне и приобретут необратимый характер.

Совершенно очевидно, что в прибрежных экосистемах с нестабильной экологической обстановкой и присутствия широкого спектра потенциальных химических загрязнителей для осуществления экотоксикологического мониторинга необходимо внедрение новой системы критериев, основанных на анализе ключевых биохимических параметров (молекулярных маркеров), позволяющих получить интегральную оценку

физиологического состояния организма, испытывающего воздействие неблагоприятных факторов среды. Основное преимущество использования неспецифических молекулярных маркеров заключается не только в высокой чувствительности, точности и экспрессности определения, но и в установлении причинно-следственных связей при взаимодействии организма и среды, что открывает возможность предсказывать изменения в популяциях и сообществах в загрязненных районах.

Настоящая работа посвящена исследованию возможности применения биохимических показателей окислительного стресса в полевых условиях для оценки комплексного влияния загрязнения на состояние морских гидробионтов.

2.3.1 Особенности антиоксидантной системы и показатели окислительного стресса двустворчатых моллюсков

*Сравнительные характеристики антиоксидантной системы у мидии Грея (*Crenomytilus grayanus*) и приморского гребешка (*Mizuhopecten yessoensis*)*

Мидия Грея *Crenomytilus grayanus* и приморский гребешок *Mizuhopecten yessoensis* - широко распространенные представители двустворчатых моллюсков в зал. Петра Великого Японского моря и являются объектами марикультуры. Зачастую мидии обитают в тех же местах, что и гребешки и относятся к тихоокеанским приазиатским нижнебореальным видам. Этих моллюсков объединяют некоторые общие черты физиолого-биохимической организации. Все необходимые для жизнедеятельности вещества они извлекают из окружающей среды, профильтровывая огромные массы воды, питаются мелкими планктонными организмами, детритом. Однако, в отличие от мидии Грея, которая считается более эврибионтным моллюском, приморский гребешок является стеноксийным и стеногалинным видом. Так диапазон концентраций растворенного в воде кислорода для нормальной жизнедеятельности гребешка составляет 5 – 9 мл·л⁻¹, тогда как для мидии этот диапазон расширяется до 3 – 9 мл·л⁻¹. Выживаемость мидии Грея в пресной воде в 15 раз выше, чем у приморского гребешка. Сравнительный анализ эффективности герметизации мантийной полости и устойчивости к экстремальному опреснению показал, что выживаемость в пресной воде для приморского гребешка составляет 3 часа, в то время как для мидии Грея – 44 часа. Ключевым отличием гребешков от мидий является подвижность: при неблагоприятных условиях (например, гипоксии) гребешки могут мигрировать на значительные расстояния. Кроме того, гребешки обитают исключительно на дне, где температура воды и содержание кислорода в воде меняется медленнее, чем в поверхностных слоях [1], тогда как у прикрепленной к субстрату мидии Грея наблюдается вертикальное распространение, включая приповерхностные и поверхностные слои, тем самым она

расширяет свой “температурный” ареал. Так, было показано, что теплоустойчивость тканей для мидии Грея составляет 37.2°C, а для гребешков – 34.2°C [2]. Мидия является долгоживущим видом (95 - 150 лет), а продолжительность жизни гребешка в среднем составляет 16 - 25 лет [3]. Кислород играет ключевую роль в метаболизме аэробных организмов. Однако участие кислорода в окислительно-восстановительных реакциях делает эту молекулу потенциально агрессивным элементом для большинства биомолекул [4]. В тканях аэробных животных обнаружен широкий спектр ферментативных и неферментативных реакций, в ходе которых генерируются промежуточные продукты поэтапного четырехэлектронного восстановления молекулярного кислорода, получившие название активные формы кислорода (АФК) или оксирадикалы [5]. Разрушительное действие АФК в клетках сдерживается согласованным функционированием многокомпонентной антиоксидантной (АО) защитной системой, состоящей из антиоксидантных ферментов и низкомолекулярных антиоксидантов [4,5].

Эколого-физиологические особенности двустворчатых моллюсков мидии Грея и приморского гребешка дают нам основание предполагать о существовании ряда отличий в организации биохимических защитных систем, в том числе и АО защитной системы, обеспечивающих как нормальную жизнедеятельность организма в целом, так и защиту в стрессовых условиях. Поэтому целью данного исследования явилось изучение отдельных компонентов АО системы в тканях двустворчатых моллюсков *C. grayanus* и *M. yessoensis*.

Материалы и методы. Моллюски *C. grayanus* и *M. yessoensis* были собраны в летний период в б. Троица (зал. Посыета, Японское море), по 5 особей одинакового размера для каждого вида. Для определения биохимических параметров изолированные ткани (пищеварительную железу, жабры, замыкательный мускул и гонады) замораживали в жидком азоте и хранили при температуре –80°C. Активность супероксиддисмутазы (СОД) определяли по методу Паолетти и др. [6], активность каталазы (КАТ) и глутатионредуктазы (ГР) - по методу, описанному Реголи и Принципато [7]. Для определения активности глутатионпероксидазы (ГП) (сумма Se-зависимой и Se-независимой активности) в качестве субстрата использовали гидроперекись кумола [8]. Измерения активности ферментов проводили при 20°C. Интегральную антиоксидантную активность (ИАА) гомогенатов тканей определяли по их способности подавлять реакцию окисления ABTS [2,2’-азинобис (3-этилбензотиазолин-6-сульфонат)] пероксильными и алкоксильными радикалами, образующимися при термическом разложении АВАР [2,2’-азобис (2-метил-аминопропан) дигидрохлорид] [9]. Содержание восстановленного глутатиона (GSH) в тканях определяли по методу Морона с соавторами [10], а содержание малонового диальдегида (МДА) – по цветной реакции с 2-тиобарбитуровой кислотой [11]. Концентрацию белка определяли

модифицированным методом Лоури [12]. Измерения проводили на двухлучевом спектрофотометре UV-2550 с термостатированной ячейкой (Shimadzu).

Степень развития окислительного стресса в клетках оценивали по уровням деструкции ДНК и накопления продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ): диеновых конъюгатов (ДК) и малонового диальдегида (МДА). В тканях также были определены концентрации тяжелых металлов (Fe, Zn, Cu, Cd и Pb). Статистическая обработка полученных результатов выполнена с использованием пакета программ Statistica. Достоверность различий между выборками определяли по непараметрическому критерию Манна-Уитни. Различия считали статистически достоверными при $p < 0.05$.

Результаты и обсуждение. Сравнительные исследования показали, что антиоксидантный защитный комплекс моллюсков *C. grayanus* и *M. yessoensis* имел определенную видовую специфичность. По сравнению с гребешком в пищеварительной железе и жабрах мидии активность СОД была выше. В то же время активность КАТ была выше в органах гребешка, по сравнению с мидией. Следует отметить более высокую активность ГР в мускуле и гонадах, а также ГП в гонадах у гребешка, по сравнению с мидией (Рис. 2.3.1.1).

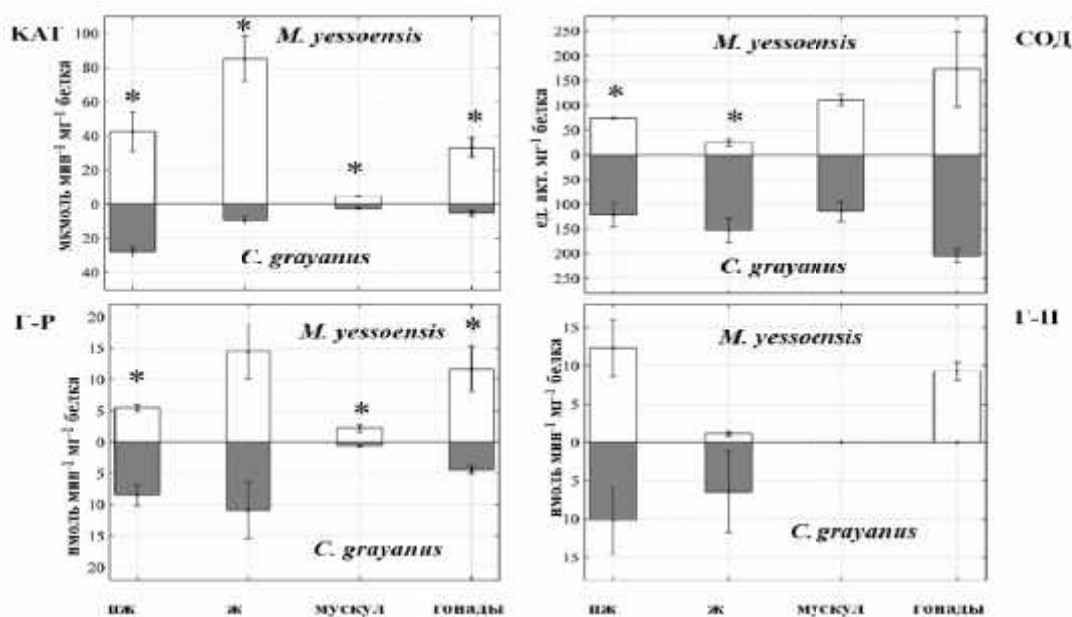


Рисунок 2.3.1.1 - Активность супероксидредуктазы (СОД), каталазы (КАТ), глутатионредуктазы (ГР) и глутатионпероксидазы (ГП) в тканях *M. yessoensis* и *C. grayanus*

пж- пищеварительная железа, ж- жабры, м – мускул, г – гонады; * - достоверность различий биохимических показателей в тканях между видами ($n = 5$, $p < 0.05$)

Жабры и мускул гребешка отличались более высоким содержанием ГSH по сравнению с мидией. Также значение ИАА в мускуле гребешка было в 2.5 раза выше, чем у мидий (Рис. 2.3.1.2).

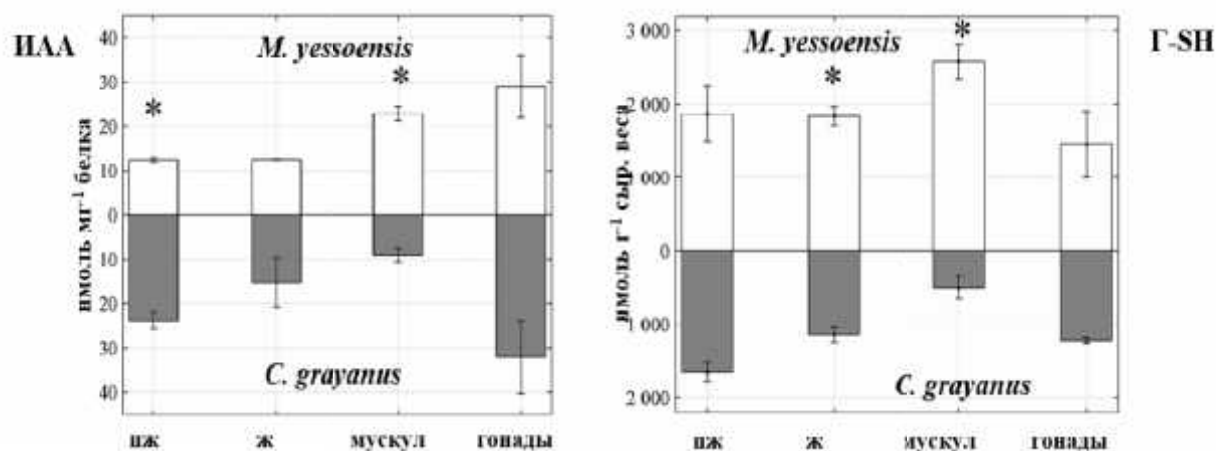


Рисунок 2.3.1.2 - Уровни интегральной антирадикальной активности (ИАА) и восстановленного глутатиона (ГSH) в тканях *M. yessoensis* и *C. grayanus*
пж- пищеварительная железа, ж- жабры, м – мускул, г – гонады; * - достоверность различий биохимических показателей в тканях между видами ($n = 5$, $p < 0.05$)

Уровень МДА в пищеварительной железе и гонадах гребешка был выше в 3 и 2 раза, соответственно, по сравнению с мидией, в то время как в жабрах его содержание было ниже в 9 раз (рис. 2.3.1.3).

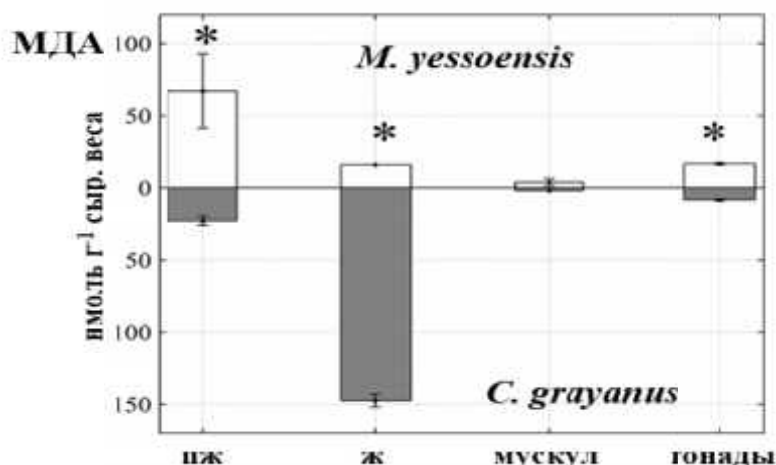


Рисунок 2.3.1.3 Уровень малонового диальдегида (МДА) в тканях *M. yessoensis* и *C. grayanus*
пж- пищеварительная железа, ж- жабры, м – мускул, г – гонады; * - достоверность различий в тканях между видами ($n = 5$, $p < 0.05$)

Сравнительные исследования показали, что антиоксидантный защитный комплекс моллюсков *C. grayanus* и *M. yessoensis* также имел ярко выраженную тканевую

специфичность. Среди исследованных тканей моллюсков показаны значительные вариации в активности ферментов. Так активность СОД между тканями гребешка различалась в 7 раз, а у мидии – в 8 раз; активность КАТ – в 23 и 12 раз, ГР – в 6 и 17 раз, ГП – в 10 и 1.5 раза, соответственно. Менее выраженные отличия наблюдали в уровнях ГSH и ИАА в тканях моллюсков. Различия в уровне ГSH между отдельными тканями для гребешка и мидии составляли 1.8 и 3.3 раза; ИАА – 2.3 и 3.5 раза, соответственно. Существенные различия наблюдали в уровне МДА в тканях моллюсков. Так у гребешка различия были в 17 раз, а у мидии – в 76 раз (рис. 2.3.1.3). Необходимо отметить, что в мускульной ткани обоих видов моллюсков активность ГП обнаружена в следовых количествах, а уровни КАТ и ГР были самым низким в мускуле по сравнению с другими тканями, в то время как уровень СОД был сравнительно высоким. Также ГП не была обнаружена в гонадах мидии Грея.

Большая часть исследований по изучению параметров АО системы морских беспозвоночных, в том числе и двустворчатых моллюсков, проводится с целью использования этих показателей в качестве биомаркеров для оценки состояния организмов в условиях загрязнения окружающей среды [13,14]. Также изучают особенности АО системы организма с точки зрения адаптации гидробионтов к обитанию в различных широтах [15]. Есть работы по изучению взаимосвязи уровня антиоксидантов в тканях и продолжительности жизни моллюсков [16]. В качестве объекта исследования в таких работах используют пищеварительную железу и жабры, как органы с активным метаболизмом и высокой способностью к аккумуляции различных органических и неорганических загрязняющих веществ. В наших исследованиях кроме пищеварительной железы и жабр были использованы гонады и замыкательный мускул двустворчатых моллюсков. Метаболизм гонад тесно связан с метаболизмом пищеварительной железы. Жабры, пищеварительная железа и гонады обладают высокой способностью к регенерации. По сравнению с этими органами митотическая активность мускула более низкая.

Мы показали, что у исследованных нами двух низкобореальных видов межвидовые различия в активности ферментов в пищеварительной железе не превышали двух раз, тогда как в жабрах, например, для СОД различия были в 6 раз, для КАТ – в 12 раз (рис. 2.3.1.1). На теплолюбивых средиземноморских видах (гребешок *Pecten jacobaeus* и мидия *Mytilus galloprovincialis*) [13], а также черноморских видах (мидия *M. galloprovincialis* и анадара *Anadara inaequalis*) [17] было показано, что как в пищеварительной железе, так и в жабрах эти различия в активности СОД и КАТ не превышали двух раз. Трудно предположить, чем вызваны значительные различия в антиоксидантной ферментной защите в жабрах у низкобореальных видов моллюсков.

Как показали результаты, во всех органах гребешка активность КАТ выше, чем у мидии, тогда как активность СОД выше во всех органах мидии Грея. Такие же результаты были получены для пищеварительной железы и жабр других видов гребешков и мидий [7,18]. Так в пищеварительной железе гребешка *Pecten maximus* активность КАТ в 6 раз выше по сравнению с *Mytilus edulis*, в то время как активность СОД ниже в 2 раза (Великобритания) [18]. В пищеварительной железе и жабрах средиземноморских моллюсков, гребешка *P. jacobaeus* и мидии *M. galloprovincialis*, наблюдалась такая же, но менее выраженная закономерность [7].

Пектинидаы обладают способностью к активному свободному перемещению, в то время как мидии крепко прикреплены к субстрату. Чтобы уменьшить окислительный стресс во время быстрого плавания в оксигенированной воде необходимо иметь митохондрии, имеющие прочное сопряжение окислительных процессов с фосфорилированием АДФ, что приводит к низкому уровню образования АФК (в частности, супероксидного радикала). По сравнению с другими моллюсками пектинидаы имеют *invitro* более низкие скорости образования АФК митохондриями [16]. Низкий уровень образования АФК, в свою очередь, может уменьшить потребность в высоком уровне СОД в тканях гребешка.

Гребешок и мидия существенно отличаются по составу микроэлементов в тканях. Так, для приморского гребешка характерно более высокое содержание железа во всех тканях, по сравнению с мидией: в пищеварительной железе гребешков и мидий концентрация железа составляет 565-1795 мкг/г сух. массы и 123 ± 27 мкг/г сух. массы, в жабрах – 85-670 мкг/г сух. массы и 225 ± 25 мкг/г сух. массы, соответственно. В обоих моллюсках минимальные концентрации этих металлов обнаружены в мускуле: 20-47 мкг/г сух. массы у гребешка и 19 ± 5 мкг/г сух. массы у мидии [19,20]. Железо является реакционно активным, и, следовательно, потенциально токсичным элементом, а накопление и хранение его в клетках морских организмов контролируется транспортными и связывающими белками [21]. В клетках также присутствует лабильный пул железа (Fe^{2+} и Fe^{3+}) в комплексах с различными лигандами низкомолекулярного веса. Этот пул составляет минорную часть от общего содержания железа в клетке. Предполагается, что излишки железа (как металла с переменной валентностью) приводят к развитию окислительного стресса путем железо-зависимого превращения супероксидного радикала кислорода и перекиси водорода в токсичный гидроксильный радикал (реакция Хабера-Вейса) [5]. На моллюске *Mya arenaria* было показано, что чем выше содержание лабильного железа, тем выше содержание продуктов перекисного окисления липидов (в частности, МДА) в тканях [21]. Также в сравнительных исследованиях на двустворчатых моллюсках *M. Arenaria* и *Laternula elliptica* было показано, что у моллюска с низким содержанием железа в

пищеварительной железе (*M. arenaria*) активность КАТ и уровень липидных радикалов были значительно ниже (в 7.5 и 9 раз, соответственно), по сравнению с *L. elliptica*, у которого обнаружена более высокая концентрация железа в этой ткани [22]. Мы полагаем, что более высокая активность КАТ и высокое содержание МДА (за исключением жабр) во всех органах приморского гребешка, возможно, связаны с более высоким, по сравнению с мидией Грея, содержанием железа в тканях.

Низкая активность КАТ, ГР и ГП в мускулах обоих моллюсков, вероятно, связаны как с низким содержанием железа, так и с низкой метаболической активностью, и особой структурной организацией биологических мембран этой ткани. Так, полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) биологических мембран являются не только мишенями, повреждаемыми за счет АФК, но и действуют как усилители окислительного стресса. Это вызвано тем, что в процессе перекисного окисления липидов образуются вторичные АФК и конечные продукты распада ПНЖК, такие как МДА, акролеин, 4-гидрокси-2-нонинал, которые образуют аддукты с белками и ДНК. Кроме того, жирные кислоты сильно отличаются по своей чувствительности к атакам радикальных форм кислорода. Их чувствительность к перекисному окислению зависит от числа двойных связей в ацильной цепи. Зная процентный состав жирных кислот в образце, можно рассчитать индекс чувствительности к перекисному окислению липидов тканей или субклеточных мембранных фракций (Hulbert et al., 2006).

Хардин [23] исследовал состав жирных кислот липидов тканей мидии Грея. Из его данных мы рассчитали индекс чувствительности к перекисному окислению нейтральных и полярных липидов этих тканей. Расчеты показали, что этот индекс для нейтральных липидов в пищеварительной железе, жабрах, гонадах и мускуле равен 263, 187, 244 и 46, а для полярных липидов – 268, 286, 320 и 81, соответственно. Таким образом, мы предполагаем, что обнаруженная нами низкая активность КАТ, ГП и ГР и низкий уровень МДА в мускуле, возможно, объясняется также и низкой чувствительностью липидов этой ткани к перекисному окислению. В то же время, на двух видах двустворчатых моллюсков *Dosinia lupines* и *Mytilus edulis* было показано более высокое содержание белковых карбониллов в гомогенате мускульной ткани по сравнению с пищеварительной железой при моделировании окислительного стресса в этих гомогенатах с использованием кобальтового источника γ -излучения [24]. Вероятно, слабая защита белков в аддукторе от окислительного повреждения, вызванного АФК, связана именно с низким уровнем АО ферментов, таких как КАТ, ГП и ГР. Однако активность СОД и содержание ГСН в мускульной ткани обоих моллюсков сравнимы с уровнями этих показателей в других органах. Предполагается, что кислород и СОД могут эффективно элиминировать другие радикалы из биологической

системы. Например, низкомолекулярный антиоксидант глутатион может реагировать с различными радикальными формами АФК, такими как гидроксильный, алкоксильный и пероксильный радикалы, образуя радикалы глутатиона ($GS^{\bullet}$), которые являются слабыми окислителями. В свою очередь $GS^{\bullet}$ способен восстанавливать металлы, а также образует супероксидный радикал кислорода. СОД инактивирует супероксидный радикал кислорода и образует менее реакционно-способную перекись водорода. Поэтому предполагается, что СОД и GSH являются совместно действующими компонентами защитной антиоксидантной системы [5]. Мы полагаем, что высокие уровни глутатиона и СОД, выполняющих роль ингибитора радикальных реакций, важны как в метаболически активных органах, так и в мускульной ткани. Используемый нами метод определения интегрального показателя антирадикальной активности характеризует общую антирадикальную способность низкомолекулярных антиоксидантов к нейтрализации пероксильного и алкоксильного радикалов ($RO_2^{\bullet}$ и $RO^{\bullet}$) [9]. Похожие соотношения уровней GSH и ИАА в тканях для мидии Грея и приморского гребешка предполагают важную роль глутатиона в защите клеток от АФК.

Таким образом, в результате исследований была показана видовая и тканевая специфичность в уровне компонентов антиоксидантной системы у двух видов моллюсков. Видовые особенности связаны с физиолого-биохимическими различиями исследуемых моллюсков и проявляются в различных уровнях антиоксидантных ферментов и восстановленного глутатиона в тканях. Тканевая специфичность проявляется в том, что метаболически активные органы, такие как пищеварительная железа, жабры и гонады, имеют более высокую активность антиоксидантных ферментов и более высокий уровень продуктов перекисного окисления липидов (высокий уровень МДА) по сравнению с мускулом. В то же время низкая активность антиоксидантных ферментов в мускуле, вероятно, связана с низким содержанием железа и малой чувствительностью липидов мускульной ткани к перекисному окислению. Сравнимые уровни супероксиддисмутазы и восстановленного глутатиона во всех тканях обоих моллюсков предполагает, что этим антиоксидантам принадлежит особая роль в антиоксидантной защите.

*Реакция антиоксидантной системы мидии Грея *Crenomytilus grayanus* как индикатор загрязнения прибрежных акваторий*

В качестве модельной акватории была выбрана бухта Горностай, длительное время подвергавшаяся антропогенному воздействию. Несмотря на высокую степень загрязненности, в б. Горностай присутствуют, хотя и очень редкие, немногочисленные поселения одного из самых распространенных в дальневосточном регионе моллюсков –

мидии *Crenomytilus grayanus*. Для более полной и объективной оценки состояния антиоксидантной системы и степени развития окислительного стресса были использованы мидии, обитающие в бухте Алексеева (о-в Попова) с умеренным уровнем загрязнения.

Сравнительный анализ уровней металлов в тканях мидий, собранных в б. Горностай и б. Алексеева показал, что содержание Mn и Zn значимо не различалось в тканях мидий из этих биотопов (табл. 2.3.1.1). В тоже время, свинец был обнаружен только в тканях мидий из б. Горностай – 86.8 и 67.4 мкг/г сухой массы в пищеварительной железе и жабрах, соответственно. Содержание Cu у мидий из б. Горностай в пищеварительной железе было выше в 7 раз, а в жабрах в 6.4 раза по сравнению с моллюсками из б. Алексеева. Концентрация Fe в пищеварительной железе также была выше в 1.8 раза у мидий из б. Горностай. Необходимо отметить, что содержание Cd наоборот выше в органах мидии из б. Алексеева по сравнению с мидиями из б. Горностай, особенно сильные различия наблюдались для жабр (табл. 2.3.1.1).

Таблица 2.3.1.1 - Содержание тяжелых металлов (мкг/г сухой массы) в тканях *C. grayanus* (среднее значение $\pm$ стандартное отклонение, n=3), (*- достоверные различия: n=3, p<0.05)

Место сбора	Fe	Zn	Cu	Cd	Pb
Пищеварительная железа					
б. Горностай	183.8 $\pm$ 5.2*	147.1 $\pm$ 9.8	102.6 $\pm$ 5.1*	6.5 $\pm$ 0.2	86.8 $\pm$ 1.6
б. Алексеева	102.9 $\pm$ 15.1	132.3 $\pm$ 9.5	14.1 $\pm$ 0.1	10.9 $\pm$ 1.2*	н.о.
Жабры					
б. Горностай	78.9 $\pm$ 7.9	70.4 $\pm$ 16.2	28.9 $\pm$ 4.7*	0.7 $\pm$ 0.2	67.4 $\pm$ 17.1
б. Алексеева	71.5 $\pm$ 10.0	75.0 $\pm$ 5.8	4.5 $\pm$ 0.9	16.7 $\pm$ 4.3*	н.о.

Аналогичные результаты были получены ранее при исследовании жабр мидий *C. grayanus*, собранных в чистых районах акватории островов Рейнеке, Большой Пелис и в б. Горностай (зал. Петра Великого). Как показали биохимические исследования, у мидий из б. Горностай, по сравнению с моллюсками из б. Алексеева, наблюдается повышение антиоксидантного потенциала в тканях, за счет увеличения активности КАТ на 40-60% и ГП на 80% в пищеварительной железе и жабрах соответственно (рис 2.3.1.4). Увеличение активности КАТ и ГП в тканях мидий из б. Горностай, указывает на стимулирование процессов образования гидропероксидов в тканях под воздействием комплексного загрязнения морской среды, в том числе и тяжелых металлов.

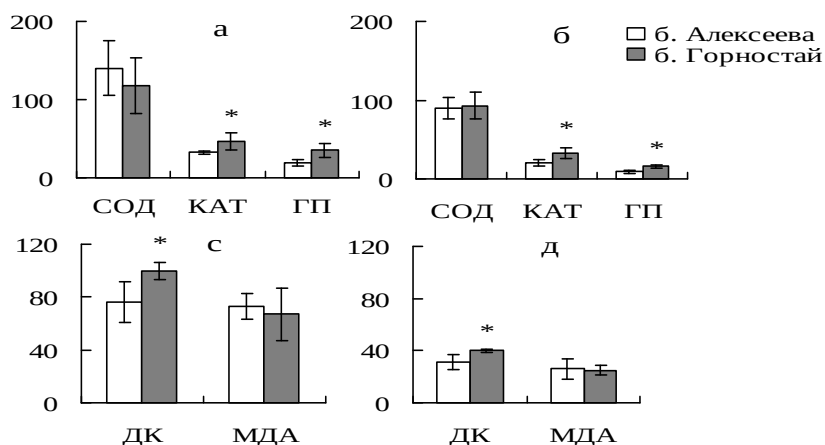


Рисунок 2.3.1.4 - Активность антиоксидантных ферментов и содержание продуктов перекисного окисления липидов в пищеварительной железе (а, в) и жабрах (б, д) *C. grayanus* из двух биотопов.

СОД (супероксиддисмутаза, ед. акт/мг белка), КАТ (каталаза, мкмоль/мин/мг белка), ГП (глутатионпероксидаза, нмоль/мин/мг белка*10), ДК (диеновые конъюгаты, мкмоль/г сырой массы*10), МДА (малоновый диальдегид, нмоль/мг белка*100); *- достоверные различия биохимических параметров в тканях мидий б. Алексеева и б. Горностай (n=4, p<0.05)

При сравнительном анализе видно, что в обеих тканях мидий из загрязненной акватории содержание первичных продуктов ПОЛ более чем на 30% выше, что свидетельствует об активации свободно-радикальных процессов. ПОЛ в мембранах инициируется в основном $OH^{\bullet}$ радикалами. Анализ изображений ДНК-комет, полученных после электрофореза клеток жабр мидий обоих биотопов, показал, что у моллюсков, собранных в б. Горностай, доминируют кометы, относящиеся, по классификации Коллинза с соавторами, к классам С3 и С4 (табл. 2.3.1.2), что указывает на значительные повреждения в молекуле ДНК.

Таблица 2.3.1.2 - Основные параметры ДНК-комет клеток жабр *C. grayanus*, обитающих в разных районах зал. Петра Великого

Место обитания	Класс комет (%)					Индекс генетического повреждения (ИГП)	Повреждение ДНК	
	С0	С1	С2	С3	С4		Длина "хвоста" кометы (рх)	% ДНК в "хвосте" кометы
б. Алексеева	11	16	45	19	9	1.99	7.7±2.3	10.8±3.9
б. Горностай	0	7	14	28	51	3.23	102.0±39.8*	38.6±10.9*

Среднее значение $\pm$ стандартное отклонение, (n – 15 животных по 50 комет; C0-C4 – классы повреждения комет; rx – длина хвоста в пикселях; * – достоверное отличие ($P \leq 0.05$, $n=750$) по сравнению с мидиями из б. Алексеева, достоверность различий оценивалась использованием непараметрического критерия Даннета

В тоже время, у моллюсков из б. Алексеева, сформировались преимущественно кометы классов C0, C1 и C2, что характеризует клетки как жизнеспособные со слабо выраженными повреждениями ДНК. Рассчитанный на основе данной классификации индекс генетического повреждения (ИГП) также свидетельствует о том, что мидии из 2-х исследуемых акваторий испытывают разную степень негативной нагрузки. При этом значения ИГП у моллюсков, обитающих в акватории, непосредственно прилегающей к полигону ТБО, выше в 1.3 раза. Из приведенных данных видно, что % мигрированной ДНК в "хвост", а также длина самого "хвоста" комет в клетках жабр *C. grayanus* из б. Горностай были почти в 2 и 4 раза, соответственно, выше, чем у моллюсков из б. Алексеева. Акватория б. Горностай, в отличие от б. Алексеева, испытывала мощный антропогенный прессинг из-за расположенного на берегу огромного полигона твердых бытовых отходов (ТБО) г. Владивостока. На протяжении нескольких десятилетий он оказывал воздействие на экосистему не только б. Горностай, но и всего Уссурийского залива. Основными загрязняющими веществами, поступающими с полигона в эту бухту, являются тяжелые металлы, нефтепродукты, фенолы и ПАВ, а также различного происхождения взвешенные вещества. Загрязнение воды и грунтов тяжелыми металлами прослеживается вдоль всей береговой линии бухты на расстоянии до двух километров от полигона ТБО. Для донных отложений Уссурийского залива в районе размещения свалки, характерными загрязнителями являются тяжелые металлы, концентрации которых во много раз превышают ПДК. На сегодняшний день завершены работы по рекультивации полигона ТБО, что, возможно, благоприятно отразится на состоянии экосистемы б. Горностай.

В целом, наши результаты показали, что концентрации металлов в тканях мидий являются чувствительными индикаторами повышенного содержания металлов в морской среде. В тоже время, тяжелые металлы, особенно Cu и Pb, являющиеся составной частью комплексного загрязнения б. Горностай, накапливаясь в тканях моллюсков, приводят к дезорганизации биохимических систем. Повышенный уровень продуктов окислительной деструкции ДНК и перекисного окисления липидов (ДК), а также увеличенная активность антиоксидантных ферментов (КАТ и ГП) в тканях мидий из б. Горностай указывают на то, что токсичность этих поллютантов проявилась через стимуляцию образования АФК и развитие окислительного стресса. Негативные последствия окислительного стресса выражаются в комплексе системных перестроек мембранных структур клетки (через ПОЛ) и

в дестабилизации и разрушении генома клетки. Приведенные результаты дают основания полагать, что аккумуляция ксенобиотиков, в том числе тяжелых металлов, в тканях мидий из б. Горностай, привела к стимуляции деструктивных процессов, превышающих адапционно-детоксикационные возможности биохимических систем. В связи с этим, необходимо подчеркнуть, что показатели окислительного стресса могут служить чувствительными индикаторами физиологического состояния организма, отражающими условия его обитания.

Поэтому, при оценке экотоксикологической ситуации представляется целесообразным использовать не только химический анализ загрязнителей в различных звеньях экосистемы, но и широко применять молекулярные подходы, позволяющие получить интегральную характеристику физиологического состояния животных на основе различных параметров окислительного стресса, что существенно повысит научную обоснованность выводов в программах мониторинга морской среды.

2.3.2 Генотоксичность как индикатор окислительного стресса, индуцированного неблагоприятными условиями среды

В настоящее время среди исследователей, использующих молекулярные маркеры в качестве ранних и чувствительных индикаторов состояния организма, становится популярной точка зрения, что оценка опасности развития отдаленных эффектов может быть более эффективной, если основывается на результатах изучения генотоксичности. Учитывая исключительную роль генома в функционировании биологических систем, повреждения в структуре молекулы ДНК входят в число важнейших биомаркеров генотоксического воздействия загрязнения среды. Одним из методов, позволяющих регистрировать повреждения ДНК, является «кометный анализ» или метод ДНК-комет, широко применяющийся при оценке генотоксичности отдельных веществ – нефти, полиароматических углеводородов, пестицидов и тяжелых металлов [25-27]. Использование метода ДНК-комет в экогенотоксическом мониторинге морских вод только начинается, о чем свидетельствует относительно небольшое количество работ последних лет. Но именно в этом направлении следует ожидать резкого роста научных публикаций, учитывая широкое распространение метода-ДНК-комет в медико-биологических исследованиях, позволяющего оценивать целостность генома индивидуальной клетки.

*Оценка физиологического состояния культивируемых гидробионтов: приморский гребешок *Mizuhopecten yessoensis**

Марикультура - сравнительно молодая отрасль рыбного хозяйства, ее история исчисляется несколькими десятилетиями. При этом по данным ФАО, марикультура в мире

является одной из самых быстро развивающихся отраслей в мировой экономике [28]. В России первое хозяйство по разведению моллюсков было создано в Приморском крае в 1972 г., который впоследствии стал лидером в нашей стране по количеству подобных предприятий. Приморский край весьма перспективен для развития марикультуры. Побережье залива Петра Великого характеризуется наличием закрытых бухт и высокой продуктивностью прибрежных вод, что значительно выделяет его на фоне других акваторий по числу потенциальных объектов культивирования [29]. На сегодняшний день в Приморском крае действует около 50 аквакультурных хозяйств по разведению различных видов гидробионтов, которые занимают площадь более 20000 га [30].

Массовое выращивание гидробионтов в морских водах (марикультура) помимо экономической выгоды так же создает некоторые проблемы [31], основной из которых является сложное и неоднозначное воздействие аквакультуры на окружающую среду. По данным различных исследователей влияние промышленной марикультуры на естественные прибрежные экосистемы колеблется от слабых, практически неощутимых [32,33], до катастрофических по своим последствиям. Некоторые исследователи отмечают, что основным модифицирующим фактором выступают взвешенные органические вещества, являющиеся производным от жизнедеятельности культивируемых объектов. При этом большая часть растворенного кислорода тратится на окисление метаболитов культивируемых организмов, что приводит к возникновению зон гипоксии. Известно, что зоны гипоксии, образующиеся в различных акваториях шельфа Мирового океана, приводят к гибели как отдельных видов гидробионтов, так и к трансформации водных экосистем [34].

Для дальнейшего устойчивого развития хозяйств марикультуры требуется тщательное изучение влияния промышленного культивирования гидробионтов на окружающую среду, а так же необходима постоянная оценка физиологического состояния культивируемых организмов.

Возможным решением проблемы изучения и прогнозирования устойчивости хозяйств марикультуры, служит эффективное определение так называемых «сигналов бедствия» на молекулярном и клеточном уровнях, а также в сопоставлении их с возможными последствиями на более высоких уровнях организации (популяции, сообщества, экосистемы). Следовательно, «сигналы бедствия», обнаруженные на молекулярном, клеточном и физиологическом уровнях организации являются ранними предостерегающими биомаркерами сниженных функций культивируемых организмов, вызванных различными нарушениями, в том числе патологиями. В связи с этим, целью работы было оценить физиологическое состояние *Mizuhopecten yessoensis* культивируемого в бух. Северная (Славянский залив) с помощью биохимических маркеров.

Материал и методы. Гребешок приморский *Mizuhopecten yessoensis* является одним из традиционных объектов культивирования в зал. Петра Великого. Исследование проводили на гребешках 2-х летнего возраста, отобранных из садков марикультурного хозяйства, расположенного в бух. Северная (Славянский залив) (рис.2.3.2.1). Моллюски были получены в 2008г. и 2014г. в посленерестовый период (октябрь).



Рисунок 2.3.2.1 - Карта-схема района отбора моллюсков *M. yessoensis*.

Для биохимических анализов были использованы жабры и гепатопанкреас *M. yessoensis*. Степень развития окислительного стресса оценивали по изменению концентрации малонового диальдегида (МДА) как конечного продукта перекисного окисления липидов (ПОЛ) [11]. Концентрацию МДА определяли на следующий день после препарирования. Хранили материал при -80°C . Приготовление гомогената проводилось на льду. Отбирали по 15 экз. моллюсков, при этом определение уровня содержания ПОЛ проводилось отдельно для каждого животного. Для количественного анализа содержания тяжелых металлов в тканях был применен атомно-абсорбционный метод как наиболее широко используемый в аналитической практике. При определении количества повреждений в молекуле ДНК использовали щелочной вариант кометного анализа [35], адаптированного к морским организмам [36]. Визуализацию и регистрацию ДНК-комет осуществляли с помощью сканирующего флуоресцентного микроскопа (Zeiss, AxioImager A1), оснащенного цифровой фотокамерой AxioCam MRc. Для обработки цифровых изображений была использована компьютерная программа CometScore Freeware v1.5, которая позволяет вычислять различные параметры комет, указывающие на степень повреждения клеточной ДНК. Для каждой кометы рассчитывали долю ДНК в хвосте кометы (DNAt), исходя из значений которого, был рассчитан индекс генетического повреждения (ИГП) для каждой группы моллюсков. Для этого выборку ДНК-комет полученных с одного гель-слайда, разделили на пять классов в

зависимости от степени фрагментации клеточной ДНК (C0 – <5% фрагментированной ДНК, C1 – 5-20% фрагментированной ДНК, C2 – 20-40% фрагментированной ДНК, C3 – 40-75% фрагментированной ДНК, C4 – >75% фрагментированной ДНК) [37]. ИГП рассчитывали по формуле $(C1+2*C2+3*C3+4*C4)/(C0+C1+C2+C3+C4)$ [38]. В исследованных группах гребешков анализировали по 15 гель–слайдов (1 слайд = 1 особь), содержащих не менее 50 комет в каждом.

Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием пакета прикладных программ STATISTICA 6.0 и Microsoft Excel 2003. Оценку результатов проводили по каждому эксперименту путем сравнения среднегрупповых показателей ($P < 0,05$ с использованием непараметрического критерия Даннета).

Результаты и обсуждение. Результаты проведенного исследования показали, что у гребешков, отобранных в 2014г. степень деградации молекулы ДНК клеток жабр и пищеварительной железы значительно выше, чем в 2008г. Индекс генетического повреждения в жабрах в 2014г. увеличился более чем в 1,5 раза и составил $1,81 \pm 0,6$, тогда как в 2008г. этот показатель был равен $1,15 \pm 0,3$ (рис. 2.3.2.2). Из литературы известно, что в норме значение ИГП находится в пределах единицы [38], при этом незначительное увеличение данного показателя наблюдалось в жабрах гребешка и в 2008г. В пищеварительной железе моллюсков наблюдается подобная картина, при этом ИГП вырос почти в 1,9 раза в 2014г, по сравнению с 2008г (с $1,01 \pm 0,4$ до $1,89 \pm 0,61$ соответственно).

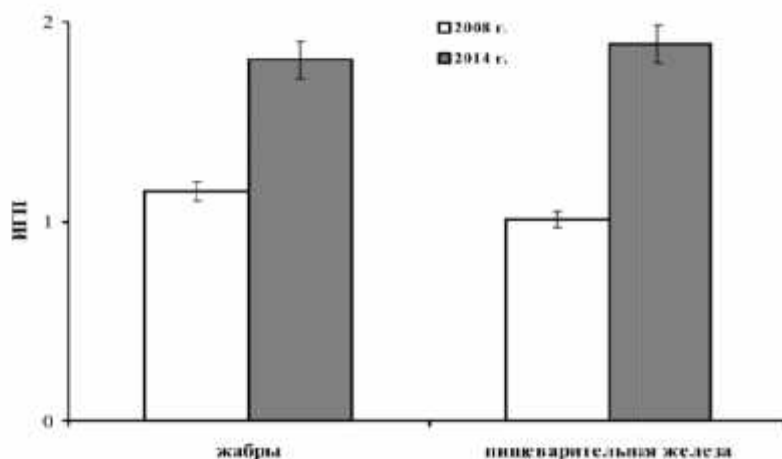


Рисунок 2.3.2.2 - Индекс генетического повреждения (ИГП) ДНК клеток жабр и гепатопанкреаса *M. yessoensis* в 2008 и 2014 гг. (среднее $\pm$ стандартное отклонение, $n = 15$).

Можно предположить, что культивируемые моллюски находятся в состоянии окислительного стресса, так как исходя из наших результатов видно, что в тканях *M. yessoensis* наблюдается интенсивное накопление продуктов перекисного окисления липидов (МДА). Уровень малонового диальдегида в жабрах гребешков в 2014г. увеличился

практически в 3,5 раза, в пищеварительной железе более чем в 4,5 раза по сравнению с моллюсками отобранными в 2008г. (рис. 2.3.2.3). Как известно окислительный стресс, сопровождается деструктивным повреждением основных биоструктур, в том числе и ДНК. Малоновый диальдегид, легко взаимодействует с нуклеиновыми кислотами, что неизбежно приводит к нарушению функционирования клеток. Окислительное повреждение нуклеиновых кислот выражается во множественных разрывах цепей, фрагментации рибозы (или дезоксирибозы) и модификации нуклеиновых оснований.

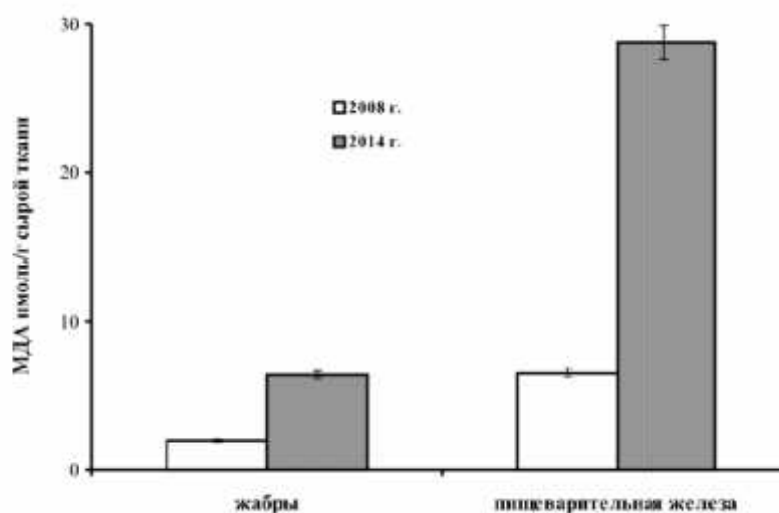


Рисунок 2.3.2.3 - Уровень малонового диальдегида (МДА) в жабрах и пищеварительной железе *M. yessoensis* в 2008 и 2014 гг. (n = 15)

Возможно, рост количества деструктивных изменений в геноме и накопление продуктов ПОЛ связаны с угнетением системы репарации ДНК и ослаблением антиоксидантной защиты клетки. При этом возникшие повреждения в структуре ДНК, могут спровоцировать мутации и злокачественную трансформацию клеток гидробионтов. Положительная зависимость между этими двумя маркерами (повреждение ДНК и количество продуктов ПОЛ (МДА)) подтверждает тот факт, что скорее всего окислительный стресс является одной из причин деградации генома культивируемых гребешков.

Исследования последних лет убедительно показали, что тяжелые металлы (ТМ) могут активно вмешиваться в окислительно-восстановительный баланс клетки, создавая условия для усиления генерации активных форм кислорода (АФК) или снижая способность клетки к их нейтрализации [7, 39-41], в связи с чем был проведен анализ содержания микроэлементов в жабрах и пищеварительной железе гребешков (табл. 2.3.2.1). Таким образом, выявлено, что концентрации тяжелых металлов Fe, Mn, Zn, Cu и Cd в 2008г. значительно выше, чем в 2014г. В настоящее время достаточно хорошо изучены особенности аккумуляции тяжелых металлов в тканях гребешка приморского обитающего в разных акваториях, а так же известен диапазон максимальной и минимальной концентрации для

районов с разной степенью антропогенной нагрузки. Следует отметить, что уровни Fe, Mn, Zn, Cu и Cd в жабрах и пищеварительной железе гребешка из бух. Северная сходны по значениям с таковыми у *M. yessoensis* из залива Восток, который считается акваторией с незначительным антропогенным прессом [42].

Полученные нами результаты дают основание полагать, что в данном случае аккумуляция ТМ не является основной причиной окислительного стресса *M. yessoensis* культивируемого в бух. Северная. Отмечается обратная взаимосвязь между этими показателями, так при снижении уровней ТМ в тканях гребешков в 2014г., наблюдается увеличение продуктов ПОЛ и резко возрастает количество повреждений молекулы ДНК.

Таблица 2.3.2.1 - Содержание тяжелых металлов в тканях *M. yessoensis*, мкг/г сухой массы (среднее $\pm$ стандартное отклонение, n = 15)

	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd
<i>жабры</i>					
2008г.	72 $\pm$ 2.2	10,5 $\pm$ 0.9	436 $\pm$ 25.3	4,7 $\pm$ 1.6	4,07 $\pm$ 0.9
2014г.	43 $\pm$ 1.4	3,43 $\pm$ 0.3	335 $\pm$ 18.6	0,43 $\pm$ 0.1	0,87 $\pm$ 0.2
<i>пищеварительная железа</i>					
2008г.	338 $\pm$ 31.4	7 $\pm$ 2.6	132 $\pm$ 15.6	11 $\pm$ 2.1	56 $\pm$ 5.9
2014г.	171 $\pm$ 20.6	3,53 $\pm$ 1.7	71 $\pm$ 4.9	2,59 $\pm$ 1.6	36,7 $\pm$ 2.5

В заключении можно отметить, что данное исследование является начальным этапом в серии работ по оценке физиологического состояния культивируемых гидробионтов (*M. yessoensis*) в бух. Северная. Учитывая важную роль генома в функционировании биологических систем, деструктивные изменения в структуре молекулы ДНК, являются наиболее значимыми проявлениями неблагоприятного воздействия среды. Полученные результаты, с помощью предлагаемого нами подхода, могут быть использованы для решения проблем связанных с изучением и прогнозированием устойчивости хозяйств марикультуры.

Оценка генотоксичности вод залива Находка (генотоксический мониторинг)

Для генотоксического мониторинга чаще всего используются двустворчатые моллюски, в которых анализировалась степень повреждения ДНК, главным образом, в соматических клетках: жабр, пищеварительной железы и гемолимфы [27,43]. Деструкция генома соматических клеток может привести к выраженной постепенно нарастающей (от обратимой до необратимой) дисфункции отдельных клеток, тканей и органов с последующим нарушением жизнедеятельности и гибели организма. Экологическое значение повреждения целостности ДНК половых клеток (гамет) гораздо выше, так как эффекты

проявляются непосредственно в виде патологий раннего развития и резкого снижения жизнеспособности потомства до долговременных нарушений в структуре популяции [44]. Различные аномалии в развитии потомства в результате повреждения ДНК сперматозоидов наблюдались у представителей полихет [45], ракообразных [44, рыб [46,47]. Основываясь на этих рассуждениях, мы провели исследование, основная задача которого заключалась в том, чтобы с помощью метода ДНК-комет оценить уровень повреждения ДНК в соматических клетках (жабры и пищеварительная железа) моллюсков, испытывающих в различной степени воздействие комплексного загрязнения водной среды.

Материалы и методы. В качестве экспериментальных животных были выбраны двустворчатые моллюски-фильтраторы *Crenomytilus grayanus*, являющиеся наиболее доступными и удобными объектами биомаркерных исследований в экосистемах побережья Японского моря. Исследования проводились в зал. Находка, воды которого в 2012 г. оценивались как «загрязненные», а отдельных частей – б. Находка и б. Козьмина – как «грязные» [48]. Животных отбирали водолазным способом в зал. Находка (рисунок 2.3.2.4)

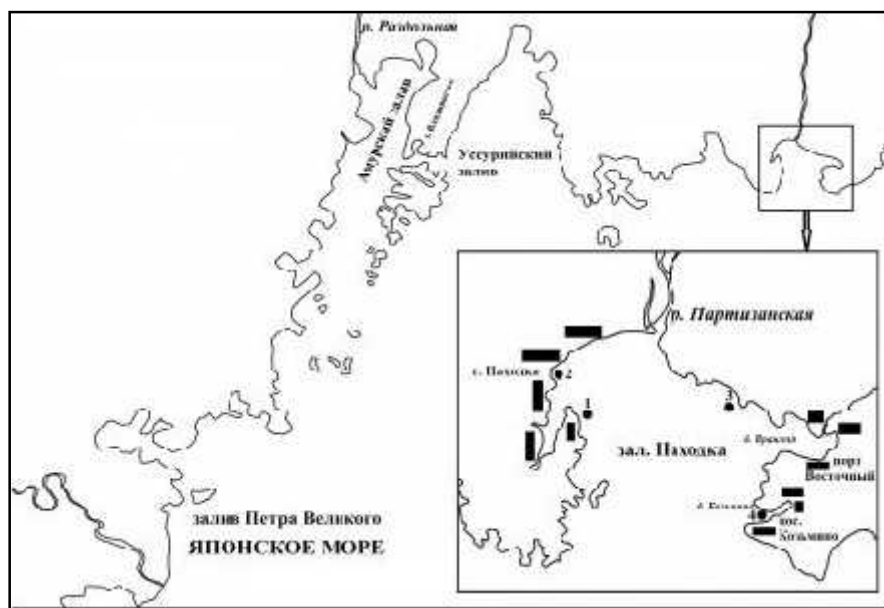


Рисунок 2.3.2.4 - Карта-схема расположения станций отбора проб

1 – м. Шведова, 2 – м. Шефнера, 3 – м. Красный, 4 – б. Козьмина.

С трех станций (за исключением м. Шефнера с мягкими заиленными грунтами) с помощью легководолазного оборудования отбирались по 5 экземпляров мидии Грея *C. grayanus*. Для контрольного опыта использовали моллюсков из зал. Восток. У мидий *C. grayanus* количество поврежденных ДНК оценивали в жабрах и пищеварительной железе. Для каждой кометы определяли долю ДНК в хвосте кометы. Исходя из количества комет, принадлежащих к каждому классу (C0-C4) [37], рассчитывали индекс генетического повреждения (ИГП) $(C1+2*C2+3*C3+4*C4)/(C0+C1+C2+C3+C4)$ [15].

Результаты и обсуждение. Анализ генотоксичности, проведенный с помощью метода ДНК-комет, выявил значительные повреждения ядерной ДНК в клетках обеих тканей моллюсков, обитающих в исследуемых акваториях. При визуальном анализе полученных на микрофотографиях изображений комет после электрофореза видно, что молекула ДНК клеток жабр и пищеварительной железы мидий из залива Восток (контроль), практически, не имеет деструктивных изменений (изображение комет не приводятся) и образует симметричное яркое ядро с незначительным ореолом. В тоже время, в аналогичных клетках моллюсков, отобранных в исследуемых точках залива Находка, молекула ДНК в электрическом поле образует хорошо выраженные «кометы», что обусловлено деградацией генома и миграцией низкополимерных фрагментов ДНК. Если следовать классификации комет, основанной на определении доли ДНК, мигрирующей из ядра в «хвост» кометы (% ДНК в хвосте кометы), то кометы клеток мидий из контрольного района представлены, практически, на 90-95 % C0/C1 классами, которые характеризуют клетки как неповрежденные и жизнеспособные. У моллюсков исследуемых акваторий наблюдается увеличение доли комет, которые по количеству фрагментов ДНК относятся к классам C2 и C3, что свидетельствует о повышенном уровне деструкции молекулы ДНК. Для наглядности на диаграмме рисунка 2.3.2.5 приведен один из количественных параметров полученных комет (усредненные значения % ДНК в хвосте кометы), рассчитанный с помощью специальной компьютерной программы.

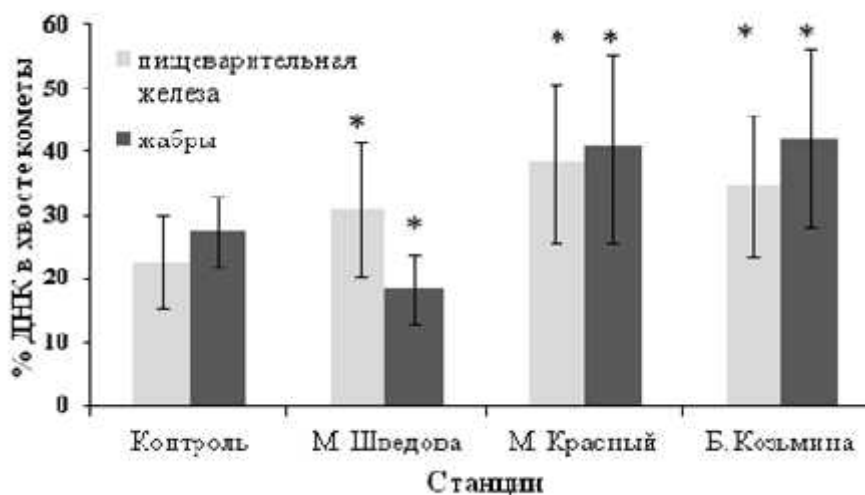


Рисунок 2.3.2.5 - Оценка повреждения ДНК в тканях *C. grayanus* (среднее $\pm$ станд. откл., $n=150$). * -- отличие от контроля достоверно при $p \leq 0.05$

Анализ результатов оценки комет по этому параметру показал, что в клетках обеих тканей мидий, обитающих в исследуемых акваториях б. Находка, уровень повреждений молекулы ДНК достоверно превышает значения, характерные для моллюсков из

незагрязненной акватории (контроль). Для того, чтобы в полной мере оценить степень деструктивных изменений в геноме экспериментальных моллюсков данные количественного распределения отдельных комет каждого класса были преобразованы в индекс генетического повреждения – ИГП и приведены в таблице 2.3.2.2.

Таблица 2.3.2.2 - Значения ИГП для тканей контрольных и экспериментальных мидий

Ткань/органы	Зал. Восток (Контроль)	М. Шведова	М. Красный	Б. Козьмино
Жабры	0.65 ± 0.02	1.42	2.52	2.57
Пищеварительная железа	0.81 ± 0.15	1.93	2.38	2.24

Из представленных данных особенно выделяются моллюски из акватории у м. Красный и б. Козьмино, у которых практически более 30 % ДНК подверглось фрагментации, а значения ИГП превышают 2.

Гидрохимический режим вод залива Находка, непосредственно оказывающий влияние на жизнедеятельность биоты, формируется под влиянием разнообразных гидрометеорологических условий, сгонно-нагонных явлений и, особенно, антропогенного воздействия. Масштабы и характер антропогенного влияния на экосистему залива Находка наиболее полно и всесторонне отражены в результатах комплексных экологических исследований. Проведенный в этих акваториях широкий комплекс гидробиологических работ, включающий тестирование репродуктивной функции тест-организмов, описание структуры бентосного и планктонного сообществ, позволил выявить сложную «мозаичную» картину экологического состояния залива. За прошедшее время весь комплекс антропогенного воздействия в этом регионе существенно изменился, что неизбежно должно отразиться на характере геохимических и биологических процессов.

Сопоставление данных эмбриотоксических экспериментов, проведенных ранее на сером морском еже *S. intermedius*, дает основание утверждать, что воды залива Находка продолжают испытывать весьма значительное негативное влияние хозяйственной деятельности человека. Примечательно, что в процессе совершенствования методологической базы биологического мониторинга и поисках высокочувствительных и экспрессных реакций биоты, выявлена прямая корреляционная связь между эмбриотоксичностью и генотоксичностью. На примере гамет и эмбрионов устрицы *Crassostrea gigas* показано, что при воздействии различных химических агентов –

бенз/а/пирена, синтетического эстрогена, пестицида и гербицида, нарушения в оплодотворении и развитии сопровождались повреждениями в молекуле ДНК.

Подтверждением этому служат также приведенные в нашем исследовании результаты генотоксического анализа с помощью метода ДНК-комет на примере морского двустворчатого моллюска *C. grayanus*. Согласно полученным данным в клетках жабр и пищеварительной железы мидий из всех исследуемых акваторий обнаружены повреждения целостности генома. Столь масштабные деструктивные изменения ДНК мы регистрировали в мидиях, обитающих в окрестностях полигона ТБО в б. Горностай [49]. Вместе с тем, следует отметить, что у мидий, обитающих около м. Красный в деструкции молекулы ДНК могут принимать участие не только присутствующие загрязняющие вещества, но и пониженная доступность кислорода, концентрация которого близка к допустимому минимуму. Ранее было показано, что у моллюсков *Mizuhopecten yessoensis*, *Corbicula japonica*, обитающих в условиях дефицита кислорода, наблюдаются деструктивные изменения в молекуле ДНК, которые, накапливаясь, ведут к нестабильности генома [49].

Приводя экспериментальные данные генотоксичности, нам бы хотелось обратить внимание не столько на сам факт деструкции генома, сколько на то, что в исследованных акваториях (следовательно и в водах залива Находка), очевидно, присутствуют химические вещества, для которых молекула ДНК является одной из основных мишеней.

Залив Находка относится к наиболее освоенным и технонасыщенным местом в Приморском крае. На его берегах и в водосборном бассейне расположены большой город-порт и несколько крупных промышленных зон. Сброс неочищенных бытовых и промышленных стоков, ливневая канализация, дноуглубительные работы, постоянная утечка нефтепродуктов с судов, базирующихся в порту и различных акваториях отрицательно сказываются на экосистеме залива. Среди широкого спектра загрязнителей водных экосистем залива самыми масштабными и наиболее опасными являются нефтепродукты и ряд тяжелых металлов. Согласно экспериментальным данным сырая нефть, диспергированная даже при очень низких концентрациях в водной среде, вызывает деструкцию ДНК в клетках рыб, гемоцитах мидии *Mytilus edulis* и морского ежа *Strongylocentrotus droebachiensis* [27], а также эмбрионах морского ежа *Paracentrotus lividus*. Установлено также, что водорастворимая фракция нефти и дизельного топлива резко усиливала степень повреждения молекулы ДНК гемоцитов и клеток пищеварительной железы двух видов моллюсков *Mytilus edulis* и *Mya arenaria*, эритроцитов представителей амфипод *Quadrivisia aff. lutzi* и рыбы *Prochilodus lineatus*. Примечательно, что и диспергирующие вещества, широко использующиеся для борьбы с разливами нефти, также проявляют генотоксические свойства. Известно, что сырая нефть и дизельное топливо

содержат не только парафиновые, но и высокотоксичные полиароматические углеводороды (ПАУ). Исследования показали, что ПАУ, проявляя генотоксичность, при переносе по пищевой цепи от мидий к лабораторным крысам сохраняли эти свойства.

К настоящему времени накопилось достаточно литературных данных, свидетельствующие о высоком генотоксическом потенциале тяжелых металлов [49]. Представитель тяжелых металлов- Cd, широко представленный в осадках и в морской воде, в концентрациях встречающихся в прибрежных водах, индуцировал нарушения в развитии и апоптоз у личинок морского ежа через генотоксичность. В аналогичных экспериментах с этим металлом были выявлены существенные деструктивные изменения в ДНК на ранних стадиях развития эмбрионов травяного шримса *Paleomonetes pugio*, в клетках жабр и пищеварительной железы двустворчатых моллюсков *Mizuhopecten yessoensis* и *Corbicula japonica* [49], а также в различных клетках бентосных беспозвоночных – морских ежей, губок и кораллов. В рамках рассматриваемой проблемы следует особо подчеркнуть, что в выше приведенных примерах повреждения генома регистрировали раньше, чем проявлялись цитотоксические и морфологические изменения.

Опираясь на высокую чувствительность и экотоксикологическую значимость методов определения генотоксичности, в том числе и использованного в нашей работе метода ДНК-комет, были выявлены неблагоприятные в этом отношении бухты Гонкога, Балтийского моря, западного побережья Индии, а также акватории, прилегающие к японским мегаполисам Токио, Осака и Кобэ. Даже такой краткий перечень примеров, наряду с нашими экспериментальными результатами, дают основания полагать о целесообразности и важности определения генотоксических свойств среды в оценке экотоксикологической ситуации.

В заключении следует отметить, что результаты работы свидетельствуют о критическом уровне загрязнения вод залива, которое не проходит бесследно для обитающих в этом месте организмов, так как приводит к скрытым дефектам на уровне генома (повреждений структуры ДНК), которые могут иметь нежелательные и непредсказуемые последствия. Естественно, представленная в данной работе количественная оценка деструктивных изменений генома для представителей отдельных видов морских организмов можно рассматривать как начальную первую ступень исследований, опираясь на которую, тем не менее, открывается возможность в определенной степени прогнозировать и оценивать состояние конкретных видов экосистемы, реагирующих на изменяющиеся условия среды, в которой накапливаются чужеродные химические соединения.

Список литературных источников

1. Григорьева Н. И., Федосеев В. Я., Кучерявенко А. В. Абиотические условия среды в местах размещения плантаций марикультуры залива Посъета (Залив Петра Великого, Японское море) // Изв. ТИНРО. 2001. Т. 128, ч. 2. С. 501–514.
2. Смирнова Н.Ф. Устойчивость некоторых массовых и промысловых видов двустворчатых моллюсков залива Посъет к экстремальным факторам в связи с условиями их существования // Моллюски и их роль в экосистемах. Авторефераты докладов, сб. 3. Л.: Наука. 1968. С. 69–70.
3. Приморский гребешок. Владивосток: Институт биологии моря ДВНЦ АН СССР. 1986. 244с.
4. Manduzio H., Rocher B., Durand F., Galap C., Leboulenger F. The point about oxidative stress in molluscs // ISJ. 2005. № 2. P. 91–104.
5. Halliwell B. and Gutteridge J.M.C. Free radicals in biology and medicine. 4th edition. Oxford University Press, Oxford. 2007. 851 p.
6. Paoletti F., Aldinuccion D., Mocali A., Carparrini A. A sensitive spectrophotometric method for the determination of superoxide dismutase in tissue extracts // Anal. Biochem. 1986. Vol. 154. P. 526–541.
7. Regoli F., Principato G. Glutathione, glutathione-dependent and antioxidant enzymes in mussel, *Mytilis galloprovincialis*, exposed to metals under field and laboratory conditions: implications for the use of biochemical biomarkers // Aquat. Toxicol. 1995. Vol. 31. P. 143–164.
8. Lawrence R.A., Burk R.F. Glutathione peroxidase activity in selenium-deficient rat liver // Biochem. Biophys. Res. Commun. 1976. Vol. 71. № 4 P. 952–958.
9. Bartosz G., Janaszewska A., Ertel D., Bartosz M. Simple determination of peroxy radical-trapping capacity // Biochem. Mol. Biol. Int. 1998. Vol. 46. P. 519–528.
10. Moron M. S., Depierre J. W., Mannervik B. Levels of glutathione, glutathione reductase and glutathione s-transferase activities in rat lung and liver // Biochim. Biophys. Acta. 1979. Vol. 582. P. 67–78.
11. Buege J. A., Aust S. D. Microsomal lipid peroxidation. Methods in Enzymology / ed. by S. Fleischer, L. Packer. New York: Academic Press. 1978. P. 302–310.
12. Markwell M., Haas S., Bieber L., Tolbert N.A. A modification of the Lowry procedure to simplify protein determination in membrane and lipoprotein samples // Anal. Biochem. 1978. Vol. 87. P. 206–210.

13. Regoli F, Principato GB, Bertoli E, Nigro M, Orlando E. Biochemical characterisation of the antioxidant system in the scallop *Adamussium colbecki*, a sentinel organism for monitoring the Antarctic environment // *Polar Biology*. 1997. 17. P. 251–258.
14. Бельчева Н. Н., Истомина А. А., Кудряшова Ю. В., Челомин В. П. Оценка качества морской среды по показателям окислительного стресса и содержанию тяжелых металлов в тканях мидии грея *Crenomytilus grayanus* (Dunker, 1853) (Bivalvia: Mytilidae) // *Биол. моря*. 2013. Т. 39, № 4. С. 281–286.
15. Abele D., Puntarulo S. Formation of reactive species and induction of antioxidant defence systems in polar and temperate marine invertebrates and fish// *Comparative Biochemistry and Physiology*. 2004. Part A. Vol. 138. P. 405–415
16. Abele D., Brey T., Philipp E. Bivalves models of aging and the determination of molluscan lifespans // *Experimental Gerontology*. 2009. Vol. 44. P. 307–315.
17. Гостюхина О.Л., Головина И.В. Особенности системы антиоксидантной защиты черноморских моллюсков *Mytilus galloprovincialis* Lam. и *Anadara inaequalis* Br. // *Укр. біохім. журнал*. 2012. Т. 84, №3. С. 31–36.
18. Gamble S. C., Goldfarb P. S., Porte C. and Livingstone D. R. Glutathione Peroxidase and Other Antioxidant Enzyme Function in Marine Invertebrates (*Mytilus edulis*, *Pecten maximus*, *Carcinus maenas* and *Asterias rubens*) // *Marine Environmental Research*. 1995. Vol. 39, No. 1–4. P. 191–195.
19. Христофорова Н.К. Концентрация металлов в тканях гребешка *Mezohoplecten yessoensis* разного возраста // *Биол. моря*. 1996. Т. 22, № 3. С. 183–188.
20. Кавун В.Я., Шулькин В.М. Изменение микроэлементного состава органов и тканей двустворчатого моллюска *Crenomytilus grayanus* при акклиматизации в биотопе, хронически загрязненном тяжелыми металлами // *Биол. моря*. 2005. Т. 31, №2. С. 123–128.
21. Gonzalez P.M., Wilhelms-Dick D., Abele D. and Puntarulo S. Iron in coastal marine ecosystems: role in oxidative stress/ *Oxidative stress in aquatic ecosystems*, 1st Edition. Eds.: D. Abele, J.P. Vázquez-Medina and T. Zenteno-Savín. Blackwell Publishing Ltd. 2012. Chapter 8. P. 115–125.
22. Estevez M. S., Abele D., Puntarulo S. Lipid radical generation in polar (*Laternula elliptica*) and temperate (*Mya arenaria*) bivalves // *Comparative Biochemistry and Physiology*. 2002. Part B, 132. P. 729–737
23. Хардин А.С. Исследование питания массовых видов морских литоральных беспозвоночных методами липидных и биогеохимических маркеров: Автореф. дисс. ...

канд. биол. наук. Владивосток: Дальневост. отд-ние.РАН. Ин-т биологии моря.2004. 22 с.

24. Walker S.T., Mantle D., Bythell J.C., Thomason J. C. Oxidative-stress: comparison of species and tissue specific in the marine bivalves *Mytilus edulis* (L.) and *Dosinia lupines* (L.) // Comparative Biochemistry and Physiology. 2000. Part B, 127. P. 347–355
25. Klobukar G.I.V., Stambur A., Hylland K., Pavlica M. Detection of DNA damage in haemocytes of *Mytilus galloprovincialis* in the coastal ecosystems of Kastelf and Trogir bays, Groatia // Science of the Total Environ. 2008. Vol. 405. P. 330–337.
26. Bissett W.Jr., Smith L., Thompson J. Geostatistical analysis of DNA damage in oysters, *Crassostrea virginica*, in Lavaca Bay, Texas // Ecotoxicol. 2009. Vol. 18. P. 69-74.
27. Taban I. C., Bechmann R. K., Torggrimsen S., Baussant T., Sanni S. Detection of DNA damage in mussels and sea urchins exposed to crude oil using Comet assay // Mar. Environ. Res. 2004. № 58. P. 701–705.
28. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры. 2014. <http://www.fao.org/3/3fc6a307-540d-4335-8edf-613df95251fd/i3720r.pdf>
29. Гайко Л.А. Марикультура: прогноз урожайности с учетом воздействия абиотических факторов. Владивосток: Дальнаука, 2006. 204 с.
30. Коваль И.В., И.А. Овчинникова Состояние и тенденции развития аквакультуры в Приморском крае // Вестник ТГУ. №1. 2013. С. 36–47.
31. Read P.A., Fernandes T.F. Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe // Aquaculture. 2003. Vol .226. P. 139–163.
32. Veer Henk~W. Eutrophication and mussel culture in the western Dutch Wadden Sea: impact on the benthic ecosystem; hypothesis // Helgoland. Meerescentersuch., 1989. Vol. 43. N 3-4. P. 517-527.
33. Stenton-Dozey J.M.E., Jackson L.F., Busby A.J. Impact of mussel culture on macrobenthic community structure in Saldanha bay, South Africa // Marine Pollution Bulletin, 1999. Vol. 39. N 1-12. P. 357-366
34. Wu R.S.S. Hypoxia: from molecular responses to ecosustem responses // Mar. Pollut. Bul. 2002. Vol. 45. P 35–45.
35. Singh N.P., McCoy M.T., Tice R.R., Schneider E.L. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells // Exp. Cell Res. 1988. Vol. 175. P. 184–191.
36. Mitchelmore C.L., Birmelin C., Livingstone D.R., Chipman J.K. Detection of DNA strand breaks in isolated mussels (*Mytilus edulis*) digestive gland cells using the “Comet” assay // Ecotoxicology and Environmental Safety. 1998. Vol. 41. P. 51–58.

37. Mitchelmore C.L., Birmelin C., Livingstone D.R., Chipman J.K. Detection of DNA strand breaks in isolated mussels (*Mytilus edulis*) digestive gland cells using the “Comet” assay // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 1998. Vol. 41. P. 51–58.
38. Cavas T., Konen S. *In vivo* genotoxicity testing of the amnesic shellfish poison (domoic acid) in piscine erythrocytes using the micronucleus test and the comet assay // *Aquat. toxicol.* 2008. Vol. 90. P. 154–159.
39. Chelomin V.P., Belcheva N.N. The effect of heavy metals on processes of lipid peroxidation in microsomal membranes from the hepatopancreas of bivalve mollusks *Mizuhopecten yessoensis* // *Comp. Biochem. Physiol.* 1992. Vol. 103 C. P. 419–422.
40. Stohs S.J., Bagchi D. Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions // *Free Rad. Biol. Med.* 1995. Vol. 18, № 2. P. 312–336.
41. Livingstone D.R. Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms // *Mar. Pollut. Bull.* 2001. Vol. 42, Issue 8. P. 656–666.
42. Лукьянова О.Н. Молекулярные биомаркеры. Владивосток: Изд-во ДВГАЭУ, 2001. 196 с.
43. Dallas L.G., Cheung V.V., Fisher A.S., Jha A.N. Relative sensitivity of two marine bivalves for detection of genotoxic and cytotoxic effects: a field assessment in the Tamar Estuary, South West England // *Environ. Monit. Assess.* 2013. Vol. 185. P. 3397–3412.
44. Lacaze E., Devaux A., Mons R., Bony S., Garric J., Geffard A., Geffard O. DNA damage in caged *Gammarus fossarum* amphipods: A tool for freshwater genotoxicity assessment // *Env. Pollut.* 2011. Vol. 159. P. 1682–1691.
45. Lewis C., Galloway T. Genotoxic damage in polychaetes: A study of species and cell-type sensitivities // *Mutat. Res.* 2008. Vol. 654. P. 69–75.
46. Perez-Cerezales S., Martinez-Paramo S., Beirao J., Herraiz M.P. Fertilization capacity with rainbow trout DNA-damaged sperm and embryo developmental success // *Reproduction*. 2010. Vol. 139. P. 989–997.
47. Santos R., Palos-Ladeiro M., Besnard A., Porcher J.M., Bonya S., Sanchez W., Devaux A. Relationship between DNA damage in sperm after ex vivo exposure and abnormal embryo development in the progeny of the three-spined stickleback // *Reproductive Toxicology*. 2013. Vol. 36. P. 6– 11.
48. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2012 (под ред. А.Н. Коршенко). Москва: Наука, 2013. 200 с.
49. Слободскова В.В. Оценка воздействия неблагоприятных факторов среды на морских двустворчатых моллюсков с помощью метода ДНК-комет. Автореф. дисс. ...канд. биол. наук. Владивосток: ДВФУ, 2012. 18 с.

2.4 Мониторинг сезонного распределения и миграций полярных китов (*Balaena mysticetus*, L.) в российской части Чукотского моря

Введение

В результате коммерческого промысла численность популяций промысловых видов китообразных была катастрофически подрвана. Подавляющее их большинство включено в Красные книги различного ранга – международные, национальные и региональные, а также в издания «Красных списков угрожаемых видов» под эгидой Международного союза охраны природы. Прошло уже более 30 лет с тех пор, как прекращен коммерческий промысел китов, но их судьба до сих пор вызывает беспокойство.

Основной целью работы в 2013 - 2015 гг. являлся анализ данных полученных в 2010 – 2012 гг. продолжающих многолетний мониторинг распределения сезонных миграций и относительной численности полярных китов в прибрежье Чукотского полуострова.

Материал и методы исследования

В данном отчете представлен анализ результатов учетов полярных китов в 2010, 2011, 2012 гг. В соответствии с рисунком 2.4.1 и таблицей 2.4.1, для наблюдений были задействованы наблюдатели в поселках Уэлен и Нешкан. Такое их размещение позволило отслеживать ход сезонных миграций китов в западной части Чукотского моря – основном нагульном районе полярных китов берингово-чукотско-бофортской популяции в Российских водах.



Рисунок 2.4.1 – Район работ

В процессе работ применялся традиционный метод визуального учета животных с использованием биноклей. На береговых наблюдательных пунктах система наблюдений заключалась в периодических дежурствах в зависимости от погодных условий и видимости.

Длительность периодов учетов и перерывов между ними, определялась погодой и условиями видимости, а в осенний период продолжительностью светлого периода суток.

Таблица 2.4.1 – Продолжительность учетных работ в прибрежных водах Чукотского полуострова

Годы	Число наблюдателей	Начало	Окончание	Число дней учета	Число часов учета
2010	2	28.05	30.11	120	483
2011	3	18.05	28.11	145	708
2012	2	1.06	13.12	359	1330

Весенняя миграция полярных китов

Миграция 2010 г. В районе пос. Уэлен весной 2010 г. первый кит появился 28 мая. Животное было обнаружено в 4 км от берега в широкой ледовой прогалине за кромкой ледового припая. Позднее 29 и 30 мая зарегистрированы еще 3 и 4 особи соответственно (в соответствии с таблицей 2.4.1). Вторая волна весенней миграции протекала одновременно с разрушением берегового припая с 4 по 9 июня. В этот период, за исключением 8 июня регистрировали от 1 до 11 особей. Наибольшее число китов учтено 6 июня, когда 11 животных по 2 – 3 особи прошли на север вдоль кромки дрейфующего льда. Последний кит учтен 18 июня. Животное двигалось на север в 2 км от берега среди дрейфующего льда. В районе пос. Нешкан весной 2010 г полярных китов обнаружено не было.

Таблица 2.4.2 – Результаты учетов полярных китов из пос. Уэлен весной 2010 – 2012 гг.

Оценки	2010	2011	2012
Число учетов	28	24	9
Учтено минимум за учет	0	0	0
Учтено максимум за учет	11	16	2
В среднем за учет	1,3	1,9	0,4
Учтено всего	35	45	4

Миграция 2011 г. В 2011 году весенняя миграция полярных китов в районе пос. Уэлен началась 21 мая. 12 полярных китов, мигрировали на север в широкой ледовой прогалине за кромкой припая в группах по 2 – 3 особи. На следующий день утром за 2 часа наблюдений было учтено 7 особей и вечером за такой же период еще 9. Животные держались в свободной ото льда воде за кромкой ледового припая. При этом наблюдатель сообщил, что киты

кормились. Позднее 23, 24 и 25 учитывали лишь по 2 особи. После сильного шторма 26 – 29 мая, во время которого был взломан припай, миграция возобновилась. Эта волна была выражена слабее, 30 мая было учтено 7, а 1 и 2 июня по 2 особи. Позднее, в районе поселка Уэлен, полярных китов не регистрировали. В секторе наблюдений поселка Нешкан, как и в 2010 г, в весенний период полярных китов не видели.

Миграция 2012 г. Весной 2012 г миграция полярных китов на северо-западном входе в Берингов пролив была выражена слабо. Зарегистрированы лишь 4 особи, две – 12 и две – 16 июня (в соответствии с таблицей 2.4.2). Как и в предыдущие годы животных видели в период взлома берегового ледового припая. Следует отметить, что с южной стороны мыса Дежнева в районе мыса Пээк, весенняя миграция была выражена хорошо. Здесь в период с 18 мая по 7 июня за 10 эпизодических наблюдений было учтено 23 особи полярных китов.

Летнее распространение

Встречи полярных китов июле – сентябре 2010 г. В июле 2010 г. зарегистрировано две встречи полярных китов. Одинокaя особь была обнаружена 7 июля в районе пос. Уэлен. Кит прошел в 3 км от берега в южном направлении вдоль границы дрейфующего льда. Еще 3 особи были обнаружены 31 июля в районе пос. Нешкан, во время охотничьей экспедиции. Животные находились в 20 км от берега среди дрейфующего льда 50% покрытия. В августе была учтена лишь одна группа полярных китов. В районе пос. Нешкан, 7 августа 6 животных держались в 25 км от берега на свободной ото льда воде. Значительные подходы полярных китов к северо-западному побережью Чукотского полуострова наблюдали во время охотничьих экспедиций в середине сентября 2010 г. Так 15 сентября в район пос. Нешкан было встречено 20 особей, 16 сентября 15 особей, 17 – 10 и 18 сентября 6 особей. Все животные держались по свободной ото льда воде в 5 – 10 км от берега. Один полярный кит, длиной 12 м, был добыт охотниками 17 сентября

Встречи полярных китов июле – сентябре 2011 г. В районе пос. Нешкан в июле 2011 г. полярных китов видели регулярно на большом удалении от берега во время охотничьих экспедиций. Так 9 июля в 20 км от берега обнаружены 8 особей среди дрейфующего льда с 60% покрытия. Во время последующих экспедиций 18 июля встречены 2 особи, 21 июля – 3 особи и 27 июля – 3 особи. Животные по-прежнему держались в 10 – 20 км от берега среди дрейфующего льда. В августе 2011 г. зарегистрирована лишь одна встреча полярных китов – 28 августа на протяжении 2-х часов 2 особи кормились на расстоянии 1 – 2 км от берега в районе пос. Уэлен. На протяжении почти всего сентября 2011 г. полярных китов в северном прибрежье Чукотского полуострова не учитывали. Лишь 30 сентября, в самом конце месяца,

в секторе наблюдений поселка Нешкан с вельбота были обнаружены 17 полярных китов. Животные находились в 10 км от берега. Их появление в последний день сентября, связано, по-видимому, уже с началом осенней миграции.

Встречи полярных китов июле – сентябре 2012 г. В июле 2012 г. у северного побережья Чукотского полуострова держался лед. В секторе наблюдений пос. Нешкан полярных китов довольно регулярно встречали во время промысла моржей. Животные держались в 10 – 30 км от берега поодиночке и в составе небольших группы до 6 особей. Возможно, это была одна и та же группа, которая держалась в районе до начала августа. Последнего одиночного кита здесь видели 2 августа. Позднее, ни в августе, ни в сентябре 2012 г. полярных китов в северном прибрежье Чукотского полуострова не встречали.

Осенняя миграция

Осенняя миграция 2010 г. Осенью 2010 г. в середине сентября большие группы численностью до 20 полярных китов были обнаружены у северо-западного побережья Чукотского полуострова в 5 – 10 км от пос. Нешкан. Признаков миграционной активности животные не проявляли, их появление было связано, скорее всего, с летним нагулом. Спустя месяц в середине октября в том же районе зарегистрированы уже меньшие по численности группы. Эти животные также не проявляли признаков миграции. Осенняя миграция в районе пос. Нешкан началась 8 ноября с появлением шуги вскоре после сильного снежного шторма. В секторе наблюдений была зарегистрирована большая группа около 20 двигавшихся на восток китов. В последующие дни их численность нарастала, достигнув к 10 ноября максимума в 30 особей. Эту волну осенней миграции 2010 г. прервал продолжительный и сильный осенний шторм. Вновь в секторе наблюдений пос. Нешкан китов наблюдали 19 ноября. За 4- часовой светлый период дня было учтено 20 животных. Позднее численность проходящих животных снизилась, однако ежедневно от 2 до 10 животных проходили в 3 – 5 километрах от берега в восточном направлении. Прекратилась осенняя миграция в секторе наблюдений пос. Нешкан в последних числах ноября с установлением берегового ледового припая шириной около 8 км и с подходом больших полей льда.

В 2010 г в районе пос. Уэлен расположенного на входе в Берингов пролив, осенняя миграция полярных китов началась 8 ноября с появления 9 особей кормившихся в 3-х км от берега. При этом наблюдатель видел большое количество фонтанов китов на горизонте. По-видимому, вдали от побережья в этот период держалась большая группа китов, вероятно, полярных. На следующий день около 30 китов весь день кормились в 1 – 5 км от берега. Одновременно на поверхности появлялись до 10 особей. Можно предположить, что животных в группе было существенно больше, чем указал наблюдатель. Максимальное

число 90 особей учтено 10 ноября, животные держались в 1 – 3 км от берега. Миграция продолжалась и 11 ноября, однако наблюдатель сообщил, что учет затруднен большим волнением. Вторая волна осенней миграции у пос. Уэлен протекала в период с 27 по 30 ноября. Животные шли по полыньям среди полей льда, покрытие которого достигало 90%. По всей вероятности эта волна миграции продолжалась и в начале декабря, однако работы к началу декабря были прекращены.

Осенняя миграция 2011 г. В секторе наблюдений пос. Нешкан осенью 2011 г. полярных китов видели с 30 сентября и по 13 октября. Во время охотничьих экспедиций на удалении от 6 до 10 км от берега регулярно встречали группы животных численностью от 2 до 54 особей. Наблюдатель неоднократно отмечал, что животные кормились. Льда в этот период не было, как не было и признаков миграционной активности. Вероятно, животные мигрировали в более поздний период в конце октября – ноябре, когда наблюдения в районе пос. Нешкан были уже прекращены. В районе пос. Уэлен, миграция полярных китов осенью 2011 г. была выражена слабо. Животные появились 15 ноября после окончания сильного снежного шторма. Киты прошли двумя короткими волнами. Первая волна длилась с 16 по 20 ноября. Вторая волна протекала в самом начале становления льда 26 и 27 ноября. Учитывали от 2 до 8 особей за светлый 4 часовой период суток. В конце ноября на горизонте появился лед. Основная масса китов в этом районе также прошла, по-видимому, после окончания наблюдений – в декабре 2011 г.

Осенняя миграция 2012 г. В районе пос. Нешкан. первые киты в осенний период были обнаружены 1 октября 2012 г. во время охотничьей экспедиции. Около 20 особей держалась по свободной ото льда воде в 15 – 20 км от берега. Животные перемещались разнонаправленно и, вероятно, кормились. Большая группа в составе около 30 особей была зарегистрирована с вельбота 10 октября. Животные держались рассредоточено в 2 – 25 км от берега. На следующий день 11 октября в этом же районе было учтено 12 особей, которые также держались рассредоточено по свободной ото льда воде, в 3 – 15 км от берега. Каких либо признаков миграционной активности в это период не отмечено. С берега животных наблюдали после появления первой шуги 14, 15, 17 и 18 октября. Регистрировали от одной до трех особей. Во время охотничьей экспедиции вновь киты были обнаружены 28 октября. Большая группа рассредоточено держалась по чистой воде в 3 – 10 км от берега. С берега на следующий день было учтено 8 особей, направленного движения животные не проявляли. Последняя волна осенней миграции 2012 г в районе пос. Нешкан прошла в период становления льда с 4 по 8 ноября. В этот период в секторе учета с берега регистрировали от 1 до 7 особей двигавшихся в восточном направлении. Наибольшее число животных было

учтено 8 ноября. За 4 часа светлый период в этот день было учтено 40 китов уходящих в восточном направлении. Последних полярных китов в этом секторе наблюдений учли 1 декабря. Около 17 особей весь световой день кормились за кромкой ледового припая в полынье. На входе в Берингов пролив осенью 2012 г первые 2 полярных кита зарегистрированы 6 ноября спустя день после появления полосы шуги шириной 2 км. Позднее количество китов, учитываемых на протяжении 4 часов светлого времени суток, постепенно нарастало – 8 ноября учтено 5, 9 ноября – 4 особи. 10 ноября учет оказался невозможен из-за сильной волны достигавшей домов поселка. После того как шторм стих, к побережью подошла большая группа, 11 ноября наблюдатель учитывал до 7 китов выходящих на поверхность одновременно. 12 ноября было учтено 25 китов, при этом наблюдатель отметил, что на горизонте видно много фонтанов. Наибольшее число – 50 особей учтено 13 ноября, при этом по всему горизонту были видны множество фонтанов. Можно предположить, что в этот период в пролив прошла большая группа, возможно в несколько тысяч особей. Позднее, за исключением 15 ноября, когда наблюдения были невозможны из-за сильного шторма, киты проходили в пролив примерно с прежней интенсивностью. При этом наблюдатель видел на горизонте много фонтанов. Миграция временно прекратилась 18 и 19 ноября, когда при хорошей видимости и спокойной погоде фонтанов и китов не было видно. 20 ноября миграция возобновилась, но с подходом большого массива льда, почти полностью закрывшего поверхность воды, количество регистрируемых животных в секторе наблюдений, резко снизилось. Однако с постепенным увеличением свободной ото льда поверхности воды, число учитываемых китов нарастало. Последних животных видели в смерзающихся полыньях в начале декабря.

Обсуждение

Полученные в отчетный период данные показывают, что весенняя миграция полярных китов протекает лишь в секторе наблюдений пос. Уэлен, расположенного, на северо-западном входе в Берингов пролив. С другого наблюдательного пункта в пос. Нешкан, весной полярных китов не видели. Как в предыдущие годы, в северо-западной части Берингова пролива животные мигрировали в конце мая – первой половине июня. Наблюдались существенные межгодовые различия в численности и динамике миграции (в соответствии с таблицей 2.4.2). Если весной 2010 было учтено 35 китов, а за наблюдение регистрировали в среднем 1,3 особи, то в 2011 г. учтено 45 китов и 1,9 особей в среднем, тогда как в 2012 г видели лишь 4 полярных кита – 0,4 особи за наблюдение. Таким образом,

относительная численность мигрирующих полярных китов весной 2012 г была в 3 и 4 раза ниже, чем в 2010 и в 2011 гг. На результатах учета, возможно, отразилось состояние ледовых условий. Весной 2012 г. ледовый покров в западной части Чукотского моря разрушался заметно медленнее, чем в предыдущие годы. Если в 2010 г и 2011 гг. из сектора наблюдений пос. Уэлен лед ушел в середине июня, то в 2012 г. держался до конца июня. Наши данные, а также картографический анализ доступной литературной информации показывает, что в июне полярные киты разбиваются на две группы (в соответствии с рисунком 2.4.2). Одна группа проходит в море Бофорта, другая мигрирует в прибрежных водах Чукотского полуострова.

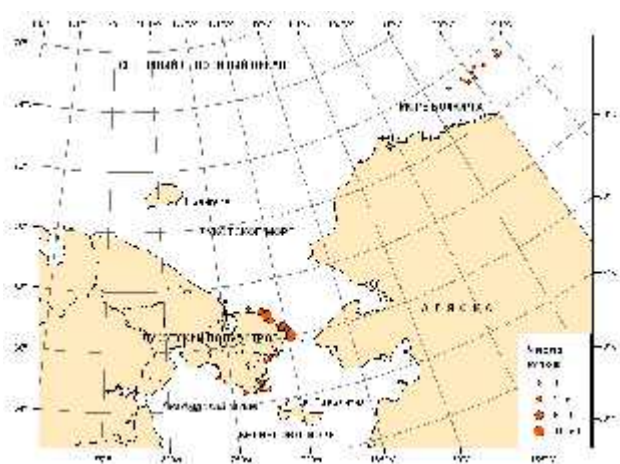


Рисунок 2.4.2 – Сводная карта распределения полярных китов в июне по собственным и литературным данным [5]

Наши наблюдения в 1990 – 1996 гг. показывали, что уже в конце июня киты появляются в районе мыса Сердце-Камень у северного побережья Чукотского полуострова [1]. Обычно это происходило сразу или вскоре после взлома ледового припая. Результаты 2010 – 2012 гг. свидетельствуют об июньском продвижении части берингово-чукотско-бофортской популяции полярных китов в западную часть Чукотского моря, что подтверждает полученную ранее информацию о задержке части берингово-чукотско-бофортской популяции в Беринговом море и её миграции в Чукотское море в поздние сроки. Можно предположить, что полярные киты, по крайней мере, в теплые годы, способны проникать далеко в западном направлении в Восточно-Сибирское море, достигая Новосибирских островов, и проходить в море Лаптевых.

Ранее нами было показано, что почти ежегодно в июле – августе полярные киты бывают в районе лагуны Несканпыльгин (п. Нешкан), у мыса Сердце-Камень (пос. Энурмино). Обычно здесь регистрировали одиночек и небольшие группы до 4 - 8 животных,

которые подолгу держались на одном месте, перемещаясь в различных направлениях (кругами) [2, 3]. Отмечены случаи движения полярных китов с открытыми ртами на поверхности воды, что прямо указывало на их питание в поверхностном слое. Исследования проведенные в 2010 – 2012 гг. подтвердили и дополнили эту информацию. По итогам анализа летнего распределения полярных китов в прибрежных водах Чукотского полуострова можно заключить, что в летние месяцы их присутствие в Чукотском море доказано. Их встречи в этом районе достаточно регулярны и не являются исключениями, связанными с ледовой обстановкой. Киты здесь бывают как в годы с высоким ледовым покрытием, так и в годы, когда Чукотское море полностью освобождается ото льда. Давно известно, что осенью полярные киты в большом количестве ежегодно бывают у северного побережья Чукотского полуострова. Наши наблюдения 1990 - 2003 гг. показали, что у берегов Чукотского полуострова в массовых количествах эти киты появлялись перед началом становления льда с появлением первой шуги. Ранее всего это происходило у северо-западного побережья, откуда по мере наступления льда киты медленно смещались вдоль берега на восток в направлении Берингова пролива. В типичных случаях у северо-западных участков побережья Чукотского полуострова осенняя миграция начиналась на 2 – 3 недели раньше, чем на входе в Берингов пролив [2-4]. Полученные в 2010 – 2012 гг. результаты подтвердили большую вариабельность динамики и сроков осенней миграции полярных китов у северного побережья полуострова. отличаются большой вариабельностью и. Миграция зависит от складывающейся ледовых условий, начинается с началом становления льда и заканчивается в период сжатия и смерзания последних полыней.

Выводы

Установлено, что в западной части Берингова пролива весенняя миграция протекает с середины мая до середины июня, что указывает на задержку части берингово-чукотско-бофортской популяции в Беринговом море и её миграции в Чукотское море в поздние сроки.

В летний период полярные киты обитают не только в море Бофорта, но и в водах северного побережья Чукотского полуострова. Встречи китов в летние месяцы в северном побережье Чукотского полуострова регулярны и не являются исключениями, связанными с ледовой обстановкой.

Осенняя миграция полярных китов в прибрежных водах западной части Чукотского моря начинается перед началом становления льда и заканчивается в период сжатия и смерзания последних полыней. Она отличается большой вариабельностью, как по срокам, так и по динамике.

Список использованных источников

1. Мельников В.В., Зеленский М.А., Бычков В.В. Сезонные миграции и распределение гренландских китов в водах Чукотки. // Биология моря. 1997. Т. 23. № 4. С. 199 - 208.
2. Мельников В.В., Бобков А.В. О миграциях гренландских китов в Чукотском море в 1991 г // Океанология. 1993. Т. 33. №. 15. С. 729 - 734.
3. Мельников В.В., Зеленский М.А., Айнана Л.И. Распределение и миграции гренландских китов в Беринговом и Чукотском морях // Морские млекопитающие. Москва: ООО "Кэтран", 2002. С. 299 - 327.
4. Мельников В.В., Бобков А.В. Миграции гренландских китов в Чукотском море. // Биология моря. 1993. №. 3. С. 60 - 67.

2.5 Распределение полярного кита (*Balaena mysticetus* Linn. 1758) и зоопланктона в заливе Академии Охотского моря

Введение

До 1967 г. об охотских полярных (гренландских) китах, почти ничего не было известно. Имелась лишь карта Таунсенда [1] на которой были указаны места их добычи в Охотском море. Так Б.А. Зенкович [2] считал, что в Охотском море обитает отдельный вид «охотского настоящего кита». А.Г. Томилин [3] полагал, что гренландские (полярные) киты Охотского моря принадлежат популяции Берингова и Чукотского морей и заходят в Охотское море только в зимний период. С.К. Клумов [4] (1962) указывал, что китобой парусного флота далеко не всегда могли отличать гренландских китов от южных (японских) китов и, несомненно, их смешивали. Было высказано убеждение, что имеющиеся в литературе указания на добычу полярных китов в Охотском море ошибочны и, безусловно, относятся к японским китам. Лишь исследованиями последних десятилетий XX века, было показано, что, наряду с популяцией южных японских китов (*Balaena glacialis* Muller, 1776), в северной и западной части Охотского моря обитает небольшое количество полярных китов [5-7].

Охотская популяция полярных китов отдельная, исторически изолированная, группа, обитающая в Охотском море. Одна из наиболее многочисленных и успешных, в прошлом, эта группировка была практически уничтожена китобоями в 19-м веке. Позднее, после некоторого восстановления, в конце 60-х гг. прошлого века китобойные флотилии Советского Союза подвергли этих животные нелегальному промыслу, который вновь поставил эту популяцию под угрозу исчезновения [8-10].

Об этой популяции и в настоящее время известно относительно немного. Показано, что охотская популяция в течение всего года обитает в Охотском море и никогда его не покидает. Летний ареал полярных китов в западной части Охотского моря связан с районом Шантарских островов. Здесь эти животные встречаются, преимущественно, в заливах Академии, Ульбанский, Константина и Тугурский [6, 11-14]. Сведения о кормовых условиях, обеспечивающих летний нагул китов в этом районе, до последнего времени отсутствуют. Между тем выявление жизненно необходимых кормовых районов и их охрана – основа стратегии сохранения вида.

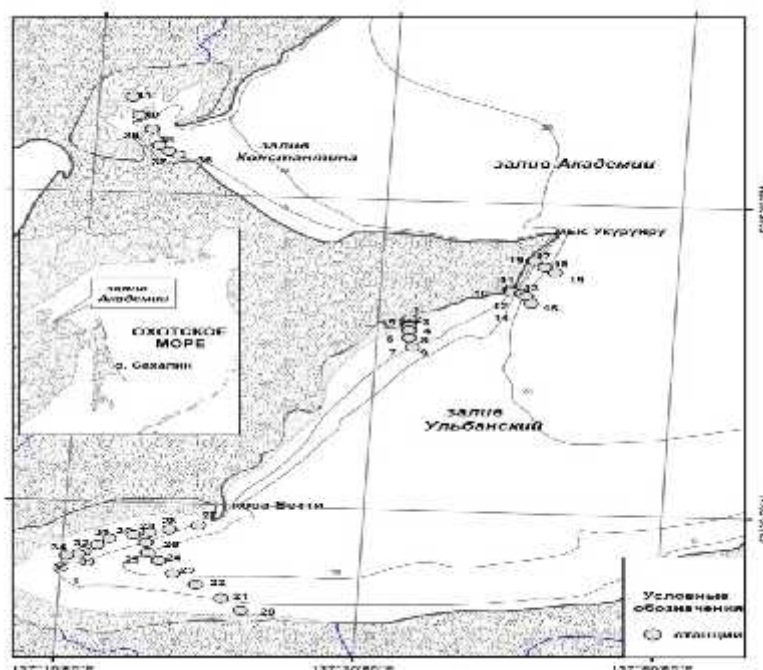
Из исследований китов берингово-чукотско-бофортской (БЧБ) популяции мы знаем, что основу питания полярных китов составляют копеподы и эуфаузииды, однако весь спектр кормов включает более 60 видов беспозвоночных [15]. О питании полярных китов охотской

популяции, до последнего времени, информации не было. В предлагаемой работе предпринята попытка исследования кормовых условий и современного распределения полярных китов в заливе Академии – основном районе их летнего нагула в Охотском море. Данную работу следует рассматривать как первый шаг в исследовании питания этих животных в Охотском море.

Целью данной работы являлось: 1) исследовать современное распределение полярных китов на полях летнего нагула в Охотском море. 2) провести анализ количественного и видового состава зоопланктона в водном столбе на станциях расположенных непосредственно в местах питания полярных китов. 3) Сопоставить плотность распределения кормов с распределением полярных китов в районе нагула. 4) Определить биомассу зоопланктона достаточную для питания китов.

Материал и методы

Из более ранних публикаций было известно, что в летний период полярные киты концентрируются в районе мыса Укурунру, разделяющим заливы Константина и Ульбанский [11, 13, 16]. В соответствии с рисунком 2.5.1 основные усилия были направлены на изучение распределения в окрестностях этого мыса, где предшественники отмечали их наибольшие агрегации.



Цифрами обозначены номера станций и изобаты

Рисунок 2.5.1 – Район работ

Кроме того, были обследованы мелководья в крайней, западной части залива Ульбанский. В предыдущем сезоне здесь было обнаружено скопление кормившихся полярных китов [17]. Для сопоставления обследованы также мелководья залива Константина. Исследования распределения китов и их учет проводили, преимущественно, во время лодочных экспедиций, а также с судна, на маршруте следования к месту работ и во время якорной стоянки. Наблюдения и учет китов вели в спокойную погоду при волнении моря не более 2-х баллов по шкале Бофорта и при видимости не менее 5 км. Большинство наблюдений проведены невооруженным глазом с лодки с высоты около 1.5 м над уровнем моря. С этой высоты просматривалось около 3-х км по горизонту. Часть работ проведена с мостика судна с использованием 8 кратного бинокля. В этом случае просматривалось до 6 км по горизонту.

Пробы зоопланктона брали в непосредственной близости от кормящихся полярных китов, а также на местах их захода под воду. Для сопоставления были взяты пробы там, где киты отсутствовали или эпизодически встречались одиночные особи. Для сравнения с кормовыми условиями кутовой части залива Ульбанский, где держалось скопление кормившихся полярных китов, были взяты пробы зоопланктона на мелководье кутовой части залива Константина, где, за исключением одиночного животного, китов не было. Лов зоопланктона осуществлялся стандартной сетью джеди с ячейей 400-µm при вертикальном подъеме сети от дна до поверхности. Глубину определяли с помощью марок на шнуре. Образцы зоопланктона фиксировали 4% формалином, разведенным морской водой. Количественный подсчет особей проводился по стандартным гидробиологическим методикам [18]. В лабораторных условиях пробу промывали от фиксатора в пресной воде. В чашку Петри отбирали крупный планктон (более 10 мм) – сагитты, которых просчитывали полностью.

Для количественной обработки, в зависимости от густоты планктона, пробу разбавляли, до 100–150 см³. После тщательного перемешивания, с помощью штемпель-пипетки отбирали порцию объемом 1 см³, которую переносили в камеру Богорова, где производили подсчет массовых форм зоопланктона. Для каждой пробы обрабатывали от 1 до 10 см³. В камере просчитывали число особей каждого вида, размерные и возрастные стадии. Подсчет производился под стереомикроскопом, оснащенным камерой AxioCam Icc 3 моделью Stemi 2000-C. Малочисленные организмы подсчитывали во всей пробе. Биомассу рассчитывали на основе таблиц стандартных весов и номограмм [19, 20]. Позднее полученные результаты были пересчитаны на плотность в экземплярах на метр кубический.

Результаты

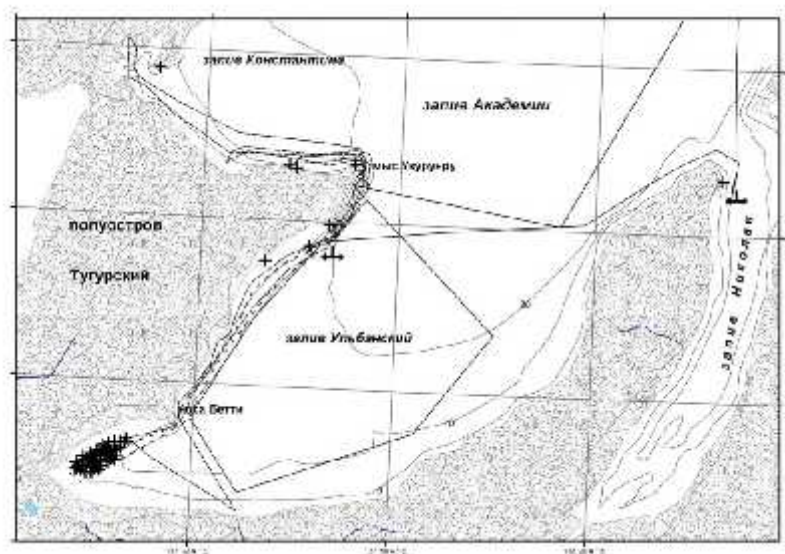
Распределение полярных китов. В начальный период работ, с 21 по 29 августа, мы не могли обнаружить полярных китов ни с судна, во время регулярных наблюдений с мостика, ни вовремя проходов на моторной лодке вокруг мыса Укурунру. Не было животных и у южной оконечности мыса, где у гряды камней в 1999 г. постоянно кормились киты [16]. Не было и самой гряды камней, которая в 1999 г. располагалась перпендикулярно берегу, и к которой, ранее, во время отлива, регулярно приходили кормиться полярные киты. Первого кита обнаружили лишь 30 августа. Кит прошел вблизи берега в глубину Ульбанского залива (таблица 2.5.1).

В соответствии с рисунком 2.5.2, позднее, одиночки и пары китов встречались, достаточно регулярно, у восточной оконечности мыса Укурунру. Судя по внешнему виду, это были молодые животные, кормившиеся у выступающих скал и у отдельно стоящих камней, за которыми во время приливных и отливных течений образовывались завихрения воды способствующие, по-видимому, концентрации зоопланктона.

Таблица 2.5.1 – Встречи полярных китов в заливах Ульбанский, Константина и Николая в 2013 г.

Дата	Место наблюдения	Широта	Долгота	Число особей	Примечания
30.08.2013	судно	53°52' СШ	137°46' ВД	1	ПК прошел в Ульбанский залив рядом с берегом
31.08.2013	судно	53°52' СШ	137°46' ВД	1	ПК прошел в Ульбанский залив
31.08.2013	судно	53°52' СШ	137°46' ВД	1	ПК прошел в Ульбанский залив
01.09.2013	судно	53°52' СШ	137°46' ВД	1	ПК подросток кормился
		53°52' СШ	137°41' ВД	2	ПК кормились у галечной косы
		53°54' СШ	137°48' ВД	3	ПК кормились в 500 м от берега
05.09.2013	берег 5	53°58' СШ	137°50' ВД	1	ПК молодой кормился в 10 м от камней у берега
05.09.2013	берег 3	53°58' СШ	137°44' ВД	3	ПК самка с малышом и молодой шли вдоль северного берега
05.09.2013		53°58' СШ	137°43' ВД	1	
05.09.2013	берег	53°54' СШ	137.48' ВД	2	ПК 50 м от галечной косы
05.09.2013		53°54' СШ	137°48' ВД	3	ПК в 500 м от берега
06.06.2013	лодка	53°37' СШ 53.°36' СШ	137°23' ВД 137°20' ВД	60	Скопление кормящихся ПК в кутовой части залива Ульбанский
07.09.2013	лодка	54°04' СШ	137°23' ВД	1	Молодой ПК у косы в заливе Константина
07.09.2013	лодка	53°58' СШ	137°51' ВД	1	Молодой ПК у самых скал восточной оконечности м. Укурунру
08.09.2013	якорная стоянка	53°55' СШ	138°36' ВД	2	ПК в зал Николая у песчаной косы

Как у береговой черты, так и у скал мыса Укурунру, полярные киты всегда кормились в толще воды. Перемещений животных по поверхности с открытым ртом не наблюдали. В этом же районе зарегистрирована семейная пара – мать с малышом. Животные шли вдоль берега в западном направлении, с северной стороны мыса Укурунру. Пара выглядела испуганной, малыш вплотную прижимался к матери и не отходил от неё. Вероятно, это было связано с присутствием косаток, группу которых из 7 животных мы ранее наблюдали неподалеку от семейной пары.



Крестиками обозначены встречи полярных китов. Сплошной линией – маршрут судна, Пунктирной линией – лодочные маршруты

Рисунок 2.5.2 – Встречи полярных китов в период работ в заливе Академии в августе – сентябре 2013 г.

Несмотря на тщательный просмотр, как с верхнего мостика судна, так и с восточной оконечности мыса Укурунру, в открытой части залива Академии и в заливах Ульбанский и Константина животных не было. Все обнаруженные полярные киты держались не далее 500 м от берега. Часть из них находилась в прибойной зоне, в непосредственной близости от скал мыса Укурунру. Подтвердилось существование кормовой агрегации полярных китов на мелководьях крайней юго-западной (кутовой) части залива Ульбанский [17]. Животные держались разреженно, преимущественно поодиночке, и явно кормились на мелководье с глубинами 3 – 5 м, что крайне необычно для этих огромных животных (в соответствии с рисунком 2.5.2). Прямой подсчет китов, из-за их большого количества, оказался невозможен. При панорамировании в бинокль на протяжении 3 мин учитывали от 12 до 14 особей,

находившихся на поверхности. С учетом того, что под водой полярные киты держатся обычно 15 – 20 мин, а на поверхности 3 – 5 мин, можно говорить о том, что в момент работ, в западной части Ульбанского залива, находилась агрегация из 50 – 60 особей. Несмотря на мелководье, мы не видели движения животных по поверхности воды с открытым ртом. Киты перемещались под водой, на поверхности лишь отдыхали, без заметного движения. Наши ожидания о возможном присутствии полярных китов в западной части залива Константина не оправдались. Несмотря на то, что его конфигурация очень напоминает залив Ульбанский, в кутовой части залива Константина был обнаружен лишь кит небольшого размера. Животное держалось вблизи берега, у внешней стороны песчаной отмели, отделяющий кутовую часть залива от его открытой части.

Характеристика зоопланктона. При исследовании зоопланктонных проб в зал. Академии Охотского моря было обнаружено 6 таксономических групп голопланктона: Copepoda, Cladocera, Chaetognatha, Mysidacea, Euphausiidae, Ctenophora, а также молодь рыбы *Osmerus mordax dentex* и *Cumacea* (таблица 2.5.2).

Таблица 2.5.2 – Видовой состав зоопланктона

	Видовой состав станций 1 - 9	Видовой состав станций 10-15	Станции 16 - 19	Видовой состав станций 20 - 26	Видовой состав 27 - 35	Видовой состав 36 - 41
	Copepoda	Copepoda	Copepoda	Copepoda	Copepoda	Copepoda
1	<i>Oithona similis</i>	<i>Oithona similis</i>	<i>Oithona similis</i>	<i>Oithona similis</i>	<i>Oithona-similis</i>	<i>Oithona similis</i>
2	<i>Acartia longiremis</i>	<i>Acartia longiremis</i>	<i>Acartia longiremis</i>	<i>Acartia longiremis</i>	<i>Acartia longiremis</i>	<i>Acartia longiremis</i>
3	<i>Acartia clausi</i>	<i>Acartia clausi</i>	<i>Acartia clausi</i>	<i>Acartia clausi</i>	<i>Acartia clausi</i>	<i>Acartia clausi</i>
4	<i>Acartia pacifica</i>	<i>Acartia pacifica</i>		<i>Acartia pacifica</i>		
5		<i>Acartia</i> sp.			<i>Acartia</i> sp.	
6	<i>Metridia pacifica</i>	<i>Metridia pacifica</i>	<i>Metridia pacifica</i>	<i>Metridia pacifica</i>	<i>Metridia pacifica</i>	<i>Metridia pacifica</i>
7	<i>Metridia okhotensis</i>	<i>Metridia okhotensis</i>	<i>Metridia okhotensis</i>	<i>Metridia okhotensis</i>	<i>Metridia okhotensis</i>	<i>Metridia okhotensis</i>
8	<i>Metridia</i> sp.	<i>Metridia</i> sp.				
9	<i>Neocalanus crictatus</i>	<i>Neocalanus crictatus</i>		<i>Neocalanus crictatus</i>	<i>Neocalanus cristatus</i>	
10	<i>Neocalanus plumchrus</i>	<i>Neocalanus plumchrus</i>	<i>Neocalanus plumchrus</i>	<i>Neocalanus plumchrus</i>	<i>Neocalanus plumchrus</i>	
11	<i>Pseudocalanus minutus</i>	<i>Pseudocalanus minutus</i>	<i>Pseudocalanus minutus</i>	<i>Pseudocalanus minutus</i>	<i>Pseudocalanus minutus</i>	<i>Pseudocalanus minutus</i>
12	<i>Neocalanus</i> sp.	<i>Neocalanus</i> sp.	<i>Neocalanus</i> sp.	<i>Neocalanus</i> sp.	<i>Neocalanus</i> sp.	
13	<i>Calanus gracialis</i>	<i>Calanus gracialis</i>		<i>Calanus gracialis</i>	<i>Calanus glacialis</i>	
14	<i>Paracalanus parvus</i>		<i>Paracalanus parvus</i>	<i>Paracalanus parvus</i>		
15	<i>Paracalanus</i> sp.	<i>Paracalanus</i> sp.				
16		<i>Eucalanus bungii</i>		<i>Eucalanus bungii</i>		

Продолжение таблицы 2.5.2

17		<i>Oncea borealis</i>		<i>Oncea borealis</i>	<i>Oncea borealis</i>	<i>Oncea borealis</i>
18	<i>Eucalanus bungii</i>					
19	<i>Nauplii cop.</i>	<i>Nauplii cop.</i>	<i>Nauplii cop.</i>	<i>Nauplii cop.</i>	<i>Nauplii cop.</i>	<i>Nauplii cop.</i>
20		<i>Oithona sp.</i>			<i>Oithona sp.</i>	
					<i>Oithona brevicornes</i>	
	Euphausiidae	Euphausiidae	Euphausiidae	Euphausiidae	Euphausiidae	Euphausiidae
21	1. <i>Euphausia pacifica</i>	1. <i>Euphausia pacifica</i>	1. <i>Euphausia pacifica</i>	1. <i>Euphausia pacifica</i>		
22		1. <i>Euphausia sp.</i>			1. <i>Euphausia sp.</i>	1. <i>Euphausia sp.</i>
23		2. <i>Thysanoessa longipes</i>	2. <i>Thysanoessa longipes</i>			1. <i>Thysanoessa inermis</i>
	Chaetognatha	Chaetognatha	Chaetognatha	Chaetognatha	Chaetognatha	
24	<i>Sagitta elegans s.l.</i>	1. <i>Sagitta elegans s.l.</i>	1. <i>Sagitta elegans s.l.</i>	1. <i>Sagitta elegans s.l.</i>	1. <i>Sagitta elegans s.l.</i>	
	Mollusca	Mollusca	Mollusca	Mollusca	Mollusca	Mollusca
25	1. Gastropoda-larvae	1. Gastropoda-larvae	1. Gastropoda-larvae	1. Gastropoda-larvae	1. Gastropoda-larvae	1. Gastropoda-larvae
	Cladocera		Cladocera	Cladocera	Cladocera	Cladocera
26	<i>Podon leuckartii</i>		1. <i>Podon leuckartii</i>	1. <i>Podon leuckartii</i>	1. <i>Podon leuckartii</i>	1. <i>Podon leuckartii</i>
27	<i>Evadne nordmanni</i>		2. <i>Evadne nordmanni</i>	2. <i>Evadne nordmanni</i>	3. <i>Evadne nordmanni</i>	2. <i>Evadne nordmanni</i>
28	<i>Podon polyphemoides</i>			2. <i>Podon polyphemoides</i>	2. <i>Podon polyphemoides</i>	
	Ctenophora					
29	<i>Beroe sp.</i>	Amphipoda				
30		1. <i>Hyperia sp.</i>	Pisces (larvae)			
31			1. <i>Osmerus mordax dentex</i>	Polychaeta		
32				1. <i>Polychaeta-larvae</i>		Cumacea
33						1. <i>Eudorella sp.</i>

В количественном отношении преобладали копеподы: *Oithona similis*, *Pseudocalanus minutus*, *Calanus glacialis*, *Neocalanus crictatus*, *Neocalanus Plumchrus*, *Eucalanus bungii*, *Neocalanus sp.* . *Paracalanus parvus*, *Acartia longiremis*, *Acartia clausi*, *Metridia okhotensis*, *Metridia sp.*, *Acartia pacifica* и др. (таблица 2.5.2). В пробах преобладали мелкоразмерные формы, которые могут формировать ядро сообщества, благодаря плотным скоплениям. Мелкая фракция представлена широко распространенным видом дальневосточных морей – *Oithona similis*, (от 24 до 18442 экз/м³).

Обнаружено три вида ветвистоусых рачков – *Podan leuckarii*, *P. polyphemoides* и *Evande nordmanni*. В состав меропланктона входили: Mollusca (*Gastropoda-larvae*) и Polychaeta - (*Polychaeta-larvae*).

Облигатные хищники были представлены (*Chaetognatha*) - *Sagitta elegans s.l.*, а Ctenophora – *Beroe sp.*, Amphipoda – (*Hyperia spp.*). Обнаружены 3 вида эуфаузиид — *Euphausia pacifica*, *Euphausia sp.*, *Thysanoessa longipes*.

Таким образом, видовой состав зоопланктона в прибрежной части заливов Ульбанский и Константина Охотского моря характеризуется значительным разнообразием. Население верхней 20-метровой толщи состоит как из типичных поверхностных форм, так и из интерзональных животных, поднимающихся с глубины в верхние слои моря.

В целом, в структуре зоопланктона по количеству видов доминировал неритический комплекс, представленный прибрежными видами голопланктона (67.5%) и меропланктона (32.5%). Количественная характеристика зоопланктона дана в таблице 2.5.3 Из таблицы можно видеть, что численность зоопланктона достигала 31409 экземпляров на 1 м³ при среднем значении 17565 экз/м³.

Таблица 2.5.3 – Итоговая таблица проб зоопланктона по разрезам в заливе Академии Охотского моря (число экземпляров на метр кубический)

Показатели	Номера станций					
	1 - 9	10-15	16-19	20-26	27-35	36-41
Минимум	511.0	2488	158	2931	1854	56
25% Процентиль	1517	2507	158	2954	9875	309.2
Медиана	3492	4012	342	6016	17572	665
75% Процентиль	4908	6872	3367	7457	26221	1678
Максимум	5443	8218	3367	7946	31409	1879
Средняя	3286	4554	1289	5317	17567	927.9
Ст. отклонение	1841	2400	1802	2113	9761	736.5
Ст. ошибка	650.8	1074	1040	798.7	3254	329.4

Эти показатели получены на мелководье западной части залива Ульбанский, в непосредственной близости от кормящихся полярных китов. Наименьшее количество зоопланктёров 1879 экз/м³, при среднем значении 927 экз/м³, учтено в западной части залива Константина, где полярных китов не наблюдали (станции 36 – 41). На всех станциях в количественном отношении преобладали копеподы. В отдельных пробах их доля достигала 100%. В среднем, по всем станциям, доля копепод в пробах составила 87. 8%. Биомасса

зоопланктона колебалась очень широко – от 22,3 мг/м³ до 773 мг/м³ (таблица 2.5.4) и формировалась, преимущественно, копеподами.

Таблица 2.5.4 – Итоговая таблица расчетной биомассы зоопланктона в заливе Академии Охотского моря (миллиграмм на метр кубический)

Показатели	Номера станций					
	1 - 9	10-15	16-19	20-26	27-35	36-41
Минимум	27.36	121.4	10.53	69.12	66.65	3.7
25% Процентиль	52.07	152.6	—*	117.7	318.6	8.7
Медиана	145.4	188.7	—*	250.3	615.9	21.7
75% Процентиль	300.9	471.2	—*	292.9	1227	36.2
Максимум	480.4	549.6	287.8	352.4	1949	40.9
Средняя	181.7	287.2	105.9	228.1	773.2	22.3
Ст. отклонение	156.2	178.8	—*	101.4	595.6	14.6
Ст. ошибка	55.21	79.96	—*	38.33	198.5	6.525

* не рассчитывали из-за малого количества данных

Наибольших значений (773.2 мг/м³) она достигала в кутовой части залива Ульбанский (станции 27-35), где кормилась агрегация полярных китов (в соответствии с таблицей 2.5.4, рисунком 2.5.3). Наименьшая биомасса зоопланктона зарегистрирована в кутовой части залива Константина (станции 36–41), где китов не было, а биомасса зоопланктона, в среднем, составила лишь 22.3 мг/м³ (max – 40.9 мг/м³, min – 3,7 мг/м³). При этом везде копеподы представляли основную биомассу зоопланктона. В 16 пробах, взятых в непосредственной близости от кормившихся полярных китов на мелководье залива Ульбанский, биомасса зоопланктона была, в среднем, 547.9 мг/м³ (min 100.4, max 1949.5) медиана 372.6 мг/м³ (таблица 2.5.5).

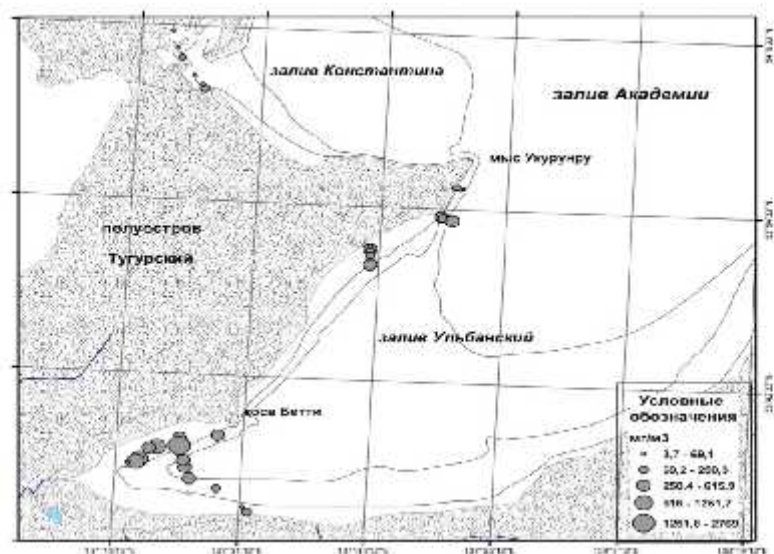


Рисунок 2.5.3 – Биомасса зоопланктона в прибрежной зоне заливов Ульяновский и Константина Охотского моря. Наибольших значений биомасса зоопланктона достигает в районе мелководий кутовой части залива Ульяновский на месте скопления полярных китов.

Таблица 2.5.5 – Биомасса зоопланктона вблизи кормящихся китов и биомасса зоопланктона без китов

Показатели	мг/м ³ вблизи китов	мг/м ³ без китов
Число образцов	16	19
Минимум	100.4	3.7
25% процентиль	178.3	21.7
Медиана	372.6	66.7
75% процентиль	746	287.8
Максимум	1949	549.6
Средняя	547.9	140.3
Ст. отклонение	515.8	154.7
Ст. ошибка	129	35.5

В 19 пробах зоопланктона, взятых в западной части залива Константина и у южной оконечность мыса Укурунру, где полярные киты отсутствовали, биомасса зоопланктона была в среднем 140 мг/м³ (min 3.7, max 549), медиана 66.6 мг/м³. Таким образом, биомасса зоопланктона вблизи кормившихся полярных китов превышала биомассу зоопланктона районов, где киты отсутствовали, в 3.9 раза. Тест Манна-Уитни показал высоко достоверные различия между биомассой зоопланктона в пробах взятых вблизи кормящихся китов и биомассой зоопланктона в пробах, где киты отсутствовали ($P = 0.0005$).

Обсуждение

Заливы западной части Охотского моря, в районе Шантарских островов, служат основным районом летнего нагула полярных китов охотской популяции [7, 9, 12, 13, 21, 22]. Сообщений о присутствии полярных китов в кутовой части залива Ульбанский ранее не было. Лишь совсем недавно появилось краткая информация О.В.Шпак и Ю.И. Парамонова [17] об их присутствии в этом районе. Появление скопления этих животных на мелководье юго-западной части залива Ульбанский – неожиданно. Упоминаний о встречах полярных китов в этой части Ульбанского залива, на очень малых глубинах 3 – 5 м, в литературе ранее не было. Никто не мог предположить, что полярные киты с их огромными размерами тела способны кормиться и образовывать скопление на мелководье с глубинами 3 – 5 метров. Можно предположить, что способность этих животных обитать на мелководье позволила избежать уничтожения популяции, как в период парусного промысла, так и позднее, во время нелегального выбоя в конце 60-х годов прошлого века. Добыть кита на мелководье с глубинами 3 – 5 метров, в условиях мощных приливов и, связанных с ними, приливных течений, практически невозможно, как с китобойных судов, так и с китоловных парусных ботов.

Полярный кит – высоко специализированный вид с древней историей. Эти животные распространились в высокие широты в связи со специализацией питания. Их жизненная стратегия акцентирована на потреблении большой биомассы зоопланктона для запасания энергии на максимально продолжительное время. Из анализа содержимого желудков известно, что полярные киты берингово-чукотско-бофортской популяции питаются широким спектром кормов, который включает более 60 видов беспозвоночных. Преимущественно это копеподы (*Calanus glacialis*, *Calanus hiperboreus*) и эуфаузииды (*Thysanoessa inermis*, *Thysanoessa rachii*). Зимой полярные киты кормятся мало или не питаются совсем, поэтому в остальные сезоны эти животные вынуждены интенсивно кормиться, для того чтобы восполнить недостаток питания зимнего периода и запасти энергию для репродукции [23, 24, 15].

Исследования зоопланктона в море Бофорта показали, что его биомасса была выше там, где полярных китов видели, в отличие от районов, где киты не встречались. Наибольшая биомасса зоопланктона была обнаружена в зоне смешения океанических вод и пресных вод реки Макензи. В этом районе она достигала 2300 мг/м³ в 1985 и 1500 мг/м³ в 1986 г., при этом вблизи кормящихся полярных китов биомасса зоопланктона была в 16 – 20 раз выше, чем в районах, где китов не было [24]. Исследования энергетики полярных китов показывают, что эти животные должны кормиться в районах, где концентрация зоопланктона, в среднем, 2000 – 2500 мг/м³ [15, 25].

Результаты наших работ показывают, что в кутовой части залива Ульбанский биомасса зоопланктона вблизи кормившихся китов была, в среднем, 547.9 мг/м^3 , при максимальном значении 1949 мг/м^3 (таблица 2.5.5), что сопоставимо с данными о питании китов в западной части моря Бофорта.

Видовой состав зоопланктона в пробах, взятых в районе скопления полярных китов, представлен, преимущественно, копеподами. Однако, спектр видов существенно шире, чем в пробах зоопланктона взятых из желудков полярных китов, добытых в море Бофорта [23, 24, 15]. В зоопланктоне залива Академии, как вблизи кормившихся китов, так и без них, очень слабо представлены эуфаузииды. Если в море Бофорта эти ракообразные второй по важности компонент диеты полярных китов [15, 24], то доля биомассы эуфаузиид в пробах зоопланктона залива Академии не достигала и 1%, а на мелководье залива Ульбанский эти животные встречены лишь в одной пробе из девяти, занимая ничтожно малую долю в общей биомассе.

Для интенсивного летнего откорма китов необходима высокая продукция зоопланктона, которая, в свою очередь, зависит от общей биологической продуктивности. Пробы зоопланктона, взятые в смежных заливах Ульбанский и Константина, показали большие различия в биомассе. Если в западной части Ульбанского залива биомасса зоопланктона была в среднем 534.7 мг/м^3 , то в заливе Константина лишь 111.6 мг/м^3 . В соответствии с рисунком 2.5.1 внешние очертания заливов похожи. Однако, если в кутовую часть залива Ульбанский впадают 3 крупные реки протекающие через обширные болота и 5 небольших речек, то в вершину залива Константина впадает лишь один небольшой ручей. Данное наблюдение указывает на ведущую роль речного стока в формировании биологической продуктивности залива Ульбанский.

Успешный нагул китов обусловлен не только высокой продукцией зоопланктона, но и наличием кормовых пятен – концентраций организмов позволяющих эффективно питаться. В 1999 году у крайней северной оконечности мыса Укурунру выступала гряда камней перпендикулярно берегу [16]. Эта гряда камней и очертания берега образовывали небольшую бухту, где во время отлива был замечен небольшой круговорот диаметром 300 – 400 метров. Сюда во время отлива ежедневно подходили до 4 -5 полярных китов, кормившихся до окончания отливного течения. В 2013 году гряды камней не было (вероятно она была разрушена льдом), отсутствовал и круговорот. Вероятно поэтому, в период работ 2013 г., мы не видели здесь китов. Гидробиологические пробы, взятые на месте прежнего круговорота, показали низкую биомассу зоопланктона (105.9 мг/м^3 в среднем для 3 проб).

В кутовой части залива Ульбанский роль схожую с ранее существовавшей грядой у мыса Укурунру, возможно, выполняет выступающая перпендикулярно к берегу коса Бетти. На определяющую роль приливных течений в формировании кормовых пятен зоопланктона, указывают встречи китов в водоворотах за выступающими камнями мыса Укурунру. Сходную роль, по-видимому, выполняют и отмели расположенные на выходе из залива Константина и Николая. С их внешней стороны во время отлива обычно кормятся молодые полярные киты.

Полученные результаты указывают на высокую пластичность полярных китов в использовании условий среды обитания. При наличии кормов эти животные способны образовывать агрегации на мелководьях, глубина которых лишь слегка превышает высоту их тела. Полярные киты охотской популяции, во время питания, способны использовать кормовые пятна, образующиеся в небольших водоворотах, за выступающими мысами и отдельными камнями. Определяющую роль в формировании кормовых пятен в Ульбанском заливе Охотского моря играют высокие приливы, обуславливающие образование сильных течений, которые образуются круговороты за выступающими мысами, отмелями и камнями.

Вблизи китов, кормившихся в западной части Ульбанского залива, биомасса зоопланктона достигала 1949 мг/м^3 , при среднем значении 547.9 мг/м^3 . Эти значения биомассы зоопланктона являются необходимым условием нагула полярных китов в летний период. Биомасса зоопланктона менее 140 мг/м^3 , по-видимому, недостаточна для успешного откорма китов в летний период.

Выводы

1. Полученные результаты указывают на то, что при наличии кормов полярные киты могут образовывать агрегации на мелководьях, глубина которых лишь слегка превышает высоту их тела.

2. Киты охотской популяции, во время питания, способны использовать кормовые пятна, образующиеся в небольших водоворотах, за выступающими мысами и отдельными камнями.

3. Вблизи китов, кормившихся в западной части Ульбанского залива, биомасса зоопланктона достигала 1949 мг/м^3 , при среднем значении 547.9 мг/м^3 , что указывает на биомассу необходимую летнего откорма полярных китов.

Список использованных источников

1. Townsend C.H. The distribution of certain whales as shown by logbook records of American whaleships // Zoologica. 1935. N. 19. P. 50.

2. Зенкович Б.А. Китобойный промысел в Камчатском и Беринговом морях (сезон 1933 г.) // Рыбное хозяйство Дальнего Востока. 1934. №. 1-2. С. 113-118.
3. Томилин А.Г. Звери СССР и прилежащих стран. Китообразные. Москва: Наука, 1957. - 756 с.
4. Клумов С.К. Гладкие (японские) киты Тихого океана // Труды института океанологии. 1962. Т. 58. С. 202 - 297.
5. Берзин А.А., Кузьмин А.А. Серые и гладкие киты Охотского моря // Морские млекопитающие. Материалы VI Всесоюзного совещания. Киев. Наукова думка. 1975. Т. 1. С. 30 - 32.
6. Берзин А.А., Дорошенко Н.В. Сводные материалы по гладким китам Охотского моря // Научно-исследовательские работы по морским млекопитающим северной части Тихого океана в 1978/79 гг. Москва: ВНИРО, 1979. С. 56 - 65.
7. Берзин А.А., Ровнин А.А. Распространение и численность гладких китов (Balaenidae) в Тихом океане // Морские млекопитающие. Москва. 1984. С. 147-162.
8. Berzin A.A., Doroshenko N.V. Right whales of the Okhotsk Sea. // Rep. Int. Whal. Commn. 1981. V. 31. P. 451 - 455.
9. Дорошенко Н.В. Гладкие киты Охотского моря (история промысла, современное состояние) // Материалы Советского китобойного промысла (1949-1979). Москва: Центр экологической политики России. 2000. С. 31 - 47.
10. Berzin A.A. The Truth About Soviet Whaling // Marine Fisheries Review. 2008. V. 70. №. 2. P. 4 - 59.
11. Берзин А.А., Владимиров В.Л., Дорошенко Н.В. Результаты авиаучетных работ по изучению распределения и численности китообразных в Охотском море в 1979 - 1985 гг. // Научно-исследовательские работы по морским млекопитающим в северной части Тихого океана в 1984/85 г. Москва: ВНИРО, 1986. С. 18 - 28.
12. Берзин А.А., Владимиров В.Л. Результаты авиаучетных работ по изучению распределения и численности китообразных в прибрежных водах Охотского моря в 1986-1987 гг // Научно-исследовательские работы по морским млекопитающим северной части Тихого океана в 1986-1987 гг. Москва: ВНИРО. 1988. С. 18-24.
13. Берзин А.А., Владимиров В.А., Дорошенко Н.В. Результаты авиаучетных работ по изучению распределения и численности китообразных в Охотском море в 1988 – 1990 гг // Научно-исследовательские работы по морским млекопитающим северной части Тихого океана в 1989-1990 гг. Москва: ВНИРО. 1991. С. 6 - 17.

14. Дорошенко Н.В. Полярные киты Охотского моря // Известия Тихоокеанского рыбохозяйственного центра. 1996. Т. 121. С. 14 - 25.
15. Lowry L.F., Sheffield G., George I.C. Bowhead whale feeding in the Alaskan Beaufort Sea, based on stomach contents analyses // J. Cetacean Res. Manage. 2004. V. 6. №. 3. P. 215 - 223.
16. Мельников В.В. Результаты исследований полярных китов - *Balaena myctictetus* Охотского моря в 1999 и 2000 годах. Отчет о научно-исследовательской работе. № государственной регистрации 01.200.110282, Владивосток. 2001. 60 с.
17. Шпак О.В., Парамонов А.Ю. Наблюдения за белухами (*Delphinapterus leucas*), косатками (*Orcinus orca*), гладкими китами (*Balaenidae*) в Ульбанском заливе Охотского моря // Морские млекопитающие Голарктики 2012. Сборник научных трудов Москва: Совет по морским млекопитающим. 2012. Т. 2. С. 395 - 400.
18. Волков А.Ф. Методика сбора и обработки планктона и проб по питанию нектона (пошаговые инструкции) // Известия ТИНРО. 2008. Т. 154. С. 405 - 416.
29. Численко Л.Л. Номограммы для определения веса водных организмов по размерам и форме тела (морской мезобентос и планктон). Ленинград: Наука. 1968. 106 с.
20. Микулич Л.В., Родионов н.А. Весовая характеристика некоторых зоопланктеров Японского моря // Гидробиологические исследования в Японском море и Тихом океане. Труды ТОИ ДВНЦ АН СССР. Владивосток. 1975. Т. 9. С. 75 - 87.
21. Ровнин А.А. Разведка и мечение китов в западной части Тихого океана, Филиппинском, Охотском, Беринговом и Чукотском морях. (Отчет по научно-поисковому рейсу СРТ "Витязь" в 1967 году). Научный архив ТИНРО №10948. Владивосток 1967.
22. Берзин А.А., Владимиров В.Л. Современное распределение и численность китообразных в Охотском море // Биология моря. 1989. №. 2. С. 15 - 23.
23. Lowry L.F., Frost K.J. Foods and feeding of bowhead whales in western and northern Alaska // Scientific Reports of the Whales Research Institute, Tokyo. 1984. V. 35. P. 10 - 16.
24. Lowry L.F. Food and feeding ecology // The Bowhead Whale: Special Publication No 2 The Society for Marine Mammalogy. 1993. P. 201 - 238.
25. Thomson D.H. "Energetic of bowhead whales," LGL Ltd., environmental research associates 2002.

2.6 Исследования ластоногих Дальнего Востока России

Введение

С 70-х гг. прошлого столетия произошло обвальное снижение численности сивуча на большей части ареала [1, 2, 3, 4]. Вид оказался на грани исчезновения и был внесен в Красные книги МСОП и России, а также в список видов США, находящихся под угрозой исчезновения (ESA). С целью выяснения причин депрессии было проведено множество разноплановых работ [5, 6, 7, 8]. Однако, несмотря на активные исследования, причины снижения численности сивуча все еще не ясны.

В начале XXI века в российской части ареала сивуча почти повсеместно наметилась тенденция к восстановлению численности [9, 10, 11]. Исключение составляют локальные группировки животных, населяющие Командорские острова и восточное побережье Камчатки, где численность взрослых сивучей и количество приплода продолжают оставаться на низком уровне.

Совершенно очевидно, что какие бы факторы не повлекли депрессию вида, они вызвали изменение демографических параметров, таких как выживаемость, половозрастной состав, размножение, эмиграция и иммиграция. Сузить круг поиска причин депрессии сивуча можно посредством получения информации о демографических параметрах, характеризующих негативное состояние вида. Поэтому, для понимания причин изменения численности животных и разработки эффективных мер их охраны, необходимо как можно более полное представление о демографии вида и его локальных групп.

В настоящее время происходит интенсивное освоение северо-восточной части шельфа о. Сахалин, что не может не оказывать отрицательного воздействия на прибрежные экосистемы в этом регионе. Особенную обеспокоенность вызывает современное состояние берегового лежбища ластоногих, расположенного в приустьевой части залива Пильтун. Местное сообщество тюленей состоит из трёх видов: морского зайца (лахтак, *Erignathus barbatus*), кольчатой нерпы (акиба, *Pusa hispida*) и пятнистой нерпы (ларга, *Phoca largha*) [12, 13, 14]. Все три вида образуют экологическую группу ледовых форм тюленей, репродуктивный период годового цикла которых протекает не на берегу, а на льдах. На Сахалине отсутствуют другие поливидовые лежбища, образованные одновременно тремя видами настоящих тюленей.

Цель данного исследования – оценка демографического состояния различных группировок сивуча на Дальнем Востоке России и изучение особенностей функционирования сообщества настоящих тюленей в устье залива Пильтун (о. Сахалин).

Материал и методы

*Оценка демографического состояния сивуча (*Eumetopias jubatus*) на Дальнем Востоке России*

Исследования сивуча проводили совместно с КФ ТИГ ДВО РАН по договору о сотрудничестве между ТОИ ДВО РАН и КФ ТИГ ДВО РАН.

Учеты животных проводили с береговых возвышенностей и с надувных моторных лодок типа «Зодиак». При подсчете животных использовали бинокли и зрительные трубы, а также видео- и фотоаппаратуру. Учеты проводили по стандартной методике [18, 19], при которой, сначала просчитывали всех животных, находившихся на территории лежбища и в прилегающей акватории, затем выделяли животных различных половозрастных категорий.

Мечение сивучей проводили методом горячего таврения [20]. Каждое тавро уникально и состоит из литеры, обозначающей место рождения щенка и его порядкового номера в мечение. При мечении определяли пол щенков. Для поиска меченых животных использовали бинокли и зрительные трубы. При встрече меченых животных делали фотографии тавро для последующей сверки снимков между собой во избежание ошибок идентификации. На репродуктивных лежбищах архипелага о-вов Медный и Брат Чирпоев в течение летних месяцев проводили ежедневные наблюдения в течение светового дня. Другие лежбища посещали периодически в течение летних месяцев. На репродуктивных и крупных холостяковых лежбищах для поиска и фотографирования животных, помимо прямых визуальных наблюдений использовали специально разработанную автономную фотосистему.

Для выявления зависимости изменения численности сивучей Командорских островов от года наблюдений использовали генерализованные модели линейной регрессии с применением функции Гаусса для показателей численности щенков и периодической функции (cos) для животных в возрасте 1+ лет. Выбор функций осуществляли на основании анализа индекса максимального правдоподобия (AIC) и квантиль-квантиль графиков. Демографические пирамиды строили для поколений сивучей о-вов Медный и Брат Чирпоев 1996-2010 гг. рождения, по материалам, собранным с 2001 по 2011 гг.

Величину яловости определяли, как отношение всех прохолоставших самок к общему числу меченых самок в выборке. Самок, не пришедших на лежбище в данном сезоне, учитывали в качестве прохолоставших (если их отмечали в последующие сезоны), либо полностью исключали их из дальнейшего анализа, как предположительно погибших. Кроме того, из анализа исключали самок-эмигрантов с соседних лежбищ и самок-аборигенов, ушедших для размножения на соседние лежбища.

Зная соотношение полов в группе помеченных щенков, рассчитывали начальное количество самок в каждом поколении. Полученные показатели считали репродуктивным потенциалом соответствующих поколений. Участие разных возрастных групп самок в размножении оценивали, как долю рожавших таврёных самок от исходного числа помеченных самок в данном поколении. Оценки, сделанные для разных поколений, усредняли в каждой возрастной когорте. Под реализацией репродуктивного потенциала понимали изменение специфической рождаемости исследуемых нами поколений.

Для анализа расстояний дисперсии и филопатрии для сивучей Командорских о-вов была использована информация о повторных встречах меченых командорских сивучей по всему ареалу с 2001 по 2011 гг. За расстояния дисперсии принимали кратчайшую дистанцию по морю от нательного Юго-Восточного лежбища до мест повторной регистрации каждого животного. Анализ выполняли с помощью генерализованной модели линейной регрессии, используя для нормализации биномиальное распределение. Для анализа таблицы дисперсии использовали хи-квадрат тест. Оценивали доли аборигенных сивучей, размножавшихся на нательном лежбище, за пределами нательного лежбища и за пределами Командорских о-вов. Для выявления зависимости вероятности зачатия командорскими самками щенка на Камчатке от возраста самки, года наблюдения и сочетания этих факторов мы использовали генерализованные модели линейной регрессии по биномиальному распределению. Лучшую модель отбирали на основе AIC (Aikake's Information Criterion) индекса.

Изучение особенностей функционирования сообщества настоящих тюленей в устье залива Пильтун (о. Сахалин)

С 2014 по 2016 г. в устье залива Пильтун работала научная группа ТОИ ДВО РАН, при поддержке наблюдателей АУЦ ИБП и СахГУ [15, 16, 17]. Основным методическим приемом при проведении исследований было визуальное наблюдение с подробным протоколированием всех происходящих на лежбище и в непосредственной близости от него событий. В качестве наблюдательного пункта использовали башню маяка. Маяк расположен на западном берегу лагуны к северо-западу от ее устья и в 50 м от уреза воды, имеет высоту около 40 м, на его вершине расположена небольшая смотровая площадка (диаметром ~3 м) с круговым обзором, откуда и были проведены почти все визуальные наблюдения. Все учеты и наблюдения за особенностями функционирования лежбища выполнили с использованием оптических приборов: полевых биноклей 8-ми или 10-ти кратного увеличения и подзорной трубы Nikon 20-60-ти кратного увеличения, неподвижно закрепленной на штативе. С 18 июня по 26 октября выполнено 728 учетов. При необходимости производили

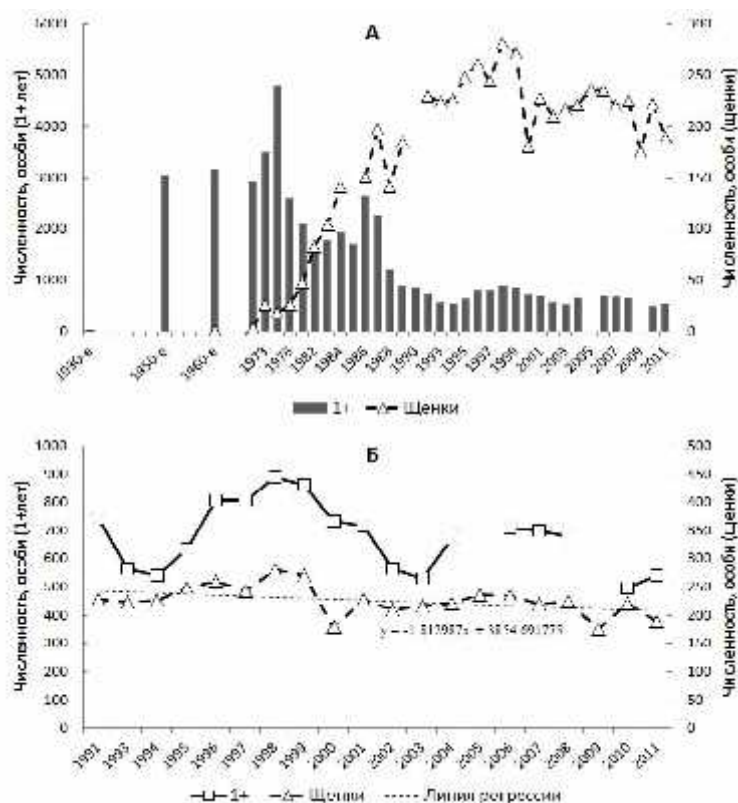
фотоподтверждение событий на лежбище. Использовали фотокамеру Nikon D610 с объективом Tamron 150-600 мм. Определение величины смертности тюленей вели как непосредственно силами научной группы, так с привлечением референтов.

*Демографическое состояние группировок сивуча (*Eumetopias jubatus*) на Дальнем Востоке России*

Численность сивуча. В 2015 г. было обследовано 71 лежбище сивуча на побережьях восточной Камчатки, Командорских и Курильских о-вов. Щенки были встречены на 22 лежбищах, из которых только 8 являются постоянными местами размножения. На всех лежбищах было учтено 2677 щенков, из них 2564 живых и 113 павших. Смертность детенышей в первые недели жизни составила 4,2%. На Командорских островах в 2015 г. Родилось 170 щенков, на Камчатке — 85 и на Курильских о-вах - 2422 щенка. По сравнению с аналогичным учетом в 2011 г., общая численность приплода на репродуктивных лежбищах в обследованном районе уменьшилась на 21%. Снижение наблюдалось во всех обследованных районах, но наибольшим оно было на Курильских о-вах, где количество новорожденных снизилось на 22%. Такое резкое и широко распространенное уменьшение в количестве приплода вызывает тревогу. Оно отмечается впервые за последние 20 лет.

Используя коэффициент расчета общей численности на основании данных о количестве новорожденных щенков [21], можно заключить, что в настоящее время на Камчатке, Курильских и Командорских о-вах обитает примерно 12000 сивучей. На основании приведенных выше результатов ТОИ ДВО РАН направил в Минприроды РФ рекомендацию о внесении сивуча в список видов нового издания Красной книги РФ с категорией 2 – «сокращающиеся в численности или распределении».

Более подробно была рассмотрена динамика численности сивуча на Командорских островах. До 1990-х гг. положительной корреляции между динамикой численности щенков и животных в возрасте 1+ лет на Командорских островах не наблюдалось ($r=-0.38$, $p=0.158$). Значительная корреляция ($r=0.72$, $p=0.002$) между этими параметрами появилась с 1991 г., вероятно, к этому времени завершился процесс образования командорской субпопуляции (рис. 2.6.1). С момента завершения образования локальной популяции сивуча Командорских о-вов (1990-е гг.) численность животных в возрасте 1+ лет варьировала в широких пределах. Средний показатель численности на лежбищах молодых и взрослых животных за весь период существования субпопуляции составил 672 ± 57 ($M \pm 95\%CI$) особей.



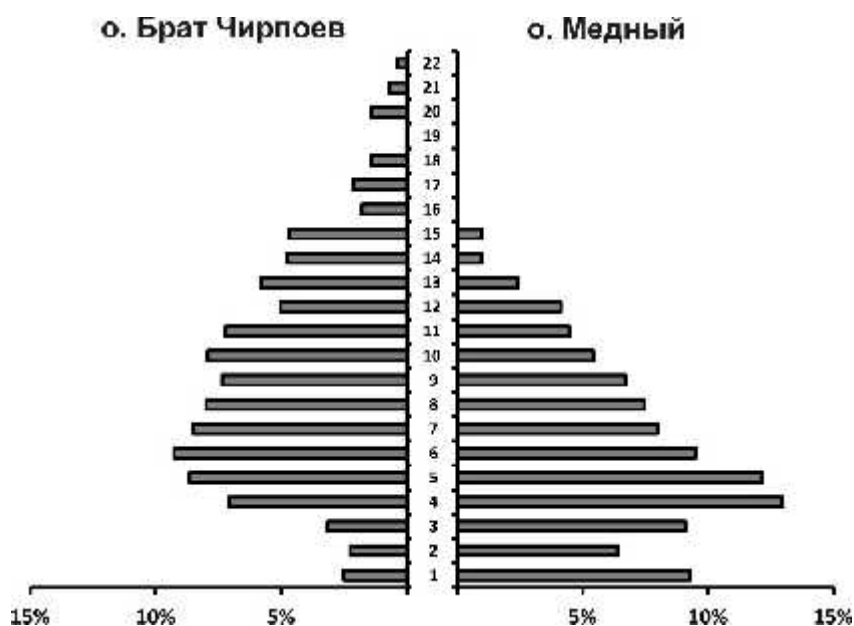
А – в 1930-е – 2011 гг., Б – 1991 – 2011 гг

Рисунок 2.6.1 – Динамика численности сивуча на Командорских о-вах в репродуктивный период.

Дисперсионный анализ генерализованной модели линейной регрессии выявил отсутствие статистически достоверной зависимости изменения численности животных в возрасте 1+ лет от года наблюдений (ANOVA: Resid. Df=17, F= 0.052, p= 0.82). Количество новорожденных щенков нарастало до конца 1990-х гг. и достигло максимума (280 особей) в 1998 г. [10]. В 2000, 2009 и 2011 гг. отмечены резкие спады численности. Мы обнаружили достоверную зависимость числа рожденных щенков от года наблюдений (ANOVA: Resid. Df=19, F=4.35, p=0.05). Модель выявила отрицательный наклон регрессионной прямой. Поскольку численность сивучей на островах не растет, выявленные спады количества новорожденных щенков на архипелаге, вероятно, приведут к сокращению общей численности сивучей командорской группировки. Пользуясь данными прямых учетов животных и расчетным коэффициентом [21] можно заключить, что общая численность сивучей командорской субпопуляции составляет в последние годы 650-750 особей.

Возрастная структура. При сравнении группировок сивучей о-вов Медный (Командорские о-ва) и Брат Чирпоев (Курильские о-ва) выявлено, что они значительно

различаются своей возрастной структурой (рис. 2.6.2). Так, медновская группировка чрезвычайно омоложена: наиболее массово в командорской демографической пирамиде представлены молодые (1-5 лет) возрастные когорты. Начиная с группы 5-6-летних самок, на лежбище происходит убывание слагающих демографическую пирамиду возрастных когорт; 14-15-летние самки почти отсутствуют в местной репродуктивной группировке. На о. Брат Чирпоев, напротив, группировка составлена в основном средневозрастными (5-11 лет) когортами. В чирпоевской группировке тренд на снижение размеров возрастных когорт можно проследить, начиная с 10-11-летних самок; уменьшение группы средневозрастных самок на о. Медный и самок старших возрастов на о. Брат Чирпоев происходит одинаковыми темпами. Низкое количество средневозрастных сивучей на Командорских о-вах обусловлено их повышенной смертностью в этом районе, причины которой не ясны. Отсутствие средневозрастных производителей в субпопуляции не может не нести негативных последствий для размножения.



По оси ординат отложены возрастные когорты (годы жизни), по оси абсцисс – доли, занимаемые возрастными когортами в репродуктивных группировках.

Рисунок 2.6.2 – Демографические пирамиды для самок сивуча о-вов Брат Чирпоев и Медный.

Успешность размножения. В среднем самки о. Брат Чирпоев рождали своего первого щенка в возрасте 5.4 лет (95%CI = ± 0.2 лет), а самки о. Медный – в 5.3 лет (95%CI = ± 0.2 лет). Выборки не различались статистически (критерий Манн-Уитни). На обоих

лежбищах порядка 12% рожавших самок приносили первого щенка в возрасте 4 лет. Наибольшее число самок рожало первого щенка в 5 лет (47% на о. Брат Чирпоев и 61% на о. Медный). К 6-летнему возрасту на обоих лежбищах более 90% всех продуцирующих самок рожали как минимум один раз. На обоих лежбищах первые массовые роды происходили в 5-летних возрастных когортах (рис. 2.6.3). На о. Брат Чирпоев в когортах старше этого возраста рост репродуктивной активности замедлялся, но не останавливался вплоть до 10-летнего возраста. После 10 лет доля самок, участвовавших в размножении, уменьшалась. На о. Медный доля меченых самок, участвовавших в размножении, начинала снижаться уже с 6-летнего возраста. Темп снижения напоминал аналогичный показатель у чирпоевских самок старше 10-летнего возраста.

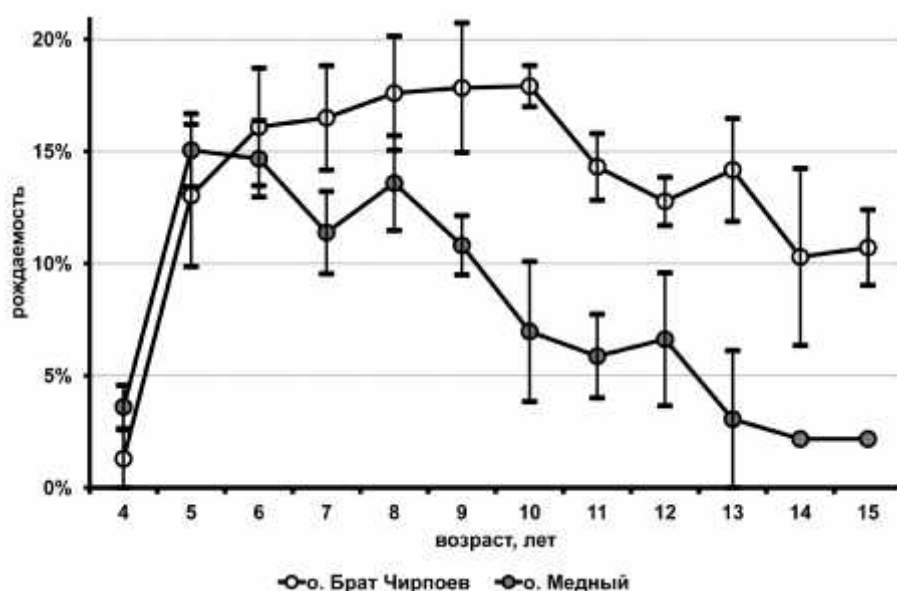


Рисунок 2.6.3 – Изменение соотношения рожавших к исходному числу меченых самок сивуча в разных возрастных когортах на о-вах Брат Чирпоев и Медный в 2002-2011 гг. ($M \pm SE$).

Первые прохолоставшие самки появляются уже в 5-летних когортах, однако их мало, в силу малого числа первородящих 4-летних самок (рис. 2.6.4). В 6-летних когортах число прохолоставших самок резко возрастает. На о. Брат Чирпоев число яловых самок остаётся довольно высоким до 10-летнего возраста (прохоластывает в среднем 19% самок), однако в 10-13-летних когортах число яловых самок уменьшается. На о. Медный тоже можно отметить слабую тенденцию к уменьшению числа холостающих самок, однако такое уменьшение имеет менее отчетливый и прямолинейный характер. Линейные тренды к

проценту рожавших самок имеют менее крутой наклон и объясняют значительно меньшую долю переменных в медновской группировке, по сравнению с чирпоевской ($R^2=0.27$, против $R^2=0.80$, соответственно). В среднем число яловых самок в 6-13-летних когортах составляет на о. Брат Чирпоев 15% за сезон, а на о. Медный 24% за сезон.

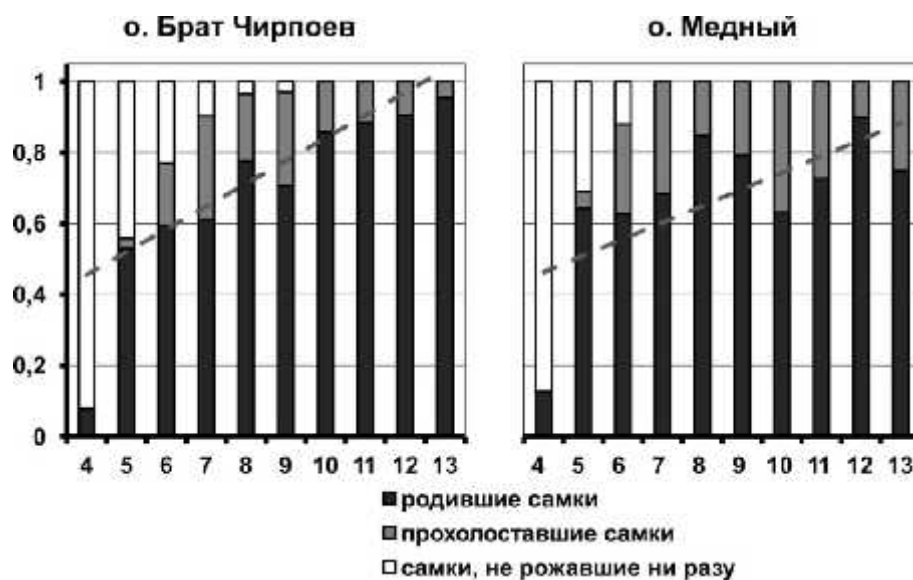


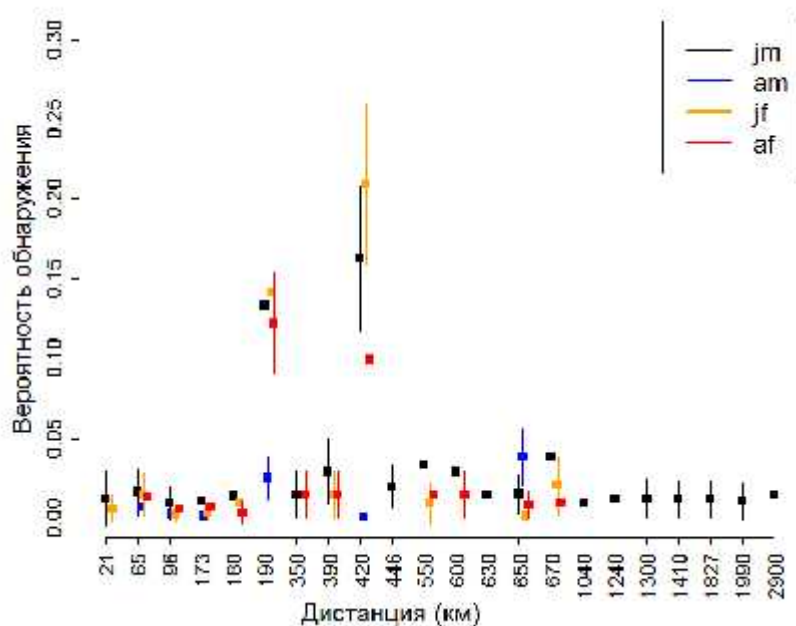
Рисунок 2.6.4 – Динамика размножения самок сивуча на лежбищах островов Брат Чирпоев ($n=111$) и Медный ($n=87$).

Репродуктивные группировки сивучей о-вов Брат Чирпоев и Медный не различаются ни скоростью созревания, ни скоростью снижения уровня участия самок в размножении. Продолжительность стабильного участия в размножении у самок медновской группировки оказалась на 4-5 лет короче, чем на о. Брат Чирпоев. Очевидно, это и есть главное различие в стратегиях размножения сравниваемых репродуктивных группировок, определяющее их современное состояние. Реализация медновской репродуктивной группировкой собственного репродуктивного потенциала осложнена низким количеством средневозрастных самок и нестабильностью их размножения. Низкую степень участия самок в размножении, по всей видимости, следует рассматривать в качестве главной причины неблагоприятного состояния группировки сивучей Командорских островов.

Филопатрия и дисперсия. В 2001-2011 гг. меченые командорские сивучи были встречены на 25 лежбищах, расположенных от Курильских о-вов до Аляски. Максимальное расстояние дисперсии для самцов составило 2900 км от нательного лежбища (о. Сил Рок). На такую большую дистанцию от места рождения ушел только один молодой самец. Вдоль азиатского побережья России командорских самцов встречали от м. Серого до Курильских о-

вов включительно. Максимальное расстояние дисперсии для самок составило 670 км. Дальше 670 км уходили только одиночные неполовозрелые самцы.

На лежбищах, удаленных от Юго-Восточного более чем на 420 км (за исключением Авачинской бухты – 650 км от Юго-Восточного лежбища) наибольшей была вероятность обнаружения молодых самцов. В целом, за пределами натального лежбища, вероятность обнаружения молодых животных была выше, чем взрослых. Генерализованная модель линейной регрессии выявила достоверную зависимость вероятности обнаружения от половозрастной категории животных (ANOVA: Resid. Df=164.76, Resid. Dev. = 248, $p=0$). Отсутствовали статистически значимые зависимости вероятности встречи от дистанции (рис. 2.6.5) и от года наблюдений. Обнаружена достоверная зависимость от сочетания факторов «половозрастная категория» и «дистанция» (ANOVA: Resid. Df=38.21, Resid. Dev.= 243, $p=0$), «половозрастная категория» и «год наблюдений» (ANOVA: Resid. Df=370.43, Resid. Dev.= 240, $p=0$) и сочетания «половозрастная категория», «дистанция» и «год наблюдений» (ANOVA: Resid. Df=12.22, Resid. Dev.= 236, $p=0.006$).



jm – молодые самцы, am – взрослые самцы, jf – молодые самки, af – взрослые самки. Вертикальными линиями показана стандартная ошибка.

Рисунок 2.6.5 – Вероятность обнаружения сивучей разных половозрастных групп на отдельных лежбищах в зависимости от их удаленности от Юго-Восточного лежбища.

Несмотря на значительный масштаб дисперсии командорских сивучей, лишь 7,8% самок рожали щенков не на Юго-Восточном лежбище. Вне родного архипелага

размножалось только 3.9% командорских самок. Среди самцов 8% занимали гаремную территорию в репродуктивный период вне Юго-Восточного лежбища. Ни один самец не участвовал в размножении вне командорского архипелага. Всего 96.9% рожденных на Командорских островах сивучей размножалось на родном архипелаге. При этом за весь период исследований только один меченый не резидентный сивуч принимал участие в размножении на Командорских островах. Однако, часть самок командорской субпопуляции, пропуская сезон родов, спаривается на Камчатке и на следующий год рождает щенков на Командорских островах (рис. 2.6.6).

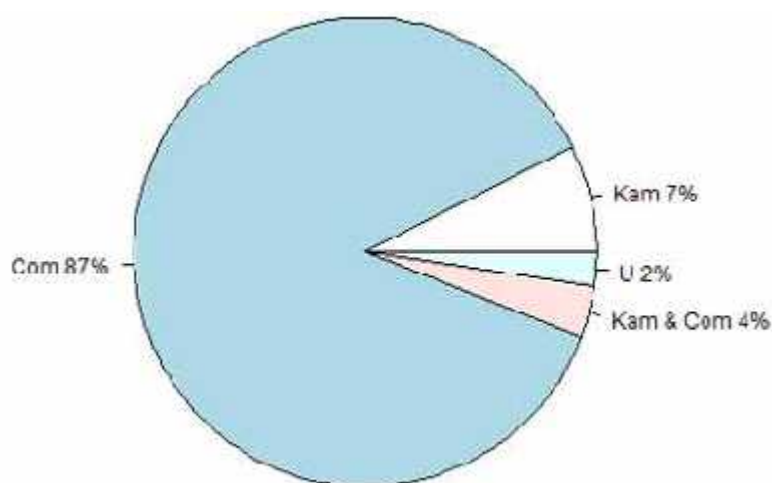
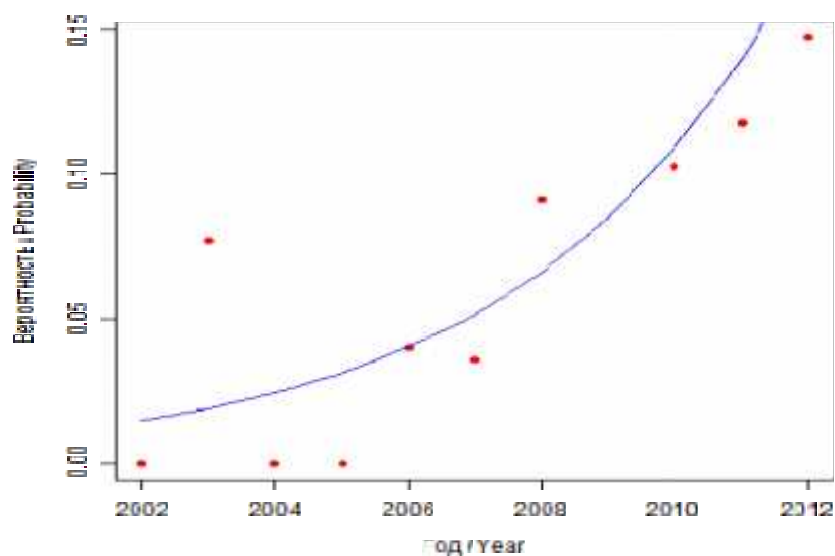


Рисунок 2.6.6 – Соотношение частоты использования районов для зачатия самками сивуча, рожавшими в 2002-2012 гг. на Командорских о-вах. Кам – Камчатка, Com – Командорские о-ва, Кам & Com – равновероятно на Камчатке и на Командорских о-вах, U – место спаривания неизвестно.

Вероятность спаривания на Камчатке для самок, рожающих на Командорских о-вах, зависела от года наблюдений ($p < 0,01$) и в 2012 г. составила почти 15% (рис. 2.6.7). Этот параметр не зависел от возраста самки и от сочетания факторов возраст самки и год наблюдений. Наименьший AIC индекс имела модель зависимости вероятности спаривания на Камчатке от года наблюдений.

Вероятность спариваний на Камчатке для командорских самок растет с годами. Такое увеличение может быть объяснено интенсификацией использования м. Козлова командорскими самками, пропускающими сезон родов, что связано с возросшей частотой яловости и снижением интенсивности использования родного Юго-Восточного лежбища.



Точки – эмпирические данные, линия – аппроксимация на основе модели

Рисунок 2.6.7 – Изменение вероятности зачатия плода на Камчатке для самок сивуча, рожавших на Командорских о-вах.

Функционирование сообщества настоящих тюленей в устье залива Пильтун (о. Сахалин)

Лежбище состоит из пяти изолированных участков. Каждый из этих участков различается открытостью для прибой и имеет собственную суточную и сезонную динамику береговой линии вследствие приливо-отливных явлений. Доступность каждого из участков для так же людей различается. Свойствами каждого из участков определяются принципиальные различия по срокам и активности их использования. На протяжении всех трех не ледовых сезонов тюлени предпочитали для залегания участок № 4. Однако в 2016 г. отмечена своеобразная сезонная динамика в использовании тюленими отдельных баров этого участка: по мере снижения антропогенной активности на южной (астрохской) косе (участок №3), основная масса залежки перераспределялись с морских баров на более защищённый от прибой остров в устье залива. Вторым по значимости в пределах лежбища был участок № 1.

Численность тюленей значительно менялась в течение суток (рис. 2.6.8). По-видимому, численность залегающих на берегу тюленей определяется особенностями гидрологического режима в районе устья, в частности, приливо-отливной цикличностью уровня моря. Как правило, наименьшей численность была в утренние и вечерние часы, совпадая с точками высокой воды. Суточные пики численности обычно приходились на середину дня (отлив).

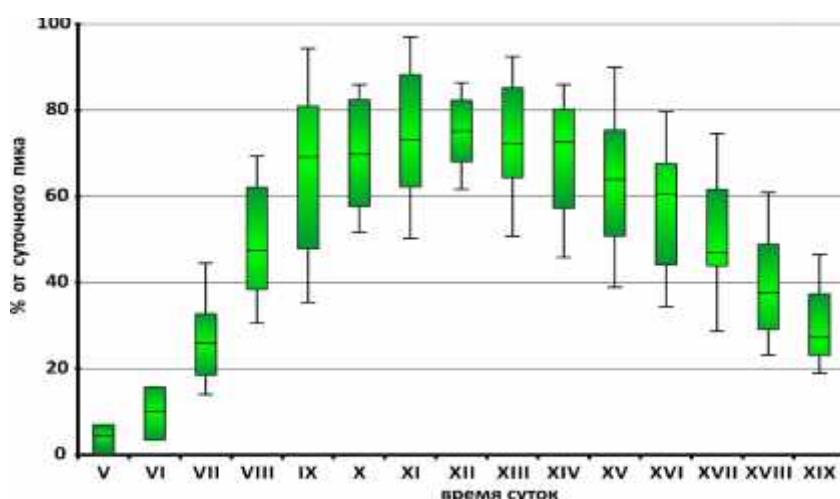


Рисунок 2.6.8 – Динамика суточной численности тюленей на лежбище залива Пильтун. Нормализация относительно суточного максимума ($Me \pm BCI_{Me}$, $p=0.05$, $R=1000$); размахом обозначен интерквартильный диапазон.

В сезонном отношении численность ластоногих менялась, следуя определённой закономерности: общее количество залегающих на суше тюленей росло от лета к осени и снижалось в октябре, по мере завершения не ледового периода [17]. На этапе роста была отмечена серия пиков численности, связанных, по-видимому, с динамикой доступных тюленям пищевых объектов (рис. 2.6.9). В ряду последних лет происходило снижение максимальной сезонной численности (в 2014 г. сезонный максимум составил 2620 особей, в 2015 г. – 2473 особей, в 2016 г. – 2024 особи). Зарегистрированная максимальная численность ластоногих на лежбище (25 сентября) была на уровне 2000 г. (~2000 особей; [22]) и превышала уровень 1999 г. (1715 особей). Распределение численности в 2016 имело признаки мультимодального, в противоположность унимодальным распределениям 2014 и 2015 гг. Было возможно выделить сразу три модальных класса численности (<300 особей; 300-1050 особей; >1050 особей), при этом число учетов "промежуточного" класса сократилось, по сравнению с предшествовавшими сезонами. Распределения указанных модальных классов статистически значимо различались между тремя сезонами (хи-квадрат, $p = 0.05$). Мультимодальные распределения могут сигнализировать незавершенный процесс перехода от одного унимодального состояния к другому. Причины изменения формы распределения остаются не выясненными.

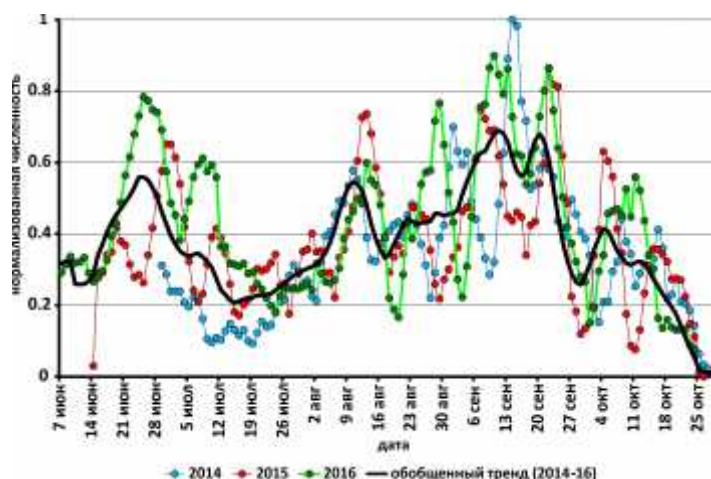


Рисунок 2.6.9 – Динамика нормализованной общей численности ластоногих (три вида) на лежбище в 2014-16 гг. Нормализация выполнена относительно многолетнего пика численности. Скользящее 5-дневное среднее.

В 2014-16 гг. уровень антропогенного влияния на тюленей в устье залива был значительным. Всего отмечено 1843 случая взаимодействия людей с тюленями. Чаще всего регистрировали автотранспорт (легковой (23.8 % случаев; взвешенное среднее, 3 года) и грузовой (14.4 % случаев) транспорт) и плав.средства (маломерные суда (31.9 % случаев) и вспомогательные суда (3.1 % случаев)). Реже отмечали вертолеты (14.8 % случаев) и пешеходов (7.8 % случаев). Суммарно 4.3 % случаев пришлось на комбинированные группы и иные категории транспортных средств. Наибольшее стрессирующее воздействие на тюленей оказывали плав.средства и пешеходы (~30 % контактов происходило с причинением тюленям значительного беспокойства). С 2014 по 2016 гг. отмечен значительный рост активности. В 2016 г. зарегистрировано 14 случаев появления дельфинов возле лежбища, против 2 случаев в 2014 г. и 4 случаев в 2015 г. В 2016 г. отмечен заход косаток непосредственно в залив Пильтун и охота дельфинов на фоцид. За три года от нападений косаток погибло не менее 10 тюленей (таблица 2.6.1). За 2014-16 гг. обнаружено 47 погибших тюленей. Гибель большинства тюленей была связана с антропогенной активностью, в том числе с прямым уничтожением рыбаками. Смертность от причин естественного характера (болезни, хищничество косаток) играла меньшую роль.

В течение лета 2016 г. через устье залива было проведено 12 барж. Как правило, в момент проведения барж через устье тюлени отсутствовали на берегу, или их число было минимальным. Вместе с тем, воздействие на тюленей оказывали суда ЭНЛ при выполнении вспомогательных работ, таких как промеры глубин и маркировка буями судового хода.

Таблица 2.6.1 – Причины гибели тюленей в пределах лежбища залива Пилтун и на прилегающей акватории.

Причина гибели	Сезон наблюдений		
	2014 год	2015 год	2016 год
Хищничество косаток	0* / 0** (0***)	1 / 2 (3)	7 / 0 (7)
Утопление / опосредованно связано с людьми	2 / 0 (2)	1 / 1 (2)	1 / 1 (2)
Огнестрельные раны / нанесенные людьми травмы	4 / 3 (7)	4 / 5 (9)	3 / 0 (3)
Естественные причины	0 / 0 (0)	1 / 0 (1)	0 / 0 (0)
Не установлено	0 / 0 (0)	0 / 10 (10)	0 / 1 (1)
Число тюленей, погибших от всех причин	6 / 3 (9)	7 / 18 (25)	11 / 2 (13)
Примечание-1-*данные, собранные непосредственно наблюдателями 2 - **данные, собранные респондентами вне пределов видимой части лежбища 3 - ***общее число погибших тюленей			

Всего в районе лежбища было отмечено 26 случаев активности судов ЭНЛ, не связанных непосредственно с буксировкой барж. Из них 8 случаев произошло в присутствии тюленей на берегу, из которых 3 было сопряжено с причинением тюленям острого беспокойства. Изменение ряда характеристик берегового сообщества тюленей (вероятностного распределения общей численности и характера использования тюленями различных баров участка №4) могло произойти в ответ на работу флота ЭНЛ.

Выводы:

1) Пики суточной численности могут выпадать на любое время дня, однако чаще приходятся на дневные часы. Суточная динамика численности определяется, в первую очередь, приливо-отливными явлениями.

2) В сезонном отношении динамика численности тюленей представлена серией возрастающих пиков численности, идущих с мая по октябрь. В ноябре численность тюленей уменьшается, по мере завершения не ледового периода. Прохождение пиков численности связано, в первую очередь, с динамикой доступных тюленям пищевых объектов.

3) В 2014-16 гг. уровень антропогенного влияния на тюленей в устье залива был значительным.

4) Операции, связанные непосредственно с проведением крупногабаритных барж через устье залива, происходили по полному приливу и не вызывали беспокойства у залегающих на берегу тюленей. Вспомогательные операции (промеры глубин, маркировка судового хода и т.п.) происходили в любое время и оказывали воздействие на ластоногих.

5) В сезоне 2016 г. ряд характеристик сообщества тюленей (вероятностное распределение численности, характер использования участков лежбища) находился в аномальном состоянии, что может косвенно свидетельствовать о негативной реакции тюленей на присутствие на акватории лежбища кораблей большого водоизмещения.

Список использованных источников

1 Челноков Ф.Г. Сивучи Юго-Восточного лежбища о. Медного в 1966–1971 гг. // Тез. докл. 5-го Всесоюз. совещ. по изучению мор. млекопит. Махачкала, 1972. Ч. 2. С. 128 - 131.

2 Перлов А.С. О снижении численности сивучей // Изучение, охрана и рациональное использование морских млекопитающих: тез. докл. 8-го Всесоюз. совещ. Астрахань, 1982. С. 284 - 285.

3 Braham H.W., Everitt R.D., Rugh D.J. Northern sea lion population decline in the eastern Aleutian Islands // J. Wildl. Manage. 1980. Vol. 44, № 1. P. 25 - 33.

4 Loughlin T.R., Perlov A.S., Vladimirov V.A. Range-wide survey and estimation of total number of Steller sea lions in 1989 // Mar. Mammal Sci. 1992. Vol. 83, № 3. P. 220 - 239.

5 Вэйт Д.Н., Бурканов В.Н. Питание сивуча (*Eumetopias jubatus*) в водах Дальнего Востока России в 2000-2003 гг. // Сб. науч. тр. по мат-лам 3-й междунар. конф. «Морские млекопитающие голарктики» (Коктебель, Украина, 11 – 17 октября 2004 г.). 2004. С. 150 - 153.

6 Бурканов В.Н., Трухин А.М., Джонсон Д. Случайный прилов сивучей (*Eumetopias jubatus*) при траловом промысле сельди (*Clupea harengus*) в западной части Берингова моря // Сб. науч. тр. по мат-лам 4-й междунар. конф. «Морские млекопитающие голарктики» (Санкт-Петербург, 10 – 14 сентября 2006 г.). 2006. С. 117-118.

7 Miller A., Trites A.W., Maschner H.D.G. Ocean climate changes and the Steller sea lion decline // Arctic research of the United States. 2005. V. 19. P. 54-63.

8 Waite J.N., Burkanov V.N., Andrews R.D. Prey competition between sympatric Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) and northern four seals (*Callorhinus ursinus*) on Lovushki Island, Russia // Canadian Journal of Zoology. 2012. V. 90. P. 110 - 127.

9 Бурканов В.Н., Алтухов А.В., Андрюс Р. И др. Краткие результаты учетов сивуча (*Eumetopias jubatus*) в водах России в 2006–2007 гг. // Сб. науч. тр. по мат-лам 5-й Междунар. конф. «Морские млекопитающие Голарктики». Одесса, 2008. С. 116-122.

10 Burkanov V.N., Loughlin T.R. Distribution and Abundance of Steller Sea Lions on the Asian Coast, 1720's-2005 // Mar. Fish. Rev. 2005. Vol. 67, № 2. P. 1 - 62.

10 Altukhov A.V., Burkanov V.N. Survival rate estimations for Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) on the Kuril Islands, Russia // 24th Conference of the European Cetacean Society (Stralsund, Germany, 22-24 March 2010). 2010. P. 86.

11 Bradford A.L., Weller D.W. Spotted seal haul-out patterns in a costal lagoon on Sakhalin Island, Russia // Mammal Study. 2005. V. 30. P. 145 - 149.

12 Trukhin A., Permyakov P. 2014 seasonal dynamics of pinnipeds on the haul-out in a mouth of Piltun Bay (Sakhalin). //Conf. proc. 21st Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. San Francisco, California, USA, 2015

13 Permyakov P., Trukhin A. Extent of anthropogenic impact on earless seals in Piltun Bay mouth (Sakhalin) depending on the type of disturbance. //Conf. proc. 21st Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. San Francisco, California, USA, 2015.

14 Трухин А.М., Пермяков П.А. Исследование ластоногих в заливе Пильтун в 2014 г. Отчет о НИР, выполненных в рамках двустороннего соглашения о сотрудничестве между ТОИ ДВО РАН и «Эксон Нефтегаз Лимитед» (заказ № A2294237DY1700). Владивосток. 2014. 55 с.

15 Трухин А.М., Пермяков П.А., Маметьев П.Г. Исследование ластоногих в заливе Пильтун в 2015 г. Отчет о НИР, выполненных в рамках двустороннего соглашения о сотрудничестве между ТОИ ДВО РАН и «Эксон Нефтегаз Лимитед» (заказ № A2294237DY2000). Владивосток. 2015. 62 с.

16 Трухин А.М., Пермяков П.А., Чесноков А.И. Сулягин Н.В. Исследование ластоногих в заливе Пильтун в 2016 г. //Отчет о НИР, выполненных в рамках двустороннего соглашения о сотрудничестве между ТОИ ДВО РАН и «Эксон Нефтегаз Лимитед» (заказ № A2294237DY2300). Владивосток. 2016. 61 с.

17 Мамаев Е.Г., Бурканов В.Н., Вертянкин В.В. Динамика численности и современное состояние репродуктивной группировки сивучей *Eumetopias jubatus* на о.

Медный (Командорские острова), 1991-1999 // Сб. науч. тр. по мат-лам 1-й междунар. конф. «Морские млекопитающие голарктики» (Архангельск, 21 – 23 сентября 2000 г.). С. 232 - 236.

18 Бурканов В.Н., Артюхин Ю.Б., Браун П., Вада А., Вада К., Вэйт Д., Засыпкин М.Ю., Калкинс Д., Неведомская И.А., Павлов Н.Н., Трухин А.М., Хошино Х. Краткие результаты обследования лежбищ сивуча в водах Дальнего Востока России в 2001 г. // Сб. науч. тр. по мат-лам 2-й Междунар. конф. «Морские млекопитающие Голарктики». Байкал, 2002. С. 56-59.

19 Merrick R.L., Loughlin T.R., Calkins D.G. Hot branding: a technique for long-term marking of pinnipeds // U.S. Department of Commerce, Seattle, WA 1996.

20 Calkins D.G., Pitcher K.W. Population assessment, ecology and trophic relationships of Steller sea lions in the Gulf of Alaska // Environmental assessment of the Alaskan continental shelf: U.S. Depart. of Commerce and U.S. Depart. of Interior, Final Rep. of Principal Investigators. 1982. Vol. 19. P. 447-546.

21 Трухин А.М., Блохин С.А. Особенности функционирования поливидового лежбища настоящих тюленей (Phocidae) в районе добычи углеводородного сырья на шельфе острова Сахалин // Экология. 2003. № 5. С. 358 - 364.

Глава 3 БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ИЗ ГИДРОБИОНТОВ

3.1 Изучение биологической активности и механизмов действия природных комплексов из водорослей и наземных растений

Ведение

Залив Петра Великого, крупнейший из заливов в Северо-Западной части Японского моря, является одним из богатейших районов дальневосточных морей по обилию и разнообразию населяющих его животных и растений [1, 2, 3]. Морские водоросли являются богатыми источниками биологически активных веществ (БАВ), таких как липиды, полисахариды, полифенолы, каротиноиды, пищевая клетчатка, белки, витамины, минералы и др. [4, 5]. Это открывает возможность разработки на основе извлечений из водорослей новых лекарственных препаратов и биологически активных добавок (БАД). Главной особенностью морских объектов является высокое содержание «морских» фосфолипидов, содержащих полиненасыщенные жирные кислоты семейства $n-3$. В составе морских водорослей еще присутствуют полифенольные соединения, в которых структурной единицей являются флороглюкинол (1,3,5-тригидроксibenзол), представляющие одну из наиболее значимых групп биологически активных веществ, обладающих фармакологической активностью. Однако работы, посвященные исследованию полифенольных комплексов из экстракта морской бурой водоросли *Saccharina japonica* и морской зеленой водоросли *Ulva lactuca* по сравнению с таковыми, освещающими свойства их полисахаридной составляющей, до сих пор не проводились. Также нет исследований, касающихся изучению влияния экстрактов из выше упомянутых морских водорослей при экспериментальных токсических гепатитах и стрессе.

На сегодняшний день лекарственные средства полифенольной природы являются препаратами-лидерами в терапии заболеваний печени. Наиболее изучены препараты, содержащие в качестве основного действующего вещества группу полифенольных флавоноидных соединений – силимарин, выделенных из экстрактов плодов расторопши пятнистой (*Silybum marianum* G.). Действие силимарина обусловлено антиоксидантной активностью. Однако препараты, содержащие силимарин, зарубежного производства (Легалон, ЛИВ 52, Карсил и др.), поэтому очевидна актуальность и необходимость поиска и изучения новых источников сырья, в частности, дальневосточных видов морских водорослей. Такими источниками являются сахарина японская (*Saccharina japonica*) и *Ulva*

lactuca. В основе структуры молекул полифенольных соединений из наземных растений и водорослей содержатся фенольные кольца с заместителями в виде гидроксильных групп. Происходит формирование системы сопряженных двойных связей и гидроксильных групп с высоко лабильной связью между атомом водорода и кислорода. Это обуславливает повышенную способность к отдаче и присоединению протонов и электронов, то есть проявлению окислительно-восстановительных и антиоксидантных свойств, что позволяет полифенольным соединениям играть роль ловушек свободных радикалов.

В настоящем исследовании анализируется химический состав экстрактов из морской бурой водоросли *Saccharina japonica* и морской зеленой водоросли *Ulva lactuca*, а также их влияние на восстановление функции печени в условиях экспериментальной модели токсического гепатита и стресса.

Водоросли залива Петра Великого Японского моря – перспективное сырье для фармакологических исследований

Морские бурые водоросли. Бурые водоросли (*Phaeophyta*), тип споровых растений, включающий 240 родов (1500 видов), из которых 3 - пресноводные, остальные - морские. Часто их можно встретить прикрепленными к камням в приливно-отливной зоне холодных морей. Крупные водоросли, которые относятся к группе ламинариевых, в ряде стран собирают и используют как удобрение или как источник йода, который они поглощают из морской воды. Многие виды используются в пищу, особенно на Дальнем Востоке. Все представители являются многоклеточными организмами. Данный вид водорослей получил свое название из-за бурого пигмента - фукоксантина ($C_{40}H_{56}O_6$) [6], который они содержат в хроматофорах. И хотя эти растения содержат и ряд других пигментов (хлорофилла, хлорофилл с, ксантофилл и бета-каротин), бурый все же доминирует и скрывает остальные. Внутренний слой содержит преимущественно волокна из целлюлозы, внешний пектиновый слой содержит альгиновую кислоту, ее натриевую соль, фукоидан и другие сульфатированные полисахариды. У бурых водорослей целлюлоза составляет от 1 до 10% от сухого веса таллома. Растворимые альгинаты входят в состав матрикса клеточной стенки, иногда на их долю приходится до 40% сухого веса таллома. Фукан (фукоидан или аскофиланы) - полимер L-фукозы и сульфатированных сахаров. Считается, что они играют важную роль в прикреплении зиготы и ее росте у фукусовых водорослей. Обычно в каждой клетке одно ядро. Хроматофоры большей частью мелкие, дисковидные. У некоторых видов бурых водорослей есть пиреноиды, мало похожие на пиреноиды других водорослей. В клетке вокруг ядра скапливаются бесцветные пузырьки с фукозаном, обладающим многими

свойствами танина. В качестве запасных продуктов в тканях бурых водорослей накапливаются маннит (многоатомный спирт) и ламинарин (полисахарид), реже масло [7].

Сахарина цикориеподобная (*Saccharina cichorioides* Miyabe).. Растет на скалистом, каменистом с песком и ракушей и на илисто-песчаном с камнями грунтах, в сублиторали до глубины 10-12 м, защищенных и подверженных умеренному волнению побережьях. Распространена в умеренных широтах приазиатской части Тихого океана, преимущественно в странах АТР: Японии, Кореи, России. В зал. Петра Великого растет от литорали до глубины 20 м (обычно до 12 м) на каменистых грунтах.

Сахарина японская (*Saccharina japonica*). Слоевище оливкового цвета, пластинчатое, длиной до 2-3,5 м, шириной до 20-35 см, прикрепляется ризоидами, отходящими от нижней части короткого стволика. Вегетирует около двух лет. Распространена в Желтом море, в Японском море у берегов Приморья до зал. Чихачева на Севере, у Северо-Восточного побережья о. Хонсю, у о. Хоккайдо, южных Курильских островов, у Юго-Западного и Южного Сахалина. Растет в чистых водах у берегов, омываемых теплым течением, от литорали до глубины 25 м (обычно до 12 м) на каменистом и скалистом грунтах.

Агарум решетчатый (*Agarum cribrosum*). Слоевище коричневое, пластинчатое, прикрепляется мутовкой ризоидов. Пластина кожистая, эллиптическая, длиной 0,3-1, шириной 0,2-0,3 м, сердцевидная в основании, волнистая или гладкая по краям, сильно перфорированная. Растение многолетнее. В зал. Петра Великого растет в сублиторали, обычно глубже 8 м, на различных грунтах.

Морские зеленые водоросли

В бухтах Японского моря отмечается большой запас биомассы зеленых водорослей (Отдел *Chlorophyta*, порядок *Ulvales*), в частности семейства Ульвовых (*Monostromaceae*). Распространенным видом является *Ulva lactuca*. Китай и Япония издавна их используют в пищу при приготовлении салатов. Растет на камнях, скалах, илистом грунте с песком, камнями и ракушей, на мелководье защищенных и подверженных умеренному волнению побережий. Вегетирует 3-5 раз за год. Зеленые водоросли отличаются наибольшим содержанием белков – 40-45%, куда входят бикарбоновые кислоты, аланин, лейцин. Также в значительных количествах содержатся белки, связанные с сахарами (лектины). Предполагают, что лектины зеленых водорослей являются димерными протеинами. В них обнаружены высокие концентрации аминокислот (глицина и серина). Кроме того, зеленые водоросли содержат свободные аминокислоты в количестве от 280-2060 мг на 100 г сухой массы, особенно богаты аргинином, аспарагиновой кислотой, пролином, серином,

глутаминовой кислотой [8]. Углеводов в зеленых водорослях – 30-35%, из которых растворимыми низкомолекулярными (моносахара и олигосахара) являются глюкоза, фруктоза, рамноза, галактоза, сахароза, ксилоза. Запасные полисахариды - крахмал и фруктан [9]. Известно, что в зеленых водорослях аккумулируются кумарины, способные абсорбировать ультрафиолетовые лучи [10]. Кумарины являются фенольными производными с характерными бензпироновыми ядрами. Присутствие в кумаринах орто-дигидроксильных групп придает им антиоксидантные свойства [11]. Содержание липидов в зеленых водорослях достигает 10%. В зеленых водорослях присутствует фосфатидилсерин (ФС), который является обычным компонентом высших растений, но отсутствует во всех других группах макро- и микроводорослей. Особенностью этого отдела водорослей является присутствие диацилглицерин-триметил-гомосерина (ДГТС). Два класса зеленых водорослей (*Chlorophyceae* и *Siphonophyceae*) различаются тем, что, во-первых, ФХ отсутствует или присутствует только в следах, а во вторых он является одним из главных фосфолипидов. В золе много цинка, меди, железа, кобальта и других элементов [12].

Морские водоросли – перспективные источники полифенольных антиоксидантов и эссенциальных фосфолипидов

На протяжении многих лет и до настоящего времени основными источниками новых природных соединений были и остаются высшие наземные растения. При этом совершенно неоправданно недооценивается значение морских водорослей, в особенности бурых, которые могут служить практически неисчерпаемыми источниками полифенольных комплексов. Человек традиционно, уже в течение длительного времени, использует в пищу целый ряд видов бурых водорослей, что дает возможность говорить об эволюционной биохимической адаптированности человеческого организма к комплексам веществ, содержащихся в них. Это предполагает низкую токсичность и высокую биологическую активность препаратов из водорослей. Известно, что высокая практическая ценность альгинатов, выделяемых из водорослей, привела к тому, что переработка морских бурых водорослей направлена в основном на их получение. При этом, из-за широкого диапазона температурных и кислотных характеристик процесса выделения альгината происходит необратимая деструкция таких важных биологически активных составляющих морских водорослей, как липидно-пигментная и полифенольная фракции.

Бурые водоросли накапливают большое количество полифенольных соединений (до 15% от сухой массы водоросли) [13], главным образом, флороглюкинола (1,3,5-тригидроксибензола) и его полимеров – флоротаннинов. Флоротаннины включают фуколлы

(I), флорэтолы (II), фукофлорэтолы, фугалола (III), изофугалола, а также галогенированные и сульфированные флоротаннины (IV) [14] (рисунок 3.1.1). Флоротаннины бурых водорослей являются ингибиторами фосфолипаз, липоксигеназ и циклооксигеназ, которые участвуют в синтезе биорегуляторов патогенеза ряда заболеваний [15]. Одно из ключевых свойств растительных полифенольных соединений - их антиоксидантная активность, в том числе способность подавлять процессы перекисного окисления липидов, белков, нуклеиновых кислот и других соединений, тормозить развитие синдрома пероксидации [16, 17, 18].

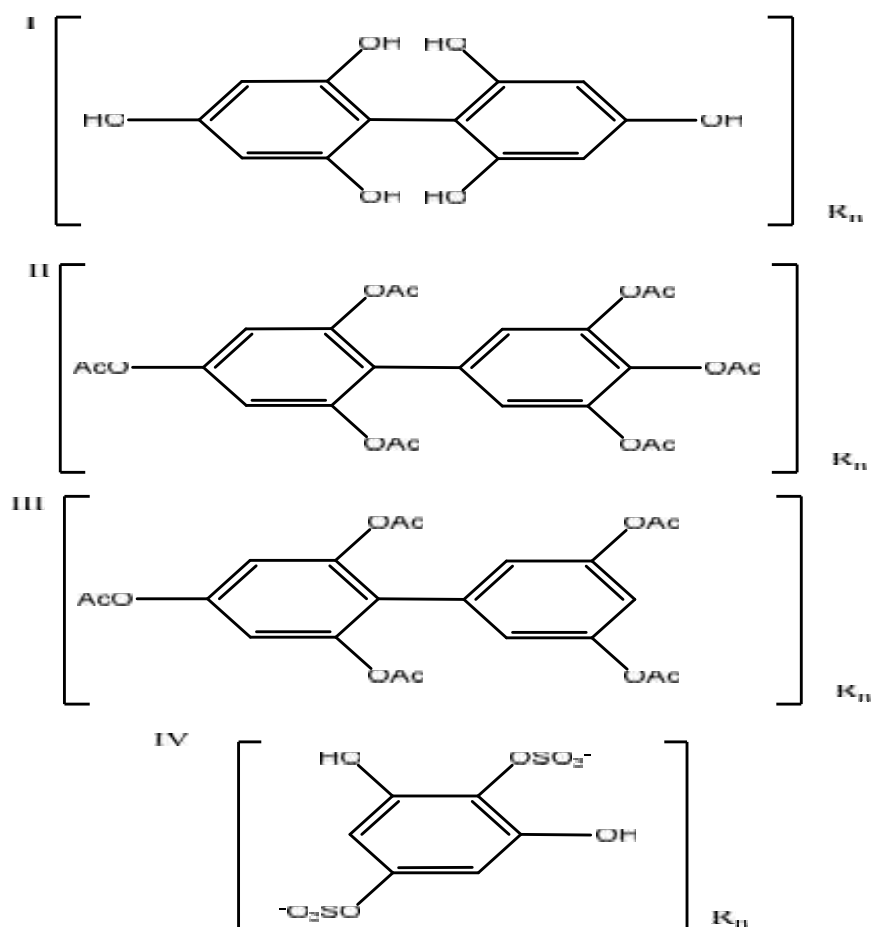


Рисунок 3.1.1 - Флоротаннины бурых водорослей [13, 14].

Как антиоксиданты, полифенольные соединения обладают рядом уникальных особенностей:

1. Подавляют перекисные процессы на самой первой - иницирующей стадии, выступая как «ловушки» супероксид-радикала и перекиси водорода, предотвращая образование последующих более токсичных продуктов.
2. Функционируют как «ловушки» активных форм кислорода - высокотоксичных гидроксил-радикала, синглетного кислорода, пероксинитрита, перекисей липидов, а также

свободных радикалов, образующихся при действии на организм ряда токсикантов, например, хлорсодержащих. Это так называемая «цепь-обрывающая» активность полифенолов.

3. Функционируют как эффективные «хелаторы», связывающие ионы переходных металлов, в том числе стимулирующих перекисные процессы, в силу чего эти соединения являются эффективными ингибиторами металлкаatalизируемого перекисного окисления липидов, белков и других веществ. По этому же механизму полифенолы защищают от окисления и аскорбиновую кислоту. Путем хелатирования полифенолы связывают и ионы токсичных тяжелых металлов, способствуя их элиминированию из организма.

4. Ингибируют ферментативные реакции, в которых продуцируются супероксид-радикал и перекись водорода (например, ксантиноксидазу, пероксидазная активность которой существенно возрастает при ишемии, и др.).

5. Оказывают защитное действие на ферменты антиоксидантной системы клетки, в частности, ферменты первой линии антиоксидантной защиты - супероксиддисмутазу, пероксидазу и др.

Таким образом, антиоксидантный эффект растительных полифенолов реализуется по комбинированному механизму и зависит от структуры этих веществ. Именно по этой причине наиболее эффективны комбинации или смеси полифенолов (в первую очередь природные) [19, 20]. В настоящее время общепризнанными являются следующие три молекулярных механизма антиоксидантного действия растительных полифенолов в биологических системах [21, 22]:

-)реакции с биорадикалами (антиоксидантное и антирадикальное действие);
-)связывание металлов с переменной валентностью (хелатирующее действие);
-)ингибирование прооксидантных ферментов.

Молекула фенола, вступая в реакцию с активным радикалом, участвующим в окислительной реакции, превращается в семихинонный радикал, который несет малую энергию и является долгоживущим низко-активным радикалом [23]. Данное свойство растительных полифенолов позволяет им, попав в живой организм, выступать в качестве независимой окислительно-восстановительной системы, которая способна как буферная емкость поглощать или отдавать протоны и электроны, влияя, таким образом, на редокс-потенциал всей системы, поддерживая постоянство окислительно-восстановительного гомеостаза. Полифенолы бурых водорослей рассматривают как потенциальные препараты для лечения тромбозов, а также как перспективные для лечения ревматизма, аллергии, атеросклероза, опухолей и воспаления [24]. Флоротаннины бурых водорослей являются

ингибиторами фосфолипаз, липоксигеназ и циклооксигеназ, которые участвуют в синтезе биорегуляторов патогенеза ряда заболеваний [15].

В числе биологически активных соединений водорослей значительный интерес представляют липиды. Липиды бурых водорослей богаты полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК), на долю которых приходится до 40% всех жирных кислот. Они обладают высокой биологической активностью, не синтезируются в организме человека, поэтому относятся к незаменимым в питании веществам. Чем больше число двойных связей в жирной кислоте, тем выше ее активность. В состав ПНЖК n-3 входят α -линоленовая, эйкозапентаеновая, докозагексаеновая; n-6 – линолевая, γ -линолевая, арахидоновая [25, 26, 27]. В работе [28] при исследовании водно-этанольных экстрактов бурых водорослей (*Laminaria cichorioides*, *Costaria costata* и *Fucus evanescens*) основными насыщенными жирными кислотами (ЖК) были миристиновая 14:0 и пальмитиновая 16:0 кислоты. Уровень олеиновой кислоты 18:1n-9, которую относят к главным ЖК бурых водорослей [27], в экстракте *C. costata* достигал 16,5% от суммы ЖК. Около 50% от суммы жирных кислот в экстрактах – это полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) с 18 и 20 атомами углерода: 18:2n-6, 18:3n-3, 18:4n-3, 20:4n-6 и 20:5n-3, что характерно для бурых водорослей. Исследования о биологической активности зеленых водорослей направлены в основном на исследования свойств сульфатированных полисахаридов, которые считаются наиболее интересной, с точки зрения применения в медицине [29].

На основании выше изложенного следует, что морские водоросли являются богатым источником соединений с хорошим потенциалом применения в медицине [30, 31, 32].

Анализ работ, посвященных изучению химического состава бурых и зеленых водорослей, позволяет сделать вывод о том, что морские водоросли содержат богатейший набор биологически активных веществ с разносторонней фармакологической активностью. Таким образом, морские водоросли и травы являются уникальным природным сырьем для производства лекарственных препаратов и БАД.

Универсальная активность полифенольных соединений морских водорослей определяется универсальностью синдрома пероксидации в генезе практически всех патологий. В обсужденных работах показано, что флоротаннины активны в отношении различных активных форм кислорода.

Перспективность использования экстрактов из морских водорослей определяется их выраженным антиоксидантным эффектом, что обусловит их применение как

гепатозащитных и стресс-протекторных средств. Это и определило направление, которое будет отражено в данном исследовании.

Материалы и методы

Экстракты из Saccharina japonica и Ulva lactuca. Экстракты готовили методом реперколяции. Измельченное сухое сырье экстрагировали 70% этанолом с целью освобождения от альгинатов, при соотношении сырья к экстрагенту 1:1 (об/об). Выход экстракта составлял 1 л из 1 кг сухого сырья.

Объектом экспериментальных исследований явились белые крысы линии Вистар, выведенные в питомнике лабораторных животных РАМН «Столбовая» (г. Чехов, Московская обл.). Для воспроизведения экспериментальных моделей использованы половозрелые самцы средней массой 180-200 г. [33]. В качестве препарата сравнения в модели токсического гепатита использовали известный коммерческий полифенольный препарат «Легалон®» (MADAUSAG, Германия), содержащий в качестве активного начала комплекс флавоноидов из экстракта плодов расторопши пятнистой (*Silybum marianum*). При моделировании стресса на животных в качестве препарата сравнения использовали полифенольный комплекс из аптечного экстракта элеутерококка – широко известного стресс-протектора.

Предварительно освобожденные от спирта экстракты из водорослей и элеутерококка (путем упаривания в вакууме) животным вводили в виде водных растворов внутривентрикулярно (по 0,4 мл/кг) в дозе, соответствующей 100 мг общих полифенолов на кг массы тела животного. Легалон вводили через зонд в той же дозе в виде взвеси в 1% крахмальном клейстере. Доза в 100 мг/кг соответствует известной терапевтической дозе для полифенольных гепатопротекторов [34]. Материалом исследования была ткань печени животных.

Повреждающие факторы. Острый стресс. Острый стресс моделировали вертикальной фиксацией животных за дорсальную шейную складку на 22 часа.

Инттоксикация четыреххлористым углеродом. Животным в течение 6 дней подкожно (дорсальная шейная складка) вводили 50% масляный раствор четыреххлористого углерода (ЧХУ) в дозе 2 мл/кг 1 раз в сутки [34].

Антиоксидантную защиту печени лабораторных животных определяли по уровню антирадикальной активности [35] и восстановленного глутатиона [36], перекисное окисление липидов - по концентрации малонового диальдегида [37]. В гомогенате печени определяли содержание лактата [38], пирувата [39], концентрацию никотинамидного кофермента

НАД⁺ (Klingenberg, 1984). Соотношение НАД⁺/НАДН рассчитывали по величинам концентраций лактата и пирувата [40]. Активность аланинаминотрансферазы (АлАТ) определяли с помощью стандартных наборов «Лаксма» (Чехия). Экстракты общих липидов из эритроцитов печени готовили по методу J. Folch et al. [41]. Измерение концентрации липидов в хлороформных растворах проводили методом S.V. Pande et al. [42]. Определение общих фосфолипидов в экстрактах проводили по методу В.Е. Васьковского и соавт. [43]. Микротонкослойную хроматографию липидов осуществляли по методу В.И. Светашева и В.Е. Васьковского [44]. Хроматографическое распределение нейтральных липидов проводили методом одномерной тонкослойной хроматографии на силикагеле в системе растворителей гексан : серный эфир : уксусная кислота в соотношении 90:10:1 об./об. Количественное определение фракций нейтральных липидов выполняли по методу J.S. Amenta [45]. Для разделения фосфолипидных фракций использовали метод двухмерной хроматографии [46].

Обработку результатов проводили с использованием статистического пакета InStat 3.0 (Graph Pad Software Inc. USA, 2005) с функцией проверки соответствия выборки закону нормального распределения. Для определения статистической значимости различий в зависимости от параметров распределения использовали параметрический t-критерий Стьюдента или непараметрический U-критерий Манна-Уитни. Различия считали статистически значимыми при $p < 0.05$.

Химический состав экстрактов из морской бурой водоросли *Saccharina japonica* и зеленой водоросли *Ulva lactuca*

Был исследован химический состав экстрактов *Saccharina japonica* и *Ulva lactuca* с целью изучения возможности их применения при экспериментальном токсическом гепатите и стрессе (таблицы 3.1.1, 3.1.2). При изучении состава липидного комплекса из экстракта сахарины японской было показано, что более 60% липидной фракции относится к категории мембранно-активных компонентов (табл. 3.1.1.).

Таблица 3.1.1 - Химический состав экстракта из *Saccharina japonica*

№	Показатели	Единицы измерения	Количество
1	рН		5,1 – 6,0
2	Спирт	%	70 ± 2
3	Сухой остаток	мг/мл	30,0 – 36,0
4	Общие полифенолы	мг-экв ГК /г сухой водоросли	30,5-33,0
5	Антирадикальная активность	мг-экв ГК/мг общих полифенолов	0,29-0,57

6	Липиды: общие нейтральные фосфолипиды	мг/мл - « - - « -	9,35±0,51 2,20±0,11 4,15±0,24
7	Фосфолипиды		
	Фосфатидилхолин Лизофосфатидилхолин Фосфатидилглицерин Фосфатидилэтаноламин Лизофосфатидилэтаноламин Фосфатидилсерин Фосфатидилинозит Фосфатидная кислота Дифосфатидилглицерин	% от суммы всех фракций	27,17±2,08 2,46±0,30 18,97±1,40 14,45±0,86 1,44±0,18 4,38±0,41 3,98±0,15 20,40±2,61 6,75±0,09
	Нейтральные липиды		
8	Диацилглицерины Триацилглицерины Свободные жирные кислоты Эфиры жирных кислот Холестерин Эфиры холестерина Остаточная фракция	% от суммы всех фракций	14,09±0,72 33,71±0,71 14,84±0,44 9,16±0,38 13,40±0,68 9,80±0,87 5,00±0,23

В качестве мембранно-активной фракции принимали сумму эссенциальных фосфолипидов и нейтральных липидов. Эссенциальные фосфолипиды составляли 65% мембранно-активной фракции липидов, при этом суммарное содержание основных структурных компонентов мембран фосфатидилхолина и фосфатидилэтаноламина, а также предшественника биосинтеза фосфолипидов – фосфатидной кислоты составляло более 60%.

Таблица 3.1.2 - Химический состав экстракта из *Ulva lactuca*

№	Показатели	Единицы измерения	Количество
1	pH		5,1 – 6,0
2	Спирт	%	70 ± 2
3	Сухой остаток	мг/мл	32,0 – 37,0
4	Общие полифенолы	мг-экв ГК /г сухой водоросли	10,85±1,28
5	Антирадикальная активность	мг-экв ГК/мг общих полифенолов	0,25-0,32
6	Липиды: общие нейтральные фосфолипиды гликолипиды	мг/мл - « - - « - - « -	16,70 7,85 5,85 3,00
Фракции нейтральных липидов (в % от суммы всех фракций)			
Диацилглицерины		12,16±0,54	
Холестерин		13,32±1,19	
Свободные жирные кислоты		11,11±1,02	
Триацилглицерины		33,49±1,39	
Эфиры жирных кислот		9,24±0,81	
Эфиры холестерина		8,75±0,62	

Остаточная фракция	11,93±1,00
Фракции фосфолипидов (в % от суммы всех фракций)	
Дифосфатидилглицерин	6,61±0,40
Фосфатидилглицерин	8,03±0,38
Фосфатидилэтаноламин	28,59±0,52
Фосфатидилхолин	7,95±0,57
Лизофосфатидилэтаноламин	7,62±0,53
Лизофосфатидилхолин	8,71±0,38
Фосфатидилинозит	12,91±0,47
Фосфатидилсерин	11,34±0,50
Фосфатидная кислота	8,24±0,38
Жирные кислоты (в % от суммы всех фракций)	
14:0	2,00±0,22
16:0	16,16±0,34
16:1 n-7	3,60±0,07
16:4 n-3	14,24±0,85
18:1 n-9	7,00±0,14
18:2n-6	7,40±0,22
18:3n-3	19,80±0,36
18:4n-3	21,20±1,15
20:4n-6	5,00±1,08
20:5 n-3	3,60±0,43

Как следует из полученных результатов, экстракт из морской бурой водоросли *Saccharina japonica* и морской зеленой водоросли *Ulva lactuca* содержат значимое количество общих полифенолов и эссенциальных фосфолипидов, что указывает на перспективность исследования этих видов морских водорослей в качестве источников пластических ресурсов для нормализации метаболических реакций в организме в условиях токсического гепатита и стрессового воздействия.

Гепатопротекторные свойства экстракта из бурой водоросли *Saccharina japonica*

В эксперименте использовали белых крыс-самцов линии Вистар массой 180-200 г, содержащихся на стандартном рационе в условиях вивария. Экспериментальную модель интоксикации четыреххлористым углеродом (ЧХУ) на животных разрабатывали согласно руководству [34]. Животным в дорзальную шейную складку вводили 50% раствор ЧХУ на оливковом масле в дозе 2 мл/кг на протяжении 4-х дней. В качестве препарата сравнения использовали коммерческий полифенольный препарат «Легалон»[®] (MADAUSAG, Германия). Экстракт из сахарины вводили внутривентрикулярно через зонд в виде водного раствора в дозе 100 мг общих полифенолов/кг массы животного. Легалон вводили через зонд в той же дозе в виде взвеси в 1% крахмальном клейстере. Животные были разделены на 5

групп по 10 крыс в каждой: 1-я группа - контроль (интактные, стандартный рацион); 2-я группа – ЧХУ; 3-я группа – депривация (прекращение введения токсиканта) в течение 7 дней; 4-я группа – депривация + экстракт из ламинарии в течение 7 дней; 5-я группа – депривация + легалон в течение 7 дней.

Инттоксикация ЧХУ сопровождалась увеличением относительной массы печени на 50% (4.72 ± 0.24 г/100 г массы тела против 3.14 ± 0.15 г/100 г массы тела в контроле; $p < 0.001$), сплошной зернистостью жировых включений, то есть проявлялась выраженная жировая инфильтрация. Животные при внешнем осмотре были слабо подвижны, плохо ели корм, шерсть была тусклой. Количество общих липидов в печени превышало контрольный уровень в 3.5 раза (142.09 ± 7.22 мг/г ткани против 42.17 ± 1.97 мг/г ткани в контроле; $p < 0.001$). Это объясняется увеличением содержания триацилглицеринов (ТАГ), холестерина (ХС) и свободных жирных кислот (СЖК), в среднем, на 15% ($p < 0.01$) (таблица 3.1.3).

Таблица 3.1.3 - Изменения в содержании нейтральных липидов в печени крыс после интоксикации четыреххлористым углеродом ($M\{m$)

Пара- метры	1 группа Контроль (интактные)	2 группа CCl_4	3 группа Депривация	4 группа Депривация +сахарина	5 группа Депривация +легалон
ТАГ	23.84 ± 0.33	26.51 $\pm 0.68^b$	29.18 $\pm 0.96^b$	24.00 $\pm 1.08^2$	25.80 $\pm 0.79^{3.a}$
СЖК	14.26 ± 0.44	16.55 $\pm 0.53^b$	17.90 $\pm 0.54^b$	13.06 $\pm 0.58^3$	15.15 $\pm 0.71^3$
ЭЖК	16.16 ± 0.51	13.55 $\pm 0.52^b$	13.19 $\pm 0.62^b$	16.12 $\pm 0.90^1$	14.69 $\pm 0.41^{1.a}$
ХС	17.55 ± 0.48	20.16 $\pm 0.40^b$	19.54 $\pm 0.55^b$	17.68 ± 0.74	18.68 $\pm 0.42^1$
ЭХС	17.24 ± 0.33	12.89 $\pm 0.59^b$	13.14 $\pm 0.68^b$	17.15 $\pm 0.75^2$	15.09 $\pm 0.77^{3.a}$
Остат. фракция	10.95 ± 0.23	10.34 ± 0.51	7.05 ± 0.89	11.99 ± 0.54	10.59 ± 0.82
Примечание - различия статистически достоверны при: ^a $p < 0.05$, ^b $p < 0.01$, ^в $p < 0.001$ по сравнению с контролем; ¹ $p < 0.05$, ² $p < 0.01$, ³ $p < 0.001$ по сравнению с 3-й группой. ТАГ – триацилглицерины, СЖК – свободные жирные кислоты, ЭЖК – эфиры жирных кислот, ХС – холестерин, ЭХС – эфиры холестерина.					

Одним из факторов повышения содержания ТАГ и СЖК является усиление периферического липолиза (стрессовая реакция на поступление ксенобиотика), в результате которого происходит выход жирных кислот и глицерина в печень из жировых депо с последующим их ресинтезом в ТАГ [50]. Увеличение количества ХС обусловлено угнетением митохондриального окисления Ац-КоА в цикле Кребса. Одновременно происходило снижение количества эфиров жирных кислот (ЭЖК) на 16% ($p<0.01$) и эфиров холестерина (ЭХС) на 25% ($p<0.001$). Такое соотношение липидных фракций свидетельствует о нарушении этерифицирующей функции печени.

Известно, что под действием свободных радикалов, образующихся при восстановительной дегалогенации ЧХУ цитохромом P450 [51], формируется структурная дезорганизация мембран эндоплазматического ретикула. Образующийся трихлорметил-радикал ($\bullet\text{CCl}_3$) в результате взаимодействия с кислородом превращается в трихлорметилпероксил-радикал ($\bullet\text{OOCCL}_3$) с последующим образованием каскада свободных радикалов, которые активно включаются в жирнокислотные цепи фосфолипидов. При этом запускается механизм перекисного окисления липидов, о чем свидетельствует почти трехкратное увеличение содержания малонового диальдегида (МДА) ($p<0.001$) (таблица 3.1.4). При исследовании показателей углеводного обмена после интоксикации ЧХУ отмечалось значительное снижение уровня глюкозы крови до 2.95 ± 0.14 ммоль/л, что на 36% ($p<0.001$) ниже контрольных значений (4.61 ± 0.25 ммоль/л). Это обусловлено истощением пула гликогена из-за активации гликогенолиза для восполнения субстратов 2-й фазы системы детоксикации ксенобиотиков (глюкуроновая кислота). Снижение содержания окисленной формы НАД^+ в печени на 30% ($p<0.001$) по сравнению с контролем свидетельствует о нарушении протекания аэробных процессов, в частности, реакций цикла Кребса. Наблюдаемое двукратное увеличение содержания лактата при одновременном снижении содержания пирувата на 28% ($p<0.01$), является результатом высокой интенсивности анаэробного гликолиза. В данном случае происходит активация пируват-лактатного челночного механизма для восстановления пула окисленной формы НАД^+ из НАДН.

Таблица 3.1.4 - Изменения биохимических показателей в печени крыс после интоксикации четыреххлористым углеродом (M^1m)

Параметры	1 группа Контроль (интактные)	2 группа CCl_4	3 группа Депри- вация	4 группа Депривация +сахарина	5 группа Депривация +легалон

Пируват мкмоль/г	0.176±0.009	0.127 ±0.013 ^б	0.162 ±0.008	0.184 ±0.006 ¹	0.180±0.008
Лактат мкмоль/г	2.46 ±0.27	4.69 ±0.22 ^б	3.46 ±0.29 ^а	2.60 ±0.17 ¹	2.60±0.21 ¹
НАД ⁺ мкмоль/г	0.348±0.013	0.244 ±0.018 ^б	0.241 ±0.017 ^б	0.334 ±0.019 ²	0.353±0.008 ³
НАД ⁺ /НАДН	645	244	422	613	624
МДА нмоль/г	30.7±1.9	81.3 ±3.0 ^б	68.3 ±2.9 ^б	35.5 ±2.8 ³	44.8±3.0 ^{б.3}
Г-SH мкмоль/г	3.41±0.15	2.65 ±0.14 ^б	1.59 ±0.12 ^б	3.29 ±0.20 ³	3.00±0.12 ^{а.3}
АРА мкмоль тролокса/г	5.65±0.30	2.98 ±0.15 ^б	3.26 ±0.19 ^б	5.18 ±0.29 ³	4.63±0.32 ^{а.2}
Примечание - различия статистически достоверны при: ^а p<0.05, ^б p<0.01, ^в p<0.001 по сравнению с контролем; ¹ p<0.05, ² p<0.01, ³ p<0.001 по сравнению с 3-й группой. МДА – малоновый диальдегид, Г-SH – восстановленный глутатион, АРА – антирадикальная активность.					

Уменьшение соотношения НАД⁺/НАДН до 244 (645 в контроле) указывает на сдвиг баланса окислительно-восстановительной системы в сторону образования восстановленных эквивалентов, что приводит к снижению активности НАД⁺-зависимых дегидрогеназ, блокированию аэробных процессов гликолиза, ингибированию глюконеогенеза и развитию в организме тканевой гипоксии [52]. Через 7 дней после отмены ЧХУ (период депривации) в печени опытных животных (3-я группа) большинство исследуемых биохимических параметров не восстановилось до контрольных значений, что свидетельствует о продолжающемся токсическом стрессе и недостаточности собственных защитных сил организма противостоять развитию токсической патологии. Относительная масса печени животных достоверно превышала контрольный уровень (4.10±0.13 г/100 г массы тела; p<0.05), при вскрытии имелись зернистые включения липидов. Количество общих липидов в печени в три раза превышало контрольный уровень (120.46±12.33 мг/г ткани; p<0.001), а содержание МДА - более, чем в два раза (p<0.001), что определяет продолжающуюся высокую активность перекисного окисления липидов. В спектре нейтральных липидов заметен дальнейший рост содержания ТАГ и СЖК, а также сохранение высокого значения ХС при одновременно низком уровне ЭХС и ЭЖК. Следовательно, в период депривации сохраняется низкая этерифицирующая функция печени и дальнейшее развитие жировой инфильтрации. Отмечалось еще большее снижение пула восстановленного глутатиона (на

53%; $p < 0.001$) и низкое значение АРА (на 42% ниже контроля; $p < 0.05$), что указывает на углубление развития свободно-радикальных процессов. Сохранялась высокая проницаемость мембран гепатоцитов, в пользу чего свидетельствовала повышенная на 34% ($p < 0.001$) активность АлАТ (58.03 ± 1.75 Ед/л). Исследование параметров углеводного обмена в период депривации показало повышенный, относительно контроля, на 41% ($p < 0.05$) уровень лактата и сниженный на 31% ($p < 0.001$) уровень НАД⁺. В связи с этим коэффициент соотношения НАД⁺/НАДН составлял 422, что указывало на сохраняющееся состояние тканевой гипоксии и угнетение аэробных процессов.

При введении животным экстракта из сахарины в период отмены ЧХУ (4-я группа) отмечалось восстановление исследуемых параметров до контрольных значений. Так, относительная масса печени снизилась до 3.26 ± 0.18 г/100 г массы тела, а количество общих липидов - до 42.65 ± 2.26 мг/г печени. То есть, препарат обладает выраженным гепатопротекторным эффектом, проявляющимся в снятии жирового перерождения печени. В то же время при сравнении исследованных биохимических показателей в печени крыс 4-й группы по сравнению с таковыми у животных 3-й группы (депривация), отмечались статистически достоверные отличия. Так, в составе фракций нейтральных липидов следует отметить снижение количества ТАГ на 18% ($p < 0.01$), СЖК на 25% ($p < 0.001$), а также увеличение содержания ЭЖК и ЭХС, соответственно, на 22% ($p < 0.05$) и 30% ($p < 0.01$), что указывает на восстановление этерифицирующей функции печени. Величина АРА была выше на 59% ($p < 0.001$), а восстановленного глутатиона - более чем в два раза при одновременном снижении содержания МДА на 48% ($p < 0.001$). По мнению авторов [53] антиоксидантную и антирадикальную функцию берут на себя полифенольные соединения, входящие в состав растительных препаратов как «ловушки» свободных радикалов. Активность АлАТ в крови составляла 43.79 ± 2.54 Ед/л, что свидетельствует о мембрано-стабилизирующих свойствах исследуемого экстракта. Данное явление обусловлено локализацией мономеров и низкомолекулярных олигомеров флоротаннинов в пределах липидного бислоя плазматических мембран [54], следствием чего и является снижение ее проницаемости. Уменьшение уровня лактата, увеличение пирувата и содержания НАД⁺ способствовало росту коэффициента НАД⁺/НАДН до 637, что предполагает нормализацию реакций аэробного гликолиза и снятию тканевой гипоксии.

При применении препарата сравнения «Легалон»[®] (5-я группа) отмечалась однонаправленность изменений изученных биохимических показателей, как и в 4-й группе, однако степень их выраженности была различной, что проявлялось в сохранении

достоверных отличий от контроля. Так, масса печени животных составляла 3.64 ± 0.16 г/100 г массы тела, а содержание общих липидов 47.31 ± 1.44 мг/г печени, что на 16% и 12% ($p < 0.05$), соответственно, превышало контрольные значения. Это согласуется с достоверно более высоким уровнем ТАГ (на 8%; $p < 0.05$), сниженным ЭЖК (на 9%; $p < 0.05$) и ЭХС (на 13%; $p < 0.05$). Кроме того, были зарегистрированы более низкие значения АРА (на 18%; $p < 0.05$) и восстановленного глутатиона (на 13%; $p < 0.05$), а также высокое содержание МДА (на 46%; $p < 0.01$). То есть, при введении легалона нарушенные токсикантом метаболические реакции полностью не восстановились и сохранились остаточные явления жировой инфильтрации печени. Однако при сравнении изученных параметров с таковыми в печени животных 3-й группы, прослеживается выраженная тенденция к их нормализации под действием препарата. Так, отмечалось снижение содержания лактата на 25% ($p < 0.05$) при одновременном увеличении окисленной формы НАД⁺ на 46% ($p < 0.001$) и коэффициента НАД⁺/НАДН до 624. Содержание ТАГ снизилось на 12% ($p < 0.001$), а количество ЭЖК и ЭХС возросло на 11% и 15% ($p < 0.05$), соответственно.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что экстракт из сахарины, содержащий комплекс флоротаннинов, проявляет выраженный защитный эффект в условиях воздействия гепатотоксического агента ЧХУ. Он способствует ускоренному восстановлению каскадов метаболических реакций углеводного и липидного обмена, антиоксидантного статуса печени экспериментальных животных. Таким образом, морская бурая водоросль *Saccharina japonica* является перспективным сырьевым источником для получения эффективных гепатопротекторов.

Антиоксидантные и стресс-протекторные свойства экстракта из морской зеленой водоросли *Ulva lactuca*

Эксперимент проводили на крысах-самцах линии Вистар массой 180-200 г, содержащихся в стандартных условиях вивария и на стандартном рационе питания. Острый стресс моделировали путем вертикальной фиксации животных за дорсальную шейную складку на 24 часа. Контрольные животные содержались в стандартных условиях вивария. Препараты вводились в желудок через зонд дважды: непосредственно перед вертикальной фиксацией и через 6 часов после первого введения. В качестве сравнения использовали коммерческий препарат «Эссенциале®» (полиненасыщенный фосфатидилхолин соевых бобов производства «Рон-Пуленк Рорер», Германия) [34], который вводили в виде водной эмульсии в дозе 80 мг/кг массы [55]. Экстракт *Ulva lactuca* перед введением освобождали от спирта путем упаривания в вакуумном испарителе, затем доводили дистиллированной водой

до требуемого объема. Разведение проводили таким образом, чтобы терапевтическая доза, принятая в данном исследовании, а именно 16 мг общих липидов на одно животное соответствовала 0.4 мл полученного разведенного препарата. Животные из группы «чистый стресс» получали дистиллированную воду в объеме равном объему вводимых препаратов.

В ходе исследования были выделены четыре группы животных по 10 крыс в каждой: 1-я – контроль (интактные); 2-я группа – вертикальная фиксация (чистый стресс); 3-я – вертикальная фиксация + экстракт из ульвы; 4-я группа – вертикальная фиксация + эссенциале. Крыс выводили из эксперимента декапитацией под легким эфирным наркозом с соблюдением правил и международных рекомендаций Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (Страсбург, 1986). После повреждающего воздействия подсчитывали индекс массы внутренних органов (надпочечники, тимус, селезенка) и количество изъязвлений на слизистой оболочке желудка. Индекс массы (ИМ) внутренних органов выражается в мг массы органа на 100 г массы тела животного.

Вертикальная фиксация крыс за дорсальную шейную складку в течение 24 часов вызывала снижение ИМ внутренних органов (тимус, селезенка) в среднем на 29-36% ($p < 0.01$) и увеличение ИМ надпочечников на 53% ($p < 0.001$) (таблица 3.1.5). Снижение весовых коэффициентов тимуса и селезенки при одновременной гипертрофии надпочечников свидетельствует об инволюции тимико-лимфатической системы, что связано с увеличенной секрецией корой надпочечников стероидных гормонов, вызывающих распад лимфоцитов и угнетение метаболических процессов в клетках тимуса и селезенки [56].

Таблица 3.1.5 - Влияние экстракта из морской зеленой водоросли *Ulva lactuca* и эссенциале на весовые коэффициенты внутренних органов и показатели антиоксидантной защиты печени крыс при стрессе ($M \pm m$)

Показатели	1 группа Контроль	2 группа Стресс	3 группа Стресс +ульва	4 группа Стресс +эссенциале
Тимус (мг/100 г массы)	66±4	47±5 ^б	62±5 ¹	60±4 ²
Селезенка (мг/100 г массы)	393±35	250±24 ^б	388±29 ²	340±26 ¹
Надпочечники (мг/100 г массы)	5.88±0.27	9.00±0.30 ^б	6.00±0.24 ³	6.64±0.26 ³
МДА (нмоль/г)	35.65±1.57	60.48±1.43 ^б	37.24±1.68 ³	45.38±1.70 ^{б,3}

ткани)				
СОД (усл. ед/мг белка)	14.00±0.53	18.76±0.69 ^в	13.88±0.70 ³	15.90±0.56 ^{а,2}
АРА (мкМ тролокса/г)	6.00±0.19	3.18±0.21 ^в	5.92±0.18 ³	5.12±0.14 ^{б,3}
Примечание. Изменения статистически достоверны при: ^а р<0.05, ^б р<0.01, ^в р<0.001 – при сравнении с контролем; ¹ р<0.05, ² р<0.01, ³ р<0.001 – со 2-й группой. Условные обозначения: МДА – малоновый диальдегид, СОД – супероксиддисмутаза, АРА – антирадикальная активность.				

Таким образом, уже на ранних стадиях стрессовой реакции возникают изменения в иммунокомпетентных органах. Показателем стрессированности при экстремальном воздействии является также появление язвенных поражений слизистых оболочек желудка. В группе стрессированных животных количество зафиксированных изъязвлений слизистой составило 2.6±0.1 шт/животное, в контроле - 0.

Важно отметить, что повреждающий эффект при стрессе не реализуется как отдельный изолированный феномен, а находится в тесной связи с чрезмерным усилением другого адаптивного эффекта стрессовой реакции, а именно, липотропного [56]. В результате усиленного выброса катехоламинов надпочечниками активируется периферический липолиз в жировой ткани, что сопровождается выраженными изменениями липидного обмена. Так, исследование показателей липидного обмена в печени стрессированных животных (2-я группа) выявило увеличение содержания триацилглицеринов (ТАГ) на 12% (р<0.01), свободных жирных кислот (СЖК) на 16% (р<0.001) и холестерина на 27% (р<0.001) по сравнению с контролем (1-я группа) (таблица 3.1.6.). В то же время в печени крыс этой группы отмечено достоверное снижение содержания эфиров жирных кислот (ЭЖК) и эфиров холестерина (ЭХС) в среднем на 22% (р<0.001), что характеризует нарушение этерифицирующей функции печени. Полученные данные свидетельствуют о мобилизации липидов как главных источников энергии, которые транспортируются из жировой ткани в виде СЖК. Поступая в печень, жирные кислоты в результате нарушения процессов митохондриального окисления, накапливаются в гепатоцитах и ресинтезируются в ТАГ, что обуславливает развитие жировой инфильтрации печени. При этом роль липидов в энергетике организма в условиях острого стресса значительно возрастает: энергетический обмен переключается с «углеводного» типа на «липидный» [57].

Изучение количественного состава фосфолипидов в ткани печени стрессированных животных (таблица 3.1.6) показало значительное повышение содержания их лизофракций по

сравнению с контролем. Одновременно были снижены уровни основных фосфолипидов - фосфатидилхолина (ФХ) и фосфатидилэтаноламина (ФЭ). Так, количество лизофосфатидилхолина (ЛФХ) во 2-й группе увеличилось на 49% ($p<0.001$), лизофосфатидилэтаноламина (ЛФЭ) – на 40% ($p<0.001$), а количество ФХ и ФЭ снизилось в среднем на 12-13% ($p<0.01$).

Таблица 3.1.6 - Влияние экстракта из морской зеленой водоросли *Ulva lactuca* и эссенциале на содержание фракций нейтральных липидов и фосфолипидов в печени крыс при стрессе (в % от суммы всех фракций; M±m)

Фракции липидов	1 группа Контроль	2 группа Стресс	3 группа Стресс +ульва	4 группа Стресс +эссенциале
Нейтральные липиды				
ТАГ	19.11±0.62	21.40±0.47 ^б	18.89±0.31 ³	19.64±0.20 ²
СЖК	16.89±0.33	19.60±0.31 ^б	17.12±0.34 ³	17.96±0.24 ^{а,3}
ЭЖК	17.50±0.20	13.62±0.31 ^б	17.33±0.26 ³	16.41±0.22 ^{а,3}
ХС	18.13±0.37	23.00±0.30 ^б	17.92±0.28 ³	19.82±0.29 ^{а,3}
ЭХС	17.00±0.16	13.18±0.26 ^б	17.28±0.20 ³	15.66±0.21 ^{а,3}
Остаточная фракция	10.37±0.48	9.30±0.17	11.46±0.63	10.51±0.47 ^{б,3}

Продолжение таблицы 3.1.6

Фосфолипиды				
ФХ	39.11±1.17	34.32±0.95 ^б	39.70±0.80 ³	37.32±0.87 ¹
ЛФХ	5.26±0.14	7.86±0.15 ^б	4.97±0.18 ³	5.32±0.15 ³
СМ	10.66±0.21	13.19±0.17 ^б	11.05±0.24 ³	12.08±0.208 ^{б,3}
ФЭ	23.08±0.31	20.15±0.27 ^б	22.81±0.32 ³	22.09±0.24 ^{а,3}
ЛФЭ	5.05±0.12	7.10±0.18 ^б	4.86±0.17 ³	5.96±0.17 ^{б,3}
ФС	3.00±0.10	4.14±0.09 ^б	2.97±0.13 ³	3.53±0.09 ^{б,3}
ФИ	6.00±0.14	6.19±0.15	6.12±0.12	6.07±0.18
ФК	2.73±0.07	3.12±0.06 ^б	2.50±0.06 ³	3.00±0.05 ^б
ДФГ	5.11±0.18	3.93±0.10 ^б	5.05±0.17 ³	4.63±0.11 ^{а,3}

Примечание. Изменения статистически достоверны при: ^а $p<0.05$, ^б $p<0.01$, ^в $p<0.001$ – при сравнении с контролем; ¹ $p<0.05$, ² $p<0.01$, ³ $p<0.001$ – со 2-й группой. Условные обозначения: ТАГ – триацилглицерины, СЖК – свободные жирные кислоты,

ЭЖК – эфиры жирных кислот, ХС – холестерин, ЭХС – эфиры холестерина, ФХ – фосфатидилхолин, ЛФХ – лизофосфатидилхолин, СМ – сфингомиелин, ФЭ – фосфатидилэтаноламин, ЛФЭ – лизофосфатидилэтаноламин, ФС – фосфатидилсерин, ФИ – фосфатидилинозит, ФК – фосфатидная кислота, ДФГ – дифосфатидилглицерин.

Известно, что при стрессе активируется фосфолипаза A_2 [58], обуславливая накопление продуктов гидролиза фосфолипидов. Кроме того, на 23% ($p < 0.001$) снизилось содержание основного структурного компонента мембран митохондрий – дифосфатидилглицерина (ДФГ), колебания которого служат индикатором состояния энергообразовательных процессов в клетке. Повысилось содержание фосфатидилсерина (ФС) на 38% ($p < 0.001$) и сфингомиелина (СМ) на 24% ($p < 0.001$), что является компенсаторной реакцией на повышение проницаемости мембран. Таким образом, в результате стресс-воздействия происходит разбалансировка в соотношении фосфолипидных фракций, при этом немаловажное значение имеет инициируемое стрессом перекисное окисление липидов, о чем свидетельствует почти двукратное повышение содержания малонового диальдегида (МДА) в ткани печени (таблица 3.1.6). Образование в больших количествах лизофосфолипидов, оказывающих детергентное действие, сопровождается снижением вязкости и повышением текучести мембран. Избыточное образование лизоформ и перекисное окисление фосфолипидов обуславливают повреждение мембран гепатоцитов.

В системе антиоксидантной защиты при стрессе происходит напряжение в результате избыточного образования свободных радикалов [59], о чем свидетельствует повышение активности супероксиддисмутазы (СОД) на 34% ($p < 0.01$) и снижение уровня антирадикальной активности (АРА) в 2 раза ($p < 0.001$).

Введение на фоне острого стресса экстракта из *Ulva lactuca* и препарата сравнения эссенциале (3-я и 4-я группы) оказывало стресс-протекторное действие, о чем свидетельствует уменьшение выраженности инволюционных изменений тимуса и селезенки (ИМ тимуса возрастает на 32% и 28%, селезенки – на 55% и 36%, соответственно, по сравнению со 2-й группой). Одновременно отмечалось достоверное снижение ИМ надпочечников в 1,3-1,5 раза и не было зафиксировано язвенных изъязвлений слизистых оболочек желудка (таблица 3.1.6).

В период стрессового воздействия у крыс, получавших экстракт из *Ulva lactuca* и эссенциале, значения исследуемых показателей липидного обмена приближались к контрольным величинам, однако имели разную степень выраженности. Так, при введении эссенциале, уровень СЖК превышал таковой в контрольной группе на 6% ($p < 0.05$), а ХС – на 9% ($p < 0.05$), в то время как при введении экстракта из ульвы, достоверных различий не

выявлено. При сравнении со 2-й группой (чистый стресс) количество ХС в печени крыс, получавших эссенциале, было ниже в среднем на 14% ($p < 0.001$). Под действием же экстракта из ульвы это снижение составило 22% ($p < 0.001$). Что касается изменений во фракции ЭХС, то при введении эссенциале ее содержание было выше такового при «чистом стрессе» на 19% ($p < 0.001$), тогда как при введении экстракта – на 31% ($p < 0.001$).

Таким образом, эссенциале не полностью подавлял жировую инфильтрацию печени и сохранял ее этерифицирующую функцию. В то же время экстракт из ульвы проявил высокую эффективность в подавлении жировой инфильтрации печени и сохранении ее этерифицирующей функции.

Изменения фосфолипидного состава печени крыс в 4-й группе (эссенциале) также носили аналогичную направленность, что и в 3-й группе (ульва), но были менее выражены. Так, введение эссенциале животным привело к снижению содержания ЛФХ на 32% ($p < 0.001$) и ЛФЭ на 16% ($p < 0.001$) по сравнению со 2-й группой. В то же время под влиянием экстракта из ульвы уровень ЛФХ снизился на 37% ($p < 0.001$), а количество ЛФЭ - на 31% ($p < 0.001$). Среди других фосфолипидных фракций печени крыс 3-й и 4-й групп отмечалось равнозначное повышение количества ФХ на 16 и 9% ($p < 0.001$), ФЭ - на 13 и 10% ($p < 0.001$) и снижение ФС - на 28 и 15% ($p < 0.001$), соответственно. Также в печени этих животных увеличилось количествоДФГ на 28 и 18% ($p < 0.001$) по отношению к показателям 2-й группы «чистый стресс», что указывает на активацию процессов синтеза АТФ под действием исследуемых препаратов.

Таким образом, введение экстракта из ульвы и эссенциале препятствовало нарушению липидного обмена в условиях стресса, однако действие экстракта из ульвы оказалось более эффективным. По-видимому, основной причиной наблюдаемых различий является то, что биологической активности полиненасыщенного фосфатидилхолина из соевых бобов, входящего в состав эссенциале, противопоставлен многокомпонентный липидный комплекс из ульвы продырявленной. Проявленная эффективность экстракта, по нашему мнению, обусловлена наличием в его составе практически всех известных классов фосфолипидов морского происхождения, обладающих репаративными свойствами (патент RU 2528898). При этом их жирно-кислотный состав отличается высокой степенью ненасыщенности и содержит ПНЖК семейства n-3, необходимые для преобразования лизофосфолипидов в основные структурные компоненты мембран иметаболически активные фракции фосфолипидов.

Введение экстракта из ульвы (3-я группа) на фоне стресс-воздействия оказывало также существенное антиоксидантное действие, о чем свидетельствует достоверное снижение содержания МДА в гомогенатах печени на 38% ($p < 0.001$), а также активности СОД на 26% ($p < 0.001$) по сравнению с «чистым стрессом» (таблица 3.1.6.). При этом существенно возросло значение АРА печени в среднем на 80% ($p < 0.001$). У животных, получавших эссенциале на фоне стресса (4-я группа), исследуемые антиоксидантные показатели имели лишь тенденцию к стабилизации, но все еще достоверно отличались от контроля. В то время как под действием экстракта из ульвы, эти показатели не имели достоверных различий с контрольными значениями.

З а к л ю ч е н и е

На основании выше изложенного следует отметить, что в период реадaptации (депривация после интоксикации ЧХУ) наблюдалась слабая тенденция к восстановлению липидной составляющей мембран эритроцитов. Причем, большинство показателей продолжало сохранять статистически достоверные различия с контролем. В отличие от этого у крыс, которым вводили экстракт из сахарины или легалон в период депривации, отмечалось полное восстановление метаболических реакций. Введении экстракта ульвы в период стресса способствовало сохранению весовых значений тимуса, селезенки и надпочечников, а также показателей углеводного обмена и антиоксидантной защиты печени крыс.

*Применение экстракта из *Ulva lactuca* для профилактики нарушений антиоксидантной защиты организма студентов*

В ранее проведенных исследованиях на модели токсического гепатита у крыс было показано, что экстракт из ульвы обладает гепатопротекторным и антирадикальным действием, нормализует липидный обмен и процессы перекисного окисления липидов [64]. Выраженный защитный эффект экстракта из ульвы обусловлен сочетанным действием входящих в его состав фосфолипидов «морского» происхождения, полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) семейства $n-3$, а также антиоксидантных полифенолов [64]. Липидная фракция, выделенная из экстракта ульвы содержит до 70% мембраноактивных липидных компонентов, включая не менее 20% эссенциальных фосфолипидов и свыше 55% полиненасыщенных жирных кислот семейства $n-3$. Также в составе водорослевого экстракта, наряду с липидным комплексом, присутствует фенольная фракция флоротаннинов, относящаяся к особой группе вторичных метаболитов и обладающая высокой антиоксидантной активностью.

Проведенные экспериментальные исследования и отмеченный высокий биологический эффект экстракта из ульвы послужили основанием для использования его как функционального ингредиента в составе функционального пищевого продукта и изучения его влияния на состояние организма студентов, испытывающих умственное и психоэмоциональное напряжение в период учебной нагрузки. В состав 100 мл продукта входила протертая (пюрированная) мякоть тыквы обыкновенной (*Cucurbita pepo* L.), из которой предварительно были удалены семена и корковая оболочка и экстракт из *Ulva lactuca* (3,5%), что соответствовало допустимой терапевтической дозе общих липидов 100 мг и общих полифенолов 100 мг [34]. Также в состав входили вода, сахар, и лимонная кислота (регулятор кислотности). Зрелый тыквенный фрукт считается очень полезным для здоровья, так как содержит различные биологически активные компоненты, такие как полисахариды, каротиноиды, пищевые волокна, витамины, минералы, пектины, пептиды, органические кислоты и др. [66].

В задачу исследования входило изучение показателей антиоксидантной защиты организма студентов, как критерия прогноза состояния их здоровья и работоспособности.

Целью работы явилось применение функционального пищевого продукта, состоящего из экстракта ульвы и тыквенного пюре, для адаптации организма студентов к учебной нагрузке.

В исследовании участвовали юноши в возрасте 18-20 лет, обучавшиеся в Дальневосточном федеральном университете, которые были здоровы и дали информированное согласие на участие. После биохимического исследования крови натощак им было предложено ежедневно утром принимать по 100 мл свежеприготовленного функционального пищевого продукта. Повторный отбор крови проводили через 1,5 мес по окончании исследования. Контрольной группой сравнения явились здоровые доноры сопоставимого возраста, находящиеся в условиях обычной жизнедеятельности. Таким образом, в ходе исследования были сформированы 3 группы: 1-я группа (контроль) – 10 здоровых доноров; 2-я группа – 11 студентов в период учебной нагрузки до приема функционального пищевого продукта; 3-я группа – 11 студентов 2-й группы, которым после биохимического исследования крови было предложено принимать функциональный пищевой продукт в течение 1,5 мес.

Сравнительный анализ исходных биохимических показателей крови студентов (2-я группа) с таковыми величинами у здоровых доноров (1-я группа) показал снижение уровня восстановленного глутатиона (Г-SH) на 13% ($p < 0,01$) и активности глутатионредуктазы (ГР)

на 12% ($p<0,001$) - фермента, выполняющего главную роль в поддержании определенной концентрации Г-SH внутри клетки (таблица 3.1.7).

Таблица 3.1.7 - Показатели состояния антиоксидантной системы и уровня малонового диальдегида в крови студентов до- и после приема функционального пищевого продукта с экстрактом морской зеленой водоросли *Ulva lactuca* ($M\pm m$)

Показатели	1-я группа Контроль (здоровые доноры)	2-я группа (студенты) До приема функционального пищевого продукта	3-я группа (студенты) После приема функционального пищевого продукта
Супероксиддисмутаза (усл. ед. активности)	842 $\pm$ 12	876 $\pm$ 4,45 ¹	843 $\pm$ 2,57 ^B
Глутатионпероксидаза (нмоль НАДФН/ мин/мл)	176.0 $\pm$ 6,7 0	125.9 $\pm$ 3,38 ³	172.8 $\pm$ 3,93 ^B
Глутатионредуктаза (нмоль НАДФН/ мин/мл)	28.18 $\pm$ 0,3 0	24.73 $\pm$ 0,90 ³	27.10 $\pm$ 0,69 ^B
Восстановленный глутатион (мкмоль/г Hb)	5.53 $\pm$ 0,13	4.83 $\pm$ 0,14 ²	5.21 $\pm$ 0,11 ^a
Антирадикальная активность (мкмоль тролокса/мл)	12.30 $\pm$ 0,16	11.17 $\pm$ 0,11 ³	11.68 $\pm$ 0,10 ^{1,6}
Малоновый диальдегид (мкмоль/мл)	3.54 $\pm$ 0,11	3.93 $\pm$ 0,16 ¹	3.60 $\pm$ 0,15
Примечание - Различия статистически значимы при: ¹ – $p<0,05$; ² – $p<0,01$; ³ – $p<0,001$ по сравнению с контролем; ^a – $p<0,05$, ⁶ – $p<0,01$, ^B – $p<0,001$ по сравнению со 2-й группой.			

Активность другого ключевого фермента глутатионного звена – глутатионпероксидазы (ГП), катализирующей восстановление перекисей и гидроперекисей, также была снижена на 28% ($p<0,001$). В то же время активность супероксиддисмутаза (СОД) была несколько повышена (на 4%, $p<0,05$). Данный фермент выступает не только, как мощный ингибитор окислительных процессов, удаляя высокотоксичные радикалы супероксиданиона, но и предотвращает лизис эритроцитов, участвуя в поддержании стабильности мембраны и формы эритроцитов [67].

Одновременно в крови студентов отмечалось снижение уровня общей антирадикальной активности (АРА) на 9% ($p<0,001$) и увеличение содержания малонового диальдегида (МДА) на 11% ($p<0,001$), что является подтверждением повышенной генерации свободных радикалов. Увеличение концентрации МДА в крови определяет активацию процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ), а также повышение проницаемости

мембран. О происходящих изменениях в мембранах свидетельствуют результаты, полученные при определении осмотической резистентности эритроцитов к изменению концентрации NaCl. Так, начало гемолиза происходило при концентрации NaCl $0.47 \pm 0.01\%$, а завершение при $0.41 \pm 0.01\%$ ($p < 0.001$). В норме начало гемолиза происходит при $0.45 \pm 0.01\%$ NaCl, а завершение при $0.35 \pm 0.01\%$ NaCl. То есть, из-за повышенной проницаемости мембран в эритроцитах студентов отмечалось раннее начало и раннее завершение гемолиза, что свидетельствует о пониженной устойчивости мембран эритроцитов к гемолизирующему агенту.

Таким образом, анализ биохимических показателей крови студентов в период учебной нагрузки свидетельствует об изменениях в системе антиоксидантной защиты организма, нарушении баланса выработки кислородных радикалов и их инактивации, что обуславливает повышение ПОЛ и проницаемость клеточных мембран. Эти изменения в дальнейшем могут привести к развитию оксидативного стресса.

Для сохранения антиоксидантной защиты и предотвращения развития оксидативного стресса студентам было предложено принимать диетарные антиоксиданты в виде функционального пищевого продукта - тыквенного пюре с экстрактом ульвы. После приема продукта (3-я группа) в течение 1,5 мес в крови студентов отмечалось восстановление антиоксидантных показателей до контрольных величин (таблица). В то же время при сравнении исследованных показателей в 3-й группе с таковыми величинами до приема продукта (2 группа) отмечалось увеличение уровня Г-SH на 8% ($p < 0.05$), активности ГР на 10% ($p < 0.05$) и ГП на 37% ($p < 0.05$), а также снижение активности СОД на 4% ($p < 0.01$). Уровень АРА превышал соответствующий показатель на 5% ($p < 0.05$), а содержание МДА было ниже исходных величин на 8% . При исследовании осмотической резистентности эритроцитов после приема функционального продукта отмечался сдвиг порога начала и завершения гемолиза по сравнению с таковыми величинами во 2 группе (начало при $0.43 \pm 0.01\%$, $p < 0.05$, а завершение при $0.33 \pm 0.01\%$, $p < 0.001$). Это является положительным фактором, так как мембрана эритроцитов стала более устойчивой к воздействию гемолизирующего агента.

Заключение

Изложенные в отчете экспериментальные данные посвящены одному из главных направлений биотехнологии – изучению химического состава и биологической активности разработанных в лаборатории биохимии препаратов из морской бурой водоросли *Saccharina*

japonica (патент RU № 2405562) и морской зеленой водоросли *Ulva lactuca* (патент RU № 2528898).

Применение экстрактов из морских водорослей, содержащих комплексы флоротаннинов и эссенциальных фосфолипидов, при токсическом гепатите и стрессе является перспективным направлением.

Биохимический механизм действия экстрактов из водорослей обусловлен тем, что комплекс олигомерных флоротаннинов, который присутствует в экстрактах [60], характеризуется наличием разветвленной структуры сопряженных двойных связей. Данная структура обладает высокой подвижностью электронной плотности, поэтому может выступать в качестве универсальной донорно-акцепторной системы, способной как поглощать, так и отдавать электроны, нормализуя, таким образом, биохимические процессы, проходящие с участием переноса заряженных частиц. Благодаря этой особенности основными факторами биологической активности флоротаннинов являются антиоксидантное и мембраностабилизирующее действие, которое обусловлено прямым участием флоротаннинов в восстановительных процессах, протекающих более эффективно, чем в условиях чистой депривации. Антиоксидантное действие полимерных таннинов определяется, как способностью напрямую улавливать активные формы кислорода [60], так и опосредованно, способствуя восстановлению пула низкомолекулярных антиоксидантов [61]. Мембраностабилизирующий эффект объясняется как прямым ингибирующим действием флоротанинов на активность фосфолипаз и липоксигеназ [15], так и их способностью образовывать флоротанин-протеиновые комплексы на поверхности мембран [62], защищая их от действия свободных радикалов. Преимущество восстанавливающего эффекта действия экстракта из сахарины, по нашему мнению, определяется полимерным строением флоротаннинов, что обеспечивает более высокую антиоксидантную активность, по сравнению с мономерными флавоноидами препарата сравнения «Легалон»[®]. Они обладают более жесткой электронной структурой и способны образовывать феноксильные радикалы, являющиеся прооксидантами [63].

Биологический эффект экстракта ульвы обусловлен, по нашему мнению, тем, что в составе водорослевого экстракта, наряду с липидным комплексом, присутствует фенольная фракция, относящаяся к особой группе вторичных метаболитов и обладающая антиоксидантной активностью [64]. И хотя, зеленые водоросли существенно уступают бурым водорослям в отношении содержания полифенолов, но которые также обладают способностью связывать свободные радикалы, нейтрализуя их поражающее действие в

организме [65], что и обуславливает антиоксидантный эффект экстракта из *Ulva lactuca*. Следовательно, применение экстракта из *Ulva lactuca* при экстремальном стресс-воздействии сопровождалось выраженным профилактическим действием, которое проявлялось в сохранении весовых коэффициентов внутренних органов животных, липидного обмена, антиоксидантной защиты печени и снижении уровня перекисного окисления липидов. На основании полученных данных можно констатировать, что при стрессовом воздействии экстракт из *Ulva lactuca* не уступал препарату сравнения «Эссенциале®», а по некоторым исследованным параметрам (нейтральные липиды, фосфолипиды, МДА, АРА) даже превосходил таковой. Ульва является перспективным видом сырья для получения стресс-протекторных препаратов и пищевых добавок в продукты питания функционального назначения.

В период обучения в ВУЗе влияние интенсивной учебной нагрузки и психоэмоциональных факторов сопровождается выраженной картиной изменений метаболических процессов, характерных при воздействии стресса [68]. Это приводит к нарушению активности ферментного звена антиоксидантной защиты, активации свободно-радикальных процессов и развитию, впоследствии, оксидативного стресса, который может стать причиной ухудшения физического состояния и развития хронических заболеваний и их осложнений, таких как диабет, ожирение, сердечно-сосудистые болезни, опухоли и др. [69]. Профилактический прием функционального пищевого продукта, состоящего из экстракта из морской зеленой водоросли *Ulva lactuca* и тыквенного пюре в течение 1,5 мес сопровождается сохранением антиоксидантной защиты организма и снижением оксидативных процессов. Положительное влияние разработанного нами функционального пищевого продукта на антиоксидантный статус студентов в период психоэмоциональной и умственной нагрузки обусловлено сочетанным действием комплекса биологически активных соединений, содержащихся в мякоти тыквы (каротиноиды, витамины и др.), а также липидов и полифенолов водорослевого экстракта, что подтверждают ранее проведенные экспериментальные исследования на животных. В условиях экстремального стресс-воздействия было показано, что применение экстракта из *Ulva lactuca* сопровождалось сохранением антиоксидантной защиты печени крыс и снижением уровня ПОЛ [68]. В работах других авторов [70] отмечалось, что экстракт из мякоти тыквы, вводимый мышам, значительно повышал сывороточную и печеночную активность глутатионпероксидазы и снижал уровень малонового диальдегида. Аналогичные результаты положительного воздействия *Cucurbita pepo* на параметры антиоксидантной защиты были получены на

мышцах с опухолевым процессом после введения им полисахаридов, выделенных из мякоти тыквы [71]. Мембранопротекторный эффект функционального пищевого продукта, по нашему мнению, можно объяснить наличием в составе липидного комплекса ульвы активной фракции фосфолипидов, обладающих репаративными свойствами [64]. В связи с этим можно предположить, что более высокая осмотическая устойчивость эритроцитов произошла за счет встраивания фосфолипидов в нарушенный стрессом липидный бислой их плазматической мембраны.

При сравнении выраженности восстанавливающего эффекта действия экстрактов из водорослей с препаратами сравнения легалон и эссенциале проявляются определенные преимущества первых.

Таким образом, создание функциональных пищевых продуктов с использованием экстракта из морской зеленой водоросли *Ulva lactuca* позволит предотвратить или снизить большинство хронических заболеваний молодых людей, испытывающих высокие психоэмоциональные нагрузки.

В ы в о д ы

1. Экстракты из морской бурой водоросли *Saccharina japonica* и морской зеленой водоросли *Ulva lactuca* содержат значимое количество общих полифенолов (10-33 мг-экв ГК/г сухой водоросли) и эссенциальных фосфолипидов (4-6 мг/мл экстракта), что указывает на перспективность исследования этих видов морских водорослей в качестве источников пластических ресурсов для нормализации метаболических реакций в организме в условиях токсического гепатита и стрессового воздействия.

2. Экстракты из водорослей нормализуют систему «перекисное окисление липидов – антиоксидантная защита» за счет протонотропной способности флоротаннинов, входящих в их состав.

3. Экстракты из водорослей ослабляют развитие нарушений липидного обмена печени (этерифицирующей функции, фракционного состава фосфолипидов) при интоксикации организма четыреххлористым углеродом и стрессе за счет входящих в их состав фосфолипидных и нейтральных фракций липидов.

4. Экстракт из *Ulva lactuca* при стрессовом воздействии превосходит по своему эффекту действия препарат «Эссенциале®», а экстракт из *Saccharina japonica* после интоксикации четыреххлористым углеродом превосходит по своему эффекту действия полифенольный препарат «Легалон®» по способности снимать напряжение системы

антиоксидантной защиты, жировую инфильтрацию гепатоцитов, перекисное окисление липидов и тканевую гипоксию.

5. Доказана эффективность применения экстракта из *Ulva lactuca* в составе функционального пищевого продукта «Тыквенное пюре с экстрактом ульвы» для оптимизации процессов адаптации организма студентов первых курсов обучения в ВУЗе, испытывающих умственное и психоэмоциональное напряжение.

Список использованных источников

1 Дзизюров В.Д., Кулепанов В.Н., Шапошникова Т.В. и др. Атлас массовых видов водорослей и морских трав российского побережья Дальнего Востока. - Изд-во ТИНРО-Центр, 2006.

2 Левенец И.Р., Тюрин С.А. Макрофиты залива Восток Японского моря // Биота и среда заповедников Дальнего Востока. 2014. № 1. Р. 36-48.

3 Титлянов Э.А., Титлянова Т. В. Морские растения стран Азиатско-Тихоокеанского региона, их использование и культивирование. - Владивосток: Дальнаука, 2012.

4 Blunt J. W., Copp B. R., Keyzers R. A. et al. Marine natural products // Nat. Prod. Rep. 2013. Vol. 30, N 2. P. 237-323.

5 El Gamal A. A. Biological Importance of Marine Algae // Handbook of Marine Macroalgae: John Wiley & Sons, Ltd, 2011. - P. 1-35.

6 D'Orazio N., Gemello E., Gammone M. A. et al. Fucoxantin: A Treasure from the Sea // Marine Drugs. 2012. Vol. 10, N 3. P. 604-616.

7 Аминина Н.М., Вишневская Т.И., Гурулева О.Н. и др. Состав и возможности использования бурых водорослей дальневосточных морей // Вестник ДВО РАН. 2007. № 6. Р. 123-130.

8 Benevides N. M. B., Holanda M. L., Melo F. R. et al. Purification and partial characterization of the lectin from the marine green alga *Caulerpa cupressoides* (Vahl) C. Agardh // Botanica Marina. 2001. Vol. 44, N 1. P. 17-22.

9 Domozych D. S., Ciancia M., Fangel J. U. et al. The cell walls of green algae: a journey through evolution and diversity // Front. Plant Sci. 2012. Vol. 3. P. 7.

10 Perez-Rodriguez E., Aguilera J., Figueroa F. L. Tissue localization of coumarins in the green alga *Dasycladus vermicularis* (Scopoli) Krasser: a photoprotective role? // J. Exp. Bot. 2003. Vol. 54, N 384. P. 1093-1100.

- 11 Menzel D., Kazlauskas R., Reichelt J. Coumarins in the siphonalean green algal family dasycladaceae kutzing (Chlorophyceae) // *Botanica Marina*. 1983. Vol. 26, N 1. P. 23-29.
- 12 Хотимченко С.В. Липиды морских водорослей-макрофитов и трав: структура, распределение, анализ. - Дальнаука, 2003.
- 13 Ragan M. A., Glombitza K. W. Phlorotannins, brown algal polyphenols // *Progress in Phycological Research* Eds. F. Round and D. Chapman. - Bristol: Biopress Ltd, 1986. P. 129-241.
- 14 Singh I.P., Sidana J. Phlorotannins // *Functional Ingredients from Algae for Foods and Nutraceuticals* Eds. H. Domínguez: Woodhead Publishing, 2013. Vol. 5. P. 181-204.
- 15 Shibata T., Nagayama K., Tanaka R. et al. Inhibitory effects of brown algal phlorotannins on secretory phospholipase A(2)s, lipoxygenases and cyclooxygenases // *Journal of Applied Phycology*. 2003. Vol. 15, N 1. P. 61-66.
- 16 Fraga C. G., Galleano M., Verstraeten S. V. et al. Basic biochemical mechanisms behind the health benefits of polyphenols // *Mol. Asp. Med.* 2010. Vol. 31, N 6. P. 435-445.
- 17 Quideau S., Deffieux D., Douat-Casassus C. et al. Plant Polyphenols: Chemical Properties, Biological Activities, and Synthesis // *Angew. Chem.-Int. Edit.* 2011. Vol. 50, N 3. P. 586-621.
- 18 Tsao R. Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols // *Nutrients*. 2010. Vol. 2, N 12. P. 1231-1246.
- 19 Li A. N., Li S., Zhang Y. J. et al. Resources and Biological Activities of Natural Polyphenols // *Nutrients*. - 2014. Vol. 6, N 12. P. 6020-6047.
- 20 Vauzour D., Rodriguez-Mateos A., Corona G. et al. Polyphenols and Human Health: Prevention of Disease and Mechanisms of Action // *Nutrients*. 2010. Vol. 2, N 11. P. 1106-1131.
- 21 Kim H. S., Quon M. J., Kim J. A. New insights into the mechanisms of polyphenols beyond antioxidant properties; lessons from the green tea polyphenol, epigallocatechin 3-gallate // *Redox Biol.* 2014. Vol. 2. P. 187-195.
- 22 Lambert J. D., Elias R. J. The antioxidant and pro-oxidant activities of green tea polyphenols: A role in cancer prevention // *Archives of Biochemistry and Biophysics*. - 2010. Vol. 501, N 1. P. 65-72.
- 23 Makhotkina O., Kilmartin P. A. Electrochemical Oxidation of Wine Polyphenols in the Presence of Sulfur Dioxide // *J. Agric. Food Chem.* 2013. Vol. 61, N 23. P. 5573-5581.
- 24 Kim S. K., Himaya S. W. Medicinal effects of phlorotannins from marine brown algae // *Advances in food and nutrition research*. 2011. Vol. 64. P. 97-109.

- 25 Guschina I. A., Harwood J. L. Lipids and lipid metabolism in eukaryotic algae // *Prog. Lipid Res.* - 2006. Vol. 45, N 2.- P. 160-186.
- 26 Sanina N. M., Goncharova S. N., Kostetsky E. Y. Seasonal changes of fatty acid composition and thermotropic behavior of polar lipids from marine macrophytes // *Phytochemistry*. 2008. Vol. 69, N 7. P. 1517-1527.
- 27 Хотимченко С.В. Особенности состава жирных кислот гликолипидов морских макрофитов // *Биология моря*. 2003. № 2. P. 144-146.
- 28 Ермакова С.П., Звягинцева Т.Н., Имбс Т.И. и др. Сравнительное исследование химического состава и противоопухолевой активности водно-этанольных экстрактов бурых водорослей *Laminaria cichorioides*, *Costaria costata* и *Fucus evanescens* // *Биология моря*. 2009. № 2. P. 140-146.
- 29 Wang L.C., Wang X.Y., Wu H. et al. Overview on Biological Activities and Molecular Characteristics of Sulfated Polysaccharides from Marine Green Algae in Recent Years // *Marine Drugs*. 2014. Vol. 12, N 9. P. 4984-5020.
- 30 Kumar C.S., Ganesan P., Suresh P.V. et al. Seaweeds as a source of nutritionally beneficial compounds - A review // *Journal of Food Science and Technology-Mysore*. 2008. Vol. 45, N 1. P. 1-13.
- 31 Кузнецова У. Т.А., Беседнова Н.Н., Урванцева А.М. и др. Сравнительное исследование биологической активности фукоиданов из бурых водорослей // *Вестник ДВО РАН*. 2006. № 6. P. 106-110.
- 32 Титов А. М. Целительные свойства морских водорослей. - СПб: Издательский дом «Нева», 2004.
- 33 Западнюк И.П., Западнюк В.И., Захария Е.Е. Лабораторные животные. Разведение, содержание, использование в эксперименте. - Киев: Вища школа, 1974. 304 с.
- 34 Венгеровский А.И., Маркова И.В., Саратиков А.С. Доклиническое изучение гепатозащитных средств // *Ведомости фарм. комитета*. 1999. № 2. С. 9-12.
- 35 Re R., Pellegrini N., Proteggente A. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay // *Free Radic. Biol. Med.* 1999. Vol. 26, N 9-10. P. 1231-1237.
- 36 Moron M.S., Depierre J.W., Mannervik B. Levels of glutathione, glutathione reductase and glutathione S-transferase activities in rat lung and liver // *Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects*. 1979. Vol. 582, № 1. P. 67-78.

- 37 Buege J.A., Aust S.D. Microsomal lipid peroxidation // Biomembranes. Part C: Biological Oxidations. - New York: Academic Press, 1978. P. 302-310
- 38 Noll F. L-(+)-Lactate // Metabolites 1: Carbohydrates. - Basel: Verlag Chemie, 1984. P. 582-588 (Methods of Enzymatic Analysis; Vol. 6).
- 39 Lamprecht W., Heinz F. Pyruvate // Metabolites 1: Carbohydrates. - Basel: Verlag Chemie, 1984. P. 570-577 (Methods of Enzymatic Analysis; Vol. 6).
- 40 Ермолаева Л.П. Регуляция глюконеогенеза в онтогенезе. - М.: Наука, 1987, 99с.
- 41 Folch J., Less M., Sloane-Stanley G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues // J. Biol. Chem. 1957. Vol. 226, № 1. P. 497-509.
- 42 Pande S.V., Parvin K.R., Venkitasubremanian T.A. Microdetermination of lipids and serum total fatty acid // Anal. Biochem. 1963. Vol. 6. P. 415-423.
- 43 Vaskovsky V.E., Kostetsky E.Y, Vasenden I.M. A universal reagent for phospholipid analyses // J. Chromatography. 1975. Vol. 114. P. 129-141.
- 44 Svetashev V.I., Vaskovsky V.E. A simplified technique for thin layer microchromatography of lipids // J. Chromatography. 1972. Vol. 67, N 2. P. 376-378.
- 45 Amenta J.S. A rapid chemical method for quantification of lipids separated by thin-layer chromatography // J. Lipid Res. 1964. Vol. 5, N 2. P. 270-272.
- 46 Rouser G., Kritchevsky G., Yamamoto A. Column chromatographic and associated procedures // Lipid. chromatographic analisls. G.V.Marinetti. New York: Dekker, 1967. Vol. 1. P.99-162.
- 47 Wagner H., Horhammer L., Wolff F. Thin-layer chromatography of phosphatides and glycolipides // Biochem. Z. 1961. Bd, 334. P. 175-184.
- 48 Кейтс М. Техника липидологии. - М.: Мир. 1975. 221 с.
- 49 Vaskovsky V.E., Latyshev N.A. Modified Jungnickel's reagent for detecting phospholipids and other phosphorus compounds on thin-layer chromatograms // J. Chromatogr. 1975. Vol. 115, N 1. P. 246-249.
- 50 Weber L.W.D., Boll M., Stampfl A. Hepatotoxicity and mechanism of action of haloalkanes: carbon tetrachloride as a toxicological model // Critical Rev. in Toxicol. 2003. Vol. 33, N 2. P. 105-136.
- 51 Recknagel R.O., Glende E.A., Jr., Dolak J.A. et al. Mechanisms of carbon tetrachloride toxicity // Pharmacol. Ther. 1989. Vol. 43, N 1. P. 139-154.

52 Кушнерова Н.Ф., Спрыгин В.Г., Фоменко С.Е., Рахманин Ю.А. Влияние стресса на состояние липидного и углеводного обмена печени, профилактика // Гигиена и санитария. 2005. № 5. С. 17-21.

53 Skottova N., Kazdova L., Oliarynyk O. et al. Phenolics-rich extracts from *Silybum marianum* and *Prunella vulgaris* reduce a high-sucrose diet induced oxidative stress in hereditary hypertriglyceridemic rats // Pharmacol. Res. 2004. Vol. 50, N 2. P. 123-130.

54 Афанасьева Ю.Г., Фахретдинова Е.Р., Спирихин Л.В. и др. О механизме взаимодействия некоторых флавоноидов с фосфатидилхолином клеточных мембран // Хим.-фарм. журн. 2007. № 7. С. 12-14.

55 Саратиков А.С., Ратькин А.В., Фролов В.Н., Чучалин В.С. Влияние гепатопротекторов фосфолипидной природы на токсичность циклофосфана // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2004. № 2. С. 43–47.

56 Хныченко Л.К. Сапронов Н.С. Стресс и его роль в развитии патологических процессов // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2003.Т.2, № 3. С.2-15.

57 Фоменко С.Е., Кушнерова Н.Ф., Спрыгин В.Г., Момот Т.В. Нарушение обменных процессов в печени крыс под действием стресса // Тихоокеанский медицинский журнал. 2013. №2. С. 67-70.

58 Yu M., Jamieson G. A. Jr., Leikauf G.D., Nebert D.W. Phospholipase A2 activation and increases in specific prostaglandins in the oxidatively stressed 14 CoS/14 CoS mouse hepatocyte line // Biochem Pharmacol. 1998. Vol. 55, N 2. P. 193–200.

59 Sahin E, Gümüslu S. Alterations in brain antioxidant status, protein oxidation and lipid peroxidation in response to different stress models // Behavioural Brain Research. 2004. Vol. 15. P. 241–248.

60 Shibata T., Ishimaru K., Kawaguchi S. et al. Antioxidant activities of phlorotannins isolated from *Japanese Laminariaceae* // J. Appl. Phycol. 2008. Vol. 20, N 5. P. 705-711.

61 Maffei Facino R., Carini M., Aldini G. et al. Sparing effect of procyanidins from *Vitis vinifera* on vitamin E: In vitro studies // Planta Medica. 1998. Vol. 64, N 4. P. 343-347.

62 Stern J.L., Hagerman A.E., Steinberg P.D. et al. Phlorotannin-protein interactions // J. Chem. Ecol. 1996. Vol. 22, N 10. P. 1877-1899.

63 Metodiewa D., Jaiswal A.K., Cenas N. et al. Quercetin may act as a cytotoxic prooxidant after its metabolic activation to semiquinone and quinoidal product // Free Radic. Biol. Med. 1999. Vol. 26, N 1-2. P. 107-116.

64 Спрыгин В.Г., Кушнерова Н.Ф., Фоменко С.Е., Сизова Л.А. Морские водоросли – перспективный источник полифенольных антиоксидантов и комплексов эссенциальных фосфолипидов // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т 14, № 1(7). С. 2299-2302.

65 Garcia-Casal M. N., Rami J., Leets I. et al. Antioxidant capacity, polyphenol content and iron bioavailability from algae (*Ulva sp.*, *Sargassum sp.* and *Porphyra sp.*) in human subjects // British Journal of Nutrition. 2009. Vol. 101. P. 79–85.

66 Yadav M., Jain S., Tomar R. et al. Medicinal and biological potential of pumpkin: an updated review // Nutrition Research Reviews. 2010. Vol. 23. P. 184–190.

67 Эндакова Э.А., Новгородцева Т.П., Светашев В.И. Модификация состава жирных кислот крови при сердечно-сосудистых заболеваниях. - Владивосток: Дальнаука, 2002.

68 Фоменко С.Е., Кушнерова Н.Ф., Спрыгин В.Г., Момот Т.В. Нарушение обменных процессов в печени крыс под действием стресса // Тихоокеанский медицинский журнал. 2013. № 2. С. 67-70.

69 Halliwell B. The role of oxygen radicals in human disease, with particular reference to the vascular system // Haemostasis. 1993. Vol. 23. P. 118–126.

70 Dang C. Effect of pumpkin distillable subject on lipid peroxidation and the activity of antioxidative enzyme induced by Plumbum in mouse (article in Chinese). // Chin. J. Clin. Rehabil. 2004. Vol. 8. P. 4378–4379.

71 Xu G.H. A study of the possible antitumour effect and immunocompetence of pumpkin polysaccharide // J. Wuhan. Prof. Med. Coll. 2000. Vol. 28. P. 1–4.

3.2 Изучение механизмов действия новых комплексов биологически активных веществ из гидробионтов

Исследования последних лет в области здравоохранения убедительно доказывают, что любая патология в организме зачастую сопровождается нарушениями иммунитета, которые являются также и главной причиной этого заболевания. Многочисленные литературные данные свидетельствуют также о постепенном, но неуклонном снижении иммунологической реактивности организма, уменьшении его способности формировать специфический иммунный ответ как клеточного, так и гуморального типа.[1, 2]Повышенный риск возникновения иммунодефицитных состояний служит основанием для поиска и применения препаратов, регулирующих иммунные процессы в организме.Для коррекции иммунных нарушений используются препараты на основе аралиевых, пептиды, выделенные из тимуса и костного мозга наземных животных, синтетические иммуномодуляторы [3-6]. Вместе с тем не вызывает сомнения существование других источников биологически активных веществ с подобными свойствами растительного и животного происхождения. Учитывая, что многие факторы окружающей среды, пищевые факторы, стрессорные, профессиональные воздействия, возрастные изменения приводят к неблагоприятным влияниям на иммунную систему, можно предположить, что иммуностропные препараты, обладающие корригирующей активностью, необходимы не только для лечения многих патологических состояний, но, очевидно, их нужно включать также и в «фармакологию здорового человека» [1]. В последние десятилетия внимание исследователей привлекают морские биологические ресурсы, отдельные представители которых являются богатым источником биологически активных веществ [7 - 12], которые обеспечивают им разнообразные биологические эффекты.В числе прочих, определенная физиологическая активность была зарегистрирована также у нескольких видов асцидий [13].В частности показано, что туника асцидии*Halocynthiaaurantium*содержит значительное количество незаменимых аминокислот, липидный состав представлен фосфолипидами, нейтральными липидами, полиненасыщенными жирными кислотами, помимо микро- и макроэлементов содержатся также простагландины и каротиноиды [14-16]. Следует отметить, что по составу химических соединений разные виды асцидий различаются несущественно [15,16]. Сложный состав обеспечивает экстракту из туники *Halocynthiaaurantium*– хаурантину - множественные эффекты, среди которых антиоксидантная, гепатопротекторная, актопротекторная, гемостимулирующая и мембранопротекторная активность [17-19]. Также в отношении хаурантина убедительно продемонстрирована способность оптимизировать

гомеостатические реакции в организме, влияя на обменные процессы [18], и иммуотропный эффект [20]. Экстракт из другого вида одиночной асцидии *StyelaClava* (ЭА) также как и хаурантин, активизирует кроветворение, действуя преимущественно на клетки, участвующие в иммунной защите организма[21, 22]. Эти результаты послужили основанием для углубленного исследования иммуотропных свойств экстрактов асцидий *Halocynthiaaurantium* и *StyelaClava*. Оценивали влияние экстрактов асцидий на гуморальные и клеточные факторы адаптивного иммунитета позвоночных и возможность коррекции иммунного статуса при патологических состояниях (иммуносупрессия, токсический гепатит, интоксикация этанолом).

Экспериментальные животные:

- беспатогенные мыши линии CD-1 массой 20-22 г (100 особей);
- мыши линии BALB/C, самки, массой 18-20 г (80 особей);
- крысы линии Вистар, самцы, массой 180-200 г (110 особей);

Животные получены из питомника лабораторных животных «Пущино» и разведены в виварии Тихоокеанского института биоорганической химии ДВО РАН (сертификат имеется). Исследования с использованием животных проводились в соответствии с правилами, принятыми Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и иных научных целей (Страсбург, 1986). Экстракты в дозе 1/100 от ЛД₅₀ вводили ежедневно, внутрижелудочно, контрольные животные получали аналогичным образом дистиллированную воду в эквивалентном объеме.

- Цитостатическую иммуносупрессию у мышей моделировали однократным внутрибрюшинным введением циклофосфана (ЦФ, ОАО «Биохимик», Саранск) в дозе 200 мг/кг.

- Метаболическую иммуносупрессию у крыс Вистар вызывали внутрибрюшинным введением этанола дважды в сутки в 33% водном растворе в дозе 7,5 г/кг массы (суммарная суточная доза 15 г/кг) в течение 10 суток. Было сформировано 4 группы по 10 особей. Начиная с 11-го дня эксперимента, две группы животных в течение 7 сут ежедневно внутрижелудочно получали лечение: одна группа – хаурантин, другая – эссенциале (125 мг/кг).

- Экспериментальную модель острого токсического гепатита осуществляли введением животным подкожно (в дорзальную шейную складку) четыреххлористого углерода (ЧХУ, CCl₄ 50% раствор на оливковом масле) в дозе 2 мл/кг в течение 4 дней [23].

- Моделирование Th1-зависимого иммунного ответа у мышей проводили, используя в качестве антигена эритроциты барана (ЭБ 2x10⁸ «ЭКОлаб», Россия).

- Гуморальный иммунный ответ оценивали, учитывая массу и клеточность селезенки и титр антиэритроцитарных антител в сыворотке крови в реакции прямой гемагглютинации (РПГА). Титр антител выражали величиной $\log_2$, величина индекса более 1,0 свидетельствовала об иммунизации.

- Функциональную активность иммунной системы оценивали по количеству иммунных розеткообразующих (МИР) и антителообразующих клеток (АОК) в селезенке [24, 25].

- Влияние экстрактов на клеточное звено первичного иммунного ответа на ЭБ оценивали в реакции гиперчувствительности замедленного типа (РГЗТ), определяя также массу и клеточность тимуса. При постановке РГЗТ для иммунизации использовали оптимальную дозу ЭБ (2×10^8) в 0,2 мл и разрешающую дозу - 10^8 ЭБ в 0,05 мл на 5-й день после сенсibilизации. Индекс реакции (ИР) учитывали через 24 часа после введения разрешающей дозы антигена [25].

Общепринятыми методами анализировали численность и морфологический состав лейкоцитов периферической крови, клеточность тимуса, селезенки, костного мозга и соотношение популяций и субпопуляций лимфоцитов периферической крови и лимфоидных органах (Т-лимфоциты - CD3+, CD4+, CD8+; В-лимфоциты - CD20+)[24]. Соотношение популяций и субпопуляций лимфоцитов периферической крови CD3+, CD4+, CD8+, CD20+ определяли с панелью моноклональных антител производства НПО "Препарат" (Нижний Новгород). Статистическую обработку результатов проводили с использованием параметрического t-критерия Стьюдента.

3.2.1 Исследование биологической активности экстрактов асцидий

Влияние на формирование первичного иммунного ответа и при моделировании иммунной недостаточности

Одной из основных индикаторных систем при скрининге иммуотропных соединений или при изучении иммуотропности лекарственных веществ является система иммунного ответа (первичного, вторичного) на гетерогенные эритроциты, обычно эритроциты барана. При этом на различные химические вещества, в том числе и лекарственные, в условиях *in vivo*, развивается иммунная реакция, которая на клеточном уровне проявляется ростом или падением числа антигенраспознающих и антигенпродуцирующих лимфоцитов и их бластных форм, а на гуморальном - увеличением или снижением титра антител, специфичных вводимым веществам и эндобиотикам [6, 25, 26].

Результаты и обсуждение

Иммуотропные свойства экстрактов изучали на интактных животных (мыши CD-1) и при формировании иммунного ответа (BALB/C). Экстракты интактным мышам вводили в

течение 9 суток ежедневно. Начиная с 3-х суток и до конца эксперимента, в периферической крови животных, получающих экстракты, были зарегистрированы значительно повышенные уровни лейкоцитов (в 1,3 раза), наиболее ярко выраженные в показателях нейтрофильного звена, что свидетельствует об активации механизмов неспецифической защиты организма [27]. Следует отметить, что под влиянием экстрактов отмечалась тенденция к увеличению нейтрофилов с двухсегментным ядром, которые в функциональном отношении являются более полноценными. Полученные результаты позволили рассчитать интегральные гематологические показатели, которые отражают качественные изменения в иммунной системе и по изменениям которых можно судить о взаимоотношении гуморального и клеточного звеньев иммунной системы [28]. Так, под влиянием экстрактов у животных зарегистрирована достоверная стимуляция гуморального звена иммунитета (в 1,5 раза; $p < 0,05$) на 3-е и 10-е сутки эксперимента

Учитывая высокий компенсаторный потенциал и быстрый многофакторный характер реагирования иммунной системы, наибольшего внимания заслуживает оценка влияния экстрактов на способность к выработке антител в ответ на корпускулярные антигены, поскольку в формировании иммунного ответа участвуют все основные клетки иммунной системы [26, 29]. Результаты исследования влияния экстрактов на клеточное звено иммунного ответа при формировании адаптивного иммунного ответа представлены в таблице 3.2.1.1. Экстракты вводили животным за 4 дня до иммунизации или одновременно с антигеном (эритроциты барана).

Таблица 3.2.1.1 - Влияние экстрактов асцидий на формирование клеточного иммунного ответа ($M \pm m$)

Группа животных Показатели	Тимоциты 10^6 /орган Масса, мг		
	РОК 10^5 /сел		
	Индекс воспаления, мг (РГЗТ)		
	ЭА 1/100 LD50	Хаурантин 1/100 LD50	Контроль (иммунизация)
Введение экстрактов до иммунизации	88,60 $\pm$ 17,12	96,75 $\pm$ 13,58	89,95 $\pm$ 20,50
	45,20 $\pm$ 10,84	50,00 $\pm$ 9,70	48,56 $\pm$ 4,35
	53,51 $\pm$ 6,63*	75,61 $\pm$ 8,87*	36,28 $\pm$ 4,60
	-	-	-
Введение экстрактов одновременно с иммунизацией	34,10 $\pm$ 2,40	29,82 $\pm$ 1,86*	40,94 $\pm$ 2,44
	49,12 $\pm$ 7,23	52,11 $\pm$ 9,23	57,90 $\pm$ 11,90
	29,26 $\pm$ 0,68*	37,80 $\pm$ 1,30*	22,19 $\pm$ 0,73
	66,44 $\pm$ 8,80*	41,00 $\pm$ 10,51*	22,00 $\pm$ 7,60

Примечание. * - $p < 0,01$ при сравнении с контрольными животными

Показано, что на лимфопролиферативные процессы в тимусе животных время введения экстрактов не оказывало влияния. Вместе с тем, показано, что при обоих способах применения экстрактов численность клеток, несущих рецепторы к эритроцитам барана (РОК) в селезенке, была значительно увеличена. Известно, что розеткообразующие, также как и антигенообразующие клетки селезенки, являясь иммунокомпетентными клетками, включаются в иммунный ответ [25, 30]. По изменениям количества РОК в селезенке, которые проявляются примерно за сутки до появления антител в сыворотке животных, можно судить об активации или супрессии иммунных реакций [26, 31]. Об активирующем действии экстрактов на клеточное звено иммунитета свидетельствуют также данные реакции ГЗТ [6, 29]. Экстракты значительно стимулировали процесс образования клона антигенспецифических Т-лимфоцитов, что проявлялось увеличением в 2-3 раза индекса воспаления по сравнению с контрольными животными.

По изменениям массы и клеточности селезенки и количеству антиэритроцитарных антител в сыворотке экспериментальных животных судили о влиянии ЭА на гуморальный иммунный ответ (таблица 3.2.1.2).

Таблица 3.2.1.2 - Влияние экстрактов асцидии на формирование гуморального иммунного ответа у мышей BALB/C($M \pm m$)

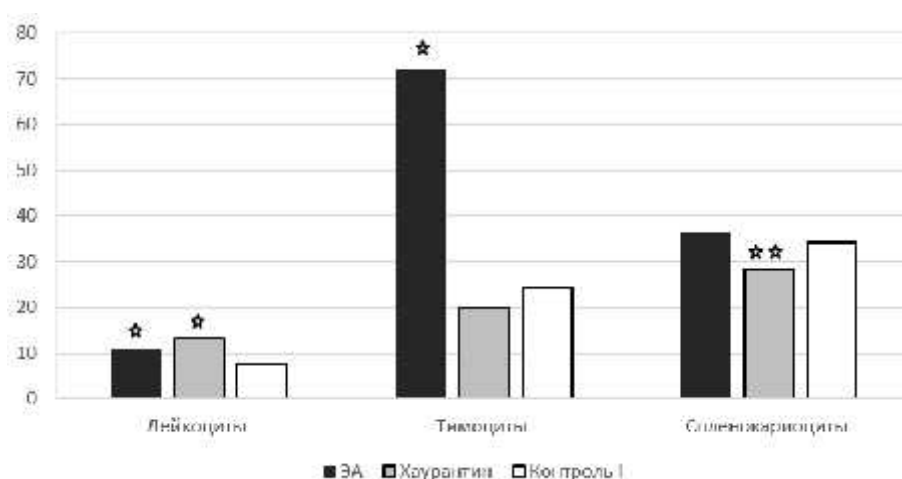
Показатели Группа животных	Спленокарициты $10^6/50$ мг Масса, мг		
	$\log_2$ титра гемагглютинирующих антител		
	ЭА 1/100 ЛД50	Хаурантин 1/100 ЛД50	Контроль
Введение экстрактов до иммунизации	$42,52 \pm 4,10$ $123,50 \pm 14,22$	$47,09 \pm 3,40^*$ $123,70 \pm 10,70$	$36,46 \pm 3,15$ $110,0 \pm 17,44$
	$6,0 \pm 0,01^*$	$8,6 \pm 0,55^*$	$7,4 \pm 0,55$
Введение экстрактов одновременно с иммунизацией	$28,53 \pm 2,36$ $142,60 \pm 13,20$	$24,87 \pm 1,72^*$ $132,20 \pm 17,1$	$35,20 \pm 1,99$ $116,40 \pm 16,80$
	$6,83 \pm 0,51^*$	$5,80 \pm 0,20$	$5,18 \pm 0,55$
Примечание. * - $p < 0,01$ при сравнении с контрольными животными			

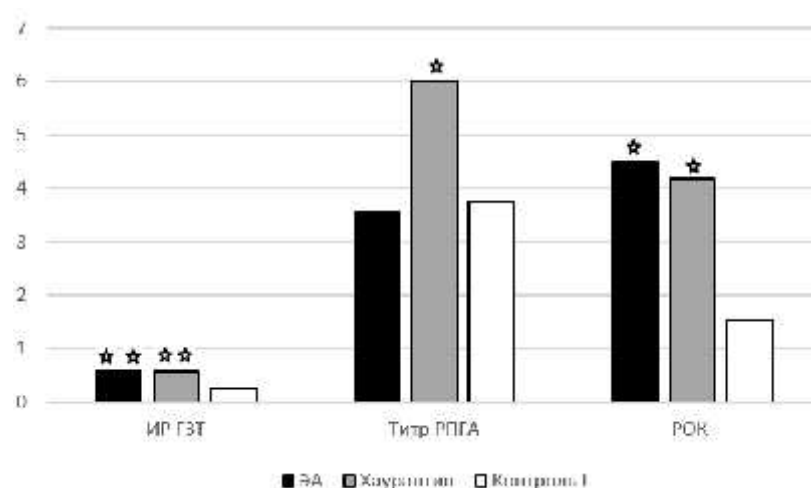
Следует отметить, что экстракты не оказывали существенного действия на лимфопролиферативные процессы в селезенке как при применении до иммунизации, так и одновременно с антигеном. Вместе с тем показан модулирующий эффект ЭА на

функциональное состояние иммунных клеток, связанный со способом введения. Так предваряющее иммунизацию применение экстракта сдерживало формирование гемагглютинирующих антител в сыворотке мышей, а одновременное - способствовало их достоверному росту. Примечательно, что ЭА и хаурантин различаются по действию на гуморальное звено иммуногенеза.

Таким образом, при формировании иммунного ответа экстракты, не влияя на лимфопролиферативные процессы в селезенке и тимусе, влияют на функциональную активность иммунокомпетентных клеток, стимулируют клеточное звено иммуногенеза и проявляют модулирующий эффект на процессы антителообразования (ЭА).

Известно, что иммунная система способна к быстрому реагированию на изменение гомеостаза и обладает значительными резервами к самовосстановлению. Различные по своей природе экстремальные воздействия способны вызывать угнетение отдельных звеньев системы иммунитета, что в свою очередь приводит к развитию вторичного иммунодефицитного состояния [4, 29, 32]. Для оценки иммунокорригирующего действия экстрактов использовали модель медикаментозной иммуносупрессии (введение животным циклофосфана - ЦФ). Известно, что однократное введение ЦФ приводит к изменениям в кроветворной и иммунной системе, которые можно охарактеризовать как иммунодефицитное состояние [6, 22]. Экстракты вводили мышам BALB/С курсом 1 раз в сутки в течение 4 дней: до цитостатика и иммунизации – «профилактическое» введение, или на 5-е сутки после ЦФ одновременно с иммунизацией - «терапевтическое» введение. На рисунке 3.2.1.1 представлены результаты исследования влияния экстрактов предваряющих применение цитостатика.





* - $p \leq 0,001$; ** - $p \leq 0,05$ при сравнении с контролем I(ЦФ)

Рисунок 3.2.1.1 – Влияние «профилактического» введения экстрактов на развитие иммунного ответа в условиях иммуносупрессии у мышей BALB/C

Как следует из рисунка ЭА оказывал протекторный эффект на центральный орган иммунной системы – тимус, при этом оба экстракта способствовали увеличению количества антигенспецифических Т-лимфоцитов (более чем в 2 раза - РГЗТ). Известно, что лимфоидная ткань селезенки участвует преимущественно в иммунных реакциях гуморального типа, обеспечивая накопление больших количеств плазматических клеток, синтезирующих антитела [26, 29]. Показано, что на формирование циркулирующего пула антиэритроцитарных антител (РПГА) хаурантин оказывал достоверное стимулирующее влияние, в то время как на лимфопролиферативные процессы в селезенке оба экстракта не влияли. Тем не менее, экстракты способствовали увеличению клеток в селезенке, включенных в иммунный ответ (РОК). Таким образом, экстракты, введенные перед цитостатиком, проявляют выраженное стимулирующее действие на клеточное звено иммунологической реактивности, и различаются по влиянию на гуморальные иммунные реакции. Проведенная антигенная стимуляция через 5 дней после действия цитостатика не привела к позитивным изменениям иммуногенеза: угнетение антителогенеза и лимфопролиферативных процессов сохранялось. Применение экстрактов одновременно с антигеном на фоне иммуносупрессии способствовало стимуляции лимфопролиферативных процессов в иммунокомпетентных органах мышей. О положительном эффекте на гуморальное звено помимо увеличения массы и клеточности селезенки свидетельствуют возросшие в 1,5 раза ($p < 0,001$) титры антиэритроцитарных антител в сыворотке животных. Подобные изменения свидетельствуют об увеличении функциональной активности антителообразующих клеток (гуморальное звено) под действием экстрактов [26, 32, 33]. Значительный эффект оказывался и на клеточное звено иммунитета: клеточность тимуса превышала показатели контрольных животных в 1,5-1,6 раза ($p < 0,001$). Кроме того у этих

групп мышей в 2 и 2,3 раза было увеличено количество клеток в селезенке, несущих рецепторы к эритроцитам барана.

Таким образом, при медикаментозной иммуносупрессии экстракты, введенные перед цитостатиком, оказывали выраженное стимулирующее действие на клеточное звено иммунологической реактивности. Экстракты, примененные на фоне иммуносупрессии, оказывали позитивное влияние на гуморальные факторы и клеточное звено иммуногенеза. Эти свойства экстрактов асцидий могут оказаться полезными в клинической практике при применении цитостатических препаратов.

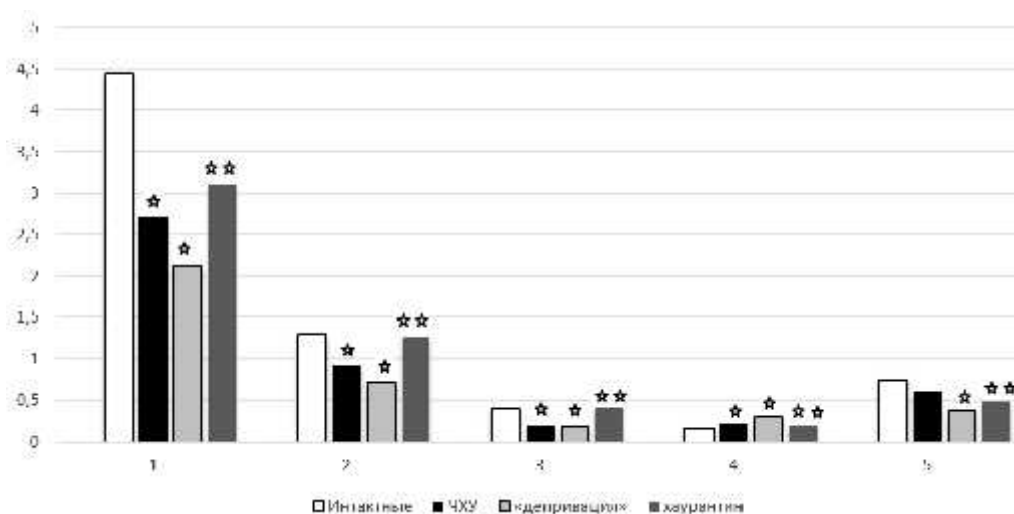
Исследование иммунокорректорной активности экстракта асцидии при моделировании патологических состояний

Известно, что основным барьером, нейтрализующим токсические загрязнения в организме человека и животных, является печень. При токсических и лекарственных гепатитах химические вещества проникают в липопротеиновую мембрану гепатоцитов, разрушают ее, и в ответ на деструкцию возникают иммунные реакции.

Следует отметить, что в патогенезе токсического гепатита состоянию иммунных процессов отводится важная роль [34, 35]. В связи с этим актуален поиск и разработка эффективных средств с гепатопротекторными и иммунокорректорными свойствами. Известно, что хаурантин обладает гепато- и мембранопротекторным эффектом [17, 18]. Получены также убедительные данные об иммунокорректорных свойствах хаурантина при иммуносупрессии [19, 20, 22]. В работе исследовали возможность коррекции хаурантином показателей иммунитета у крыс Вистар (40 особей) при моделировании метаболического дисбаланса в организме - остром токсическом гепатите, смоделированным введением четыреххлористого углерода (ЧХУ) и этанольной интоксикации.

Четырехдневное воздействие ЧХУ сопровождалось снижением общего количества лейкоцитов периферической крови, при существенном повышении относительного количества сегментоядерных нейтрофильных лейкоцитов и моноцитов. Популяционный состав лимфоцитов сыворотки (наряду со сниженным общим количеством) был существенно изменен: снижена численность CD3+, CD4+ и увеличена – CD8+, выполняющих супрессирующую функцию, наименьшим изменениям подверглась популяция В-лимфоцитов (CD20+) (рисунок 3.2.1.2). Повышенная активность клона Т-лимфоцитов (CD8+) приводила к снижению антителогенеза, и, как следствие, к снижению выработки иммуноглобулинов. Зарегистрировано также угнетение лимфопролиферативных процессов в тимусе и селезенке крыс. Изменения со стороны Т-клеточной популяции селезенки

проявились уменьшением хелперно-супрессорного(иммунорегуляторного) индекса. Через 7 суток после токсического воздействия (группа депривация») происходила дальнейшая рассогласованность в составе форменных элементов крови, прогрессировали лимфопения и снижение общих иммуноглобулинов.



1 – лимфоциты (общие); 2 - Т-лимфоциты CD3+; 3 – Т-лимфоциты CD4+; 4 – Т-лимфоциты CD8+ ;
5 – В-лимфоциты CD20+ ; концентрация клеток $10^6/\text{мл}$; $p < 0,05$ при сравнении: * - с интактными животными; ** - с группой «депривация»

Рисунок 3.2.1.2 - Влияние экстракта асцидии на иммунокомпетентные клетки крыс Вистар при интоксикации четыреххлористым углеродом

Эти результаты свидетельствуют о продолжающемся токсическом стрессе и недостаточности собственных защитных сил организма противостоять развитию негативных изменений, что согласуется с результатами биохимических исследований[18]. Продукты метаболизма, нарушенного воздействием токсиканта, накапливаясь в крови, ингибируют иммунные процессы, угнетая как клеточные, так и гуморальные звенья иммунитета [34 -36]. Введение крысам хаурантина после действия ксенобиотика сопровождалось смягчением негативных эффектов ЧХУ, которое проявлялось повышением содержания $CD4^+$ снижением $CD8^+$ лимфоцитов, и достоверным повышением $CD20^+$ клеток по сравнению животными, не получающими лечения. Численность клеток тимуса и селезенки в пересчете на массу органа, в группе леченных животных, значительно превышала показатели группы «депривация», что свидетельствует об усилении лимфопролиферативных процессов под влиянием экстракта. Известно, что именно клеточная пролиферация служит ключевым этапом в развитии иммунных реакций, обеспечивая увеличение числа антигенспецифичных клеток [2, 29 - 31]. На фоне введения хаурантина в селезенке значительно увеличилась популяция макрофагов и плазмобластов, продуцирующих IgM и IgG. Также в Т-клеточном звене уменьшилась популяция Т-супрессоров ($CD8^+$) и увеличилась популяция Т-хелперов ($CD4^+$), в связи с

чем, значительно повысился иммунорегуляторный индекс. Под влиянием хаурантина в селезенке выявлялись признаки активации макрофагального и гуморального звеньев иммуногенеза на фоне относительной стабильности клеточного звена иммунитета.

Таким образом, показано, что применение экстракта асцидии на фоне рассогласованности иммунных реакций, свидетельствующих о недостаточности собственных защитных сил организма противостоять развитию негативных последствий воздействия ксенобиотика, оказывало влияние преимущественно на клеточное звено иммунитета, восстанавливая иммунорегуляторный индекс. Восстанавливались также угнетенные действием ЧХУ лимфопролиферативные процессы в иммунокомпетентных органах, отмечалось увеличение концентрации неспецифических иммуноглобулинов специфического иммуноглобулина G (IgG) в сыворотке. Стабильное содержание лимфоцитов в крови и лимфоидных органах крыс под влиянием экстракта позволяет судить о готовности иммунной системы к иммунному ответу [26, 34, 35]. Подтверждением служат данные об увеличении концентрации общих иммуноглобулинов и IgG в сыворотке животных группы с экстрактом, что свидетельствует о повышении функциональной активности В-клеток и усилении гуморальных факторов защиты под действием экстракта. Полученные результаты позволяют предположить, что один из механизмов его действия связан со стимуляцией процессов пролиферации лимфоцитов и продукцией факторов клеточного взаимодействия. При моделировании метаболической иммуносупрессии 10-дневной этанольной интоксикацией у крыс Вистар к началу депривации прогрессировали нарушения иммунологической реактивности. Общее количество лейкоцитов в циркулирующей крови снижалось в 1,4 раза по сравнению с нормой за счет уменьшения числа моноцитов и лимфоцитов (популяции Т-лимфоцитов), при этом двукратно были увеличены популяции нейтрофильных и эозинофильных лейкоцитов. На этом фоне наблюдалась стимуляция гуморального иммунитета — количество В-лимфоцитов возрастало в 2 раза, концентрация общих иммуноглобулинов и фракции IgG увеличивалась в 1,5 раза. В тимусе представительство ядродержащих клеток, бластных форм, средних и малых лимфоцитов снижалось в 1,4—1,6 раза. Через 7 суток после отмены этанола сохранялось состояние дестабилизации мембранных клеточных структур [18]. В периферической крови и лимфоидных органах животных негативные изменения продолжались. Известно, что длительная интоксикация этанолом приводит к увеличению концентрации кортикостерона в крови и, как следствие, снижению иммунных реакций, связанных преимущественно с функцией Т-клеток [37, 38]. Показано, что в период депривации значительно снижалось количество лимфоцитов с фенотипом CD4⁺, что приводило к нарушению субпопуляционной структуры Т-системы иммунитета, также был нарушен процесс цитокиновой регуляции

иммунного ответа, косвенным свидетельством которого служило значительное повышение показателя миграции лейкоцитов. Введение крысам хаурантина(и эссенциале) в период депривации сопровождалось снятием негативных эффектов этанола. Это выражалось в достоверном увеличении абсолютного количества лейкоцитов и восстановлении характерного для интактных животных соотношения форменных элементов периферической крови, в первую очередь увеличении общего количества лимфоцитов (в 1,5 раза) за счет увеличения численности Т-лимфоцитов. Численность В-лимфоцитов и нейтрофилов были снижены соответственно в 2 и 1,5 раза. Поскольку известно, что функция обычно более чувствительна к воздействиям различного рода по сравнению с морфологией [4, 28, 29], можно предположить, что позитивные изменения касаются также и функциональной активности иммуноцитов. Общее число ядродержащих элементов селезенки и тимуса леченых животных, также как и их индексы, превышали значения крыс, получивших только этанол, что, возможно, явилось следствием ускорения миграции костномозговых нуклеаров под влиянием экстракта. Как известно, незрелые Т- и В-лимфоциты мигрируют из костного мозга в лимфоидные органы для дальнейшей дифференцировки [26, 39]. Подтверждением высказанного предположения может служить повышенное содержание бластов в селезенке и в тимусе относительно фоновых значений. Таким образом, то обстоятельство, что при введении животным экстракта наиболее выраженным было увеличение клеточности лимфоидных органов и поддержание нормального уровня Т-клеток, позволяет предположить, что один из механизмов его действия связан со стимуляцией процессов пролиферации лимфоцитов и продукцией факторов клеточного взаимодействия.

Таким образом, хаурантин смягчает негативные последствия воздействия этанола на иммунную систему, способствуя более быстрому восстановлению показателей иммунного статуса. Представленные результаты позволяют связывать отмечаемые позитивные изменения отдельных показателей иммунитета под влиянием хаурантина с уменьшением токсических эффектов ксенобиотика на клетки, в том числе и принимающие участие в реализации иммунных реакций. Наряду с этим действие экстракта асцидии при интоксикации животных можно рассматривать как регуляторный фактор, способствующий восстановлению условий для полноценного взаимодействия между различными звеньями иммунной системы [20, 22, 25]. Очевидно, что механизмы регуляторного влияния исследуемых экстрактов асцидий на иммунную систему, как и на биохимические функции в клетке многообразны [17, 18]. По мнению ряда исследователей, биологическая активность препаратов из гидробионтов связана с наличием высокоактивного комплекса «морских» фосфолипидов, аминокислот, каротиноидов и микроэлементов, находящихся в них в

оптимальных количествах и соотношениях и позволяющих им взаимопотенцировать свое действие[10 - 12, 19].

Выводы

1) У интактных животных экстракты асцидий активируют механизмы врожденного иммунитета и стимулируют гуморальное звено иммунной системы.

2) При формировании иммунного ответа экстракты стимулируют клеточное звено иммуногенеза и проявляют модулирующий эффект на функциональную активность иммунокомпетентных клеток процессы антителообразования.

3) В условиях медикаментозной иммуносупрессии экстракты, введенные перед цитостатиком, демонстрируют выраженное стимулирующее действие на клеточное звено иммунологической реактивности, не затрагивая гуморальные иммунные реакции. Эти свойства экстрактов могут быть полезными в клинической практике при проведении цитостатических манипуляций.

4) Хаурантин на фоне рассогласованности иммунных реакций при токсическом поражении организма (ЧХУ, этанол) оказывает влияние преимущественно на клеточное звено иммунитета, восстанавливая иммунорегуляторный индекс.

5) Один из механизмов иммуномодулирующего действия хаурантина связан с влиянием на пролиферацию лимфоидных клеток и продукцию факторов клеточного взаимодействия.

Список использованных источников

1 Козлов В.А. Гомеостатическая пролиферация как основа неизбежного формирования тотального иммунодефицита // Медицинская иммунология // 2014. Т. 16, № 5. С. 403-408.

2 Kominsky D.J., Campbell E.L., Colgan S.P. Metabolic Shifts in Immunity and Inflammation // J. Immunol. 2010. Vol. 184(8).P. 4062–4068.

3 Купин В.И. Элеутерококк и другие биологически активные модификаторы в онкологии. М.: Медэкспорт, б.г. 40 с.

4 Нестерова И.В. Принципы иммунотерапии вторичных ИДС с инфекционным синдромом // Intern. J. Immunorehabilitation 2003. С. 136-138.

5 Ширинский И.В., Ширинский В.С., Козлов А.Н. Влияние гормона эпифиза мелатонина на иммуносупрессию, вызванную глюкокортикоидами in vitro // Экспер. и клин.фармакол. 2005. Т.68, №1. С. 45-51.

6 Самотруева М.А., Дубина Д.Ш., Лужнова С.А. Оценка иммунокорригирующей активности производных бензимидазола на фоне циклофосфановой иммуносупрессии // Биомедицина. 2008. № 1. С. 60–63.

7 Хасина Э.И., Требухов Е.Е., Золотухина О.Н. Влияние альгиновой кислоты из водоросли *Laminariacichorioides* на физическую активность экспериментальных животных // Биология моря. 2001. Т. 27, № 3. С. 221–224.

8 Deyama T., Nishibe S., Nakazawa Y. Constituents and pharmacological effects of *Eucommia* and Sibirian ginseng // Acta Pharmacol. Sinica. 2001. Vol. 22, N 12. P. 1057–1070.

9 Mayer A.M.S., Gustafson K.R. Marine pharmacology in 2000: antitumour and cytotoxic compounds // Int. J. Cancer. 2003. Vol. 105. P. 291–302.

10 Беседнова Н.Н. Эпштейн Л.М. Иммуноактивные пептиды из гидробионтов и наземных животных. Владивосток: ТИНРО-центр, 2004. 248 с.

11 Xue S., Zhang H.T., Wu P. Ch., et al. Study of bioactivity of extracts from marine sponges in Chinese Sea. // J. of Experimental Marine Biology and Ecology. 2004. Vol. 298. P. 71–78.

12 Raftos D. Interaction of tunicate proteins with mammalian cells // Immunol. Cell Biol. 2006. Vol. 74. P. 26–31.

13 Добряков Ю.И., Брехман И.И. Поиск природных источников физиологически активных веществ из морских организмов // Валеология: Диагностика, средства и практика обеспечения здоровья. Владивосток: Дальнаука, 1996. Вып. 3. С. 83–90.

14 Кушнерова Н.Ф., Добряков Ю.И., Янькова В.И. Химический состав спиртовых извлечений из туники асцидии пурпурной *Halosynthia aurantium* // Валеология: Диагностика, средства и практика обеспечения здоровья. Владивосток: Дальнаука, 2000. Вып. 4. С. 151–155.

15 Белорукова А.А., Задорожный П.А., Пивненко Т.Н., Якуш Е.В. Оценка содержания каротиноидов у асцидий *Halosynthia aurantium* и *Styela Clava* // Известия ТИНРО. 2006. Т. 147. С. 347–353.

16 Костецкий Э.Я., Веланский П.В., Санина Н.М. Индивидуальная изменчивость фосфолипидного состава органов членистоногих, иглокожих и оболочников залива Петра Великого Японского моря // Биология моря. 2012. Т. 38, № 2. С. 166–173.

17 Добряков Ю.И., Добряков Е.Ю., Пономарева Т.И. Исследование фармакологических свойств экстракта из морского гидробионта - асцидии пурпурной (*Halosynthia aurantium*). Дальневосточные моря России. Книга 2. Исследование морской экологии и биоресурсов/ под.ред. В.А. Акуличева и В.П. Челомина. М.: Наука, 2007. С. 637–657.

18 Кушнерова Н.Ф., Фоменко С.Е., Лесникова Л.Н. Применение биологически активных веществ морских гидробионтов как гепато- и мембранопротекторов. Дальневосточные моря России. Книга 2. Исследование морской экологии и биоресурсов / под.ред. В.А. Акуличева и В.П. Челомина. М.: Наука, 2007. С. 658 - 672.

19 Пивненко Т.Н., Моторя Е.С., Задорожный П.А., Запорожец Т.С. Новые природные каротиноиды из дальневосточной асцидии в качестве иммуностимуляторов и антиоксидантов // Аллергология и иммунология. 2007. Т. 8, № 3. С. 339-342.

20 Пономарева Т.И., Добряков Ю.И. Исследование иммунных свойств хаурантина при иммуносупрессии в эксперименте // Тихоокеанский медицинский журнал. 2009. № 3. С. 52-54.

21 Пономарева Т.И., Добряков Ю.И. Исследование биологической активности экстрактов морских гидробионтов непищевого использования // В мире научных открытий. 2011. № 7.2 (19). С. 908-918.

22 Пономарева Т.И., Добряков Ю.И. Исследование иммуностропных свойств экстрактов асцидий // Актуальные вопросы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 04 (63). С. 228-231.

23 Венгеровский А.И., Маркова И.В., Саратиков А.С. Доклиническое изучение гепатозащитных средств // Ведомости фармакологического комитета. 1999. № 1. С. 9–12.].

24 Иммунологические методы. Под ред. Г. Фримеля / М.: «Медицина», 1987. 472 с.

25 Хаитов Р.М., Гуцин И.С., Пинегин Б.В. Методические указания по изучению иммуностропной активности фармакологических веществ: Руководство по экспериментальному изучению фармакологических веществ. М: Минздрав РФ, 2000. с.257-263.

26 Ярилин А.А. Гомеостатические процессы в иммунной системе // Физиология и патология иммунной системы. 2004. Т. 8, № 11. С. 3-12.

27 Першин Б.Б., Гелиев А.Б., Тостов Д.В. Физические нагрузки и иммунологическая реактивность // Аллергология и иммунология. 2003. Т. 4, № 3. С. 46-50.

28 Никенина Е.В., Абрамова А.Ю., Козлов А.Ю. Ноцицептивная чувствительность и лимфоцитарный индекс периферической крови у крыс с разной поведенческой активностью на модели воспалительной боли, вызванной введением полного адьюванта Фрейнда и бычьего сывороточного альбумина // БЭБМ. 2012. Т. 153, №5. С. 582-584.

29 Черешнев В.А., Кеворков Н.Н., Бахметьев Б.А. и др. Физиология иммунной системы и экология // Иммунология. 2001. № 3. С. 12–16.

30 Sprent J., Surh C.D. Normal T cell homeostasis: the conversion of naive cells into memory-phenotype cells // Nat. Immunol. 2011. Vol. 12, N. 6. P. 478-484.

- 31 Boyman O., Létourneau S., Kreig C., Sprent J. Homeostatic proliferation and survival of naive and memory T cells // *Eur. J. Immunol.* 2009. Vol. 39, N. 8. P. 2088-2094.
- 32 Борсук О.С., Масная Н.В., Чурин А.А., Шерстобоев Е.Ю. Доклинические исследования препаратов природного происхождения в условиях цитостатического воздействия // *Биомедицина.* 2010. № 2. С. 53-64.
- 33 Manda K., Bhatia A.L. Prophylactic action of melatonin against cyclophosphamide-induced oxidative stress in mice // *Cell Biol. Toxicol.* 2003. Vol. 19, N 6. P. 367-372.
- 34 Потапова Г.В., Перевозчикова Т.В., Венгеровский А.И. Некоторые данные об иммуотропных свойствах нового гепатопротектораэплира // *Экспер. и клин.иммунол.* Томск. 1995. С. 21-25.
- 35 Lario M., Munoz L., Ubeda M., Borrero M.-J., Martinez J. Defective thymopoiesis and poor peripheral homeostatic replenishment of T-helper cells cause T-cell lymphopenia in cirrhosis // *J. Hepatology.* 2013. Vol. 59. P. 723-730.
- 36 Блиднецова Г.Н., Рецкий М.И., Полякова Н.Д., Коренская И.М. Роль процессов свободнорадикального окисления в механизме гепатопротекторного действия масла из семян амаранта // *Биомедицина.* 2006. № 2. С. 105–112.
- 37 Lieber C.S. The discovery of ethanol oxidizing system and its physiologic and pathologic role // *Drug. Metab.Rev.* 2004.Vol. 36, N 1.P. 1-35.
- 38 Забродский П.Ф., Лим В.Г., Гришин В.А., Кузьмин А.В. Механизмы нарушения иммунного статуса при хронической интоксикации этанолом // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины.* 2011. Т.152, № 7, С. 97-99.
- 39 Hassan J., Reen D.J. Human recent thymic emigrants--identification, expansion, and survival characteristics // *J Immunol.* 2001. Vol. 167 (4). P. 1970-1976.

3.2.2 Исследование биологической активности, механизмов действия нового экстракта из голотурии *Eupentacta fraudatrix* и запасов сырья для его получения

Голотурия *Eupentacta fraudatrix* обитает в шельфовых водах Японского моря. Из ее тканей был получен оригинальный экстракт с иммуномодулирующими, антибактериальными и фунгицидными свойствами [1], что делает этот вид перспективным для использования в качестве фармакологического сырья. Вместе с тем, механизмы действия экстракта и спектр его биологического действия остаются во многом не исследованными.

Исследование ранозаживляющих эффектов экстракта из голотурий и возможных механизмов их реализации

Заживление ран, в том числе, восстановление кожного покрова, остается актуальной проблемой современной биологии и медицины, при этом требующей значительных материальных затрат в связи с длительными сроками госпитализации [2]. Сложность лечения заключается и в частом бактериальном инфицировании ран, и снижении чувствительности бактерий к существующим антибиотикам, сопровождающемуся также грибковым инфицированием [3]. В связи с этим во всем мире продолжается поиск новых эффективных препаратов для лечения ран. Ранее из тканей ряда дальневосточных видов голотурий был получен экстракт (ЭГ), включающий комплекс биологически активных веществ, эффективно ингибирующий рост грибов и бактерий [4], а также обладающий выраженными иммуномодулирующими свойствами [1]. Наличие таких свойств указывает на возможную перспективу его использования при восстановлении тканей. При этом, учитывая высокие регенерирующие способности самих голотурий [5], эти животные являются удобной моделью для изучения процессов репарации тканей.

Влияние ЭГ на скорость заживления поверхностной раны и его иммунные механизмы

Исследования на позвоночных показали, что при заживлении ран большое значение имеет иммунная система [6]. Моноцитам принадлежит ведущая роль в этих процессах, при этом разные субпопуляции макрофагов/моноцитов вовлечены на разных стадиях воспаления и репарации [7]. У эхинодерм также описано участие фагоцитов и морулярных клеток (МК) в заживлении ран [8], однако участие отдельных субпопуляций в этом процессе не исследовано. У голотурий *Eupentacta fraudatrix* на основе градиентного центрифугирования выделены две субпопуляции фагоцитов (Ф1 и Ф2), обладающие некоторыми функциональными отличиями [9], кроме того, они обладают различным уровнем связывания растительного лектина конканавалина А (кон А) [10]. Поскольку эндогенные лектины животных участвуют в регуляции многих внутриклеточных процессов, а также

взаимодействия клеток [11], при этом они весьма чувствительны к изменениям в структуре клеточных рецепторов, можно ожидать, что изучение изменений в связывании лектинов в процессе заживления ран может быть полезным для оценки участия каждой субпопуляции фагоцитов голотурий в этих процессах. Задачей работы явилось исследование влияния ЭГ на скорость заживления повреждения кожного покрова у голотурии и его клеточные (иммунные) механизмы.

Материалы и методы

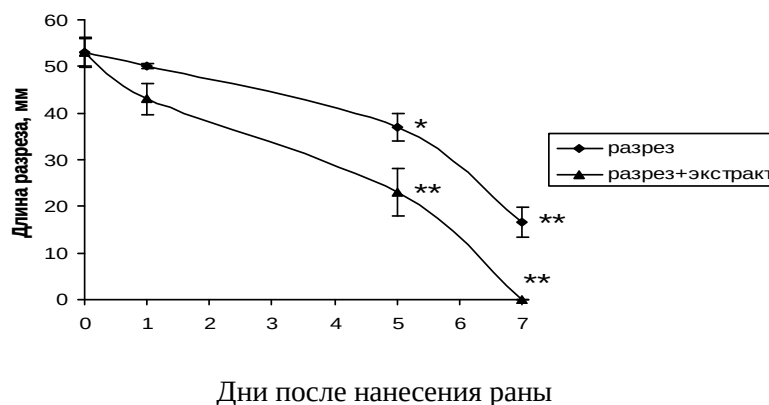
Голотурии были собраны в марте-апреле 2014 г и 2015 гг. на станции «Восток» Института биологии моря ДВО РАН в заливе Восток Японского моря. До начала экспериментов животные находились в аквариумах с проточной аэрируемой морской водой с соответствующей сезону температурой не менее двух недель. Экстракт из голотурий получали по методу, описанному ранее [4]. Повреждение стенки тела производили скальпелем, в другом ее участке в целомическую полость вводили буферный раствор (1 группа) или раствор ЭГ 0,8мкг/г(2 группа). Третьей группе животных вводили ЭГ вместе с раствором коммерческой каталазы (20 мкг/г). Измеряли длину раны и отбирали целомическую жидкость сразу после надреза и через 0, 1, 4, 5 и 7 суток. Полученную целомическую жидкость добавляли к равному объему антикоагулирующего раствора [12]. Подсчитывали концентрацию целоцитов и морулярных клеток в камере Горяева. Разделение фагоцитов двух субпопуляций проводили в ступенчатом градиенте фикол-верографина, как описано ранее [9]. Определение уровня связывания поверхностных рецепторов клеток с FITC (флюоросцеинизотиоцианат) - конъюгированным кон А или лектином из луковиц гиацинта *Dolichosbiflorus* (DB) проводили по методу McKenzie и Preston [13]. Детекцию ярко-зеленой флуоресценции клеток проводили на флуоресцентном микроскопе LeicaDM 4500.

Результаты обрабатывали статистически. Данные представлены в виде $M \pm m$. Для определения достоверности различий между группами использовали t-критерий Стьюдента. Различия считались достоверными при $P < 0,05$.

Результаты и обсуждение

ЭГ ускорял заживление раны, при этом разница в скорости заживления возрастала с увеличением времени, прошедшего с момента нанесения раны, от 14% до 37% через 1 и 5 суток, соответственно, и полное заживление наступало не менее чем на сутки раньше (рисунок 3.2.2.1). Концентрация целоцитов через 1 час после нанесения раны снижалась в 1 и 2 группах на 26 и 44% по сравнению с контролем, соответственно, а через 5 суток снижение концентрации целоцитов в 1 группе составило 46%, а во 2 группе концентрация не отличалась от контроля. Кроме того, уже через 1 час отмечена тенденция к снижению

доли морулярных клеток в общем количестве целомоцитов в 1 группе и, напротив, к росту – во 2 группе. Через 7 суток доля морулярных клеток в группе, получавшей экстракт из голотурий, составила $9,83 \pm 1,23\%$, практически совпадая с контрольным значением, а в 1 группе она снизилась на 24% ниже контроля.



*- $P < 0,05$, **- $P < 0,001$ по сравнению с контролем.

Рисунок 3.2.2.1 - Влияние экстракта из голотурий на заживление покровов тела у голотурии *E. fraudatrix*

Исследование связывания растительных рецепторов с поверхностными рецепторами иммунных клеток (таблица 3.2.2.1) показало противоположную направленность изменений уровня связывания кон А в Ф1 и Ф2. Так, ранение животного приводило к значительному снижению уровня связывания кон А в Ф1, в 4,7 раза, а в Ф2 происходил его рост в 1,3 раза (статистически недостоверно). Использование ЭГ вызывало еще большее снижение связывания FITC –меченого кон А. Связывание DB в Ф1 было незначительно меньше, чем в Ф2. Повреждение стенки тела вызывало рост его уровня связывания в обеих субпопуляциях фагоцитов, в 1,5 раза в Ф1 и 1,4 раза в Ф2. Применение ЭГ совместно с каталазой отменяло эффект ЭГ и даже снижало процент связывания DB по сравнению с контролем

Таблица 3.2.2.1 - Уровень связывания FITC-меченых растительных лектинов с поверхностными рецепторами субпопуляций фагоцитов голотурии *Eupentacta fraudatrix* через 4 сут после повреждения стенки тела

Лектин	Экспериментальное воздействие					
	Контроль		Надрез		Надрез + ЭГ	Надрез + ЭГ +каталаза
	Ф1	Ф2	Ф1	Ф2	Ф1	1
DB	$13,0 \pm 1,0$	$22,3 \pm 2,6$	$20 \pm 2,5$	$31,0 \pm 4,7$	$41 \pm 3,5^*$	$6,0 \pm 0,8^*$
Кона	$75,0 \pm 4,3$	$18 \pm 2,1$	$16 \pm 1,8^*$	$24 \pm 1,9$	$5,1 \pm 0,28^*$	-

Экстракт из голотурий вызывал значительно более быстрое сокращение длины раны по сравнению с животными, получавшими только буферный раствор. При этом экстракт оказывал действие на количество клеток целомической жидкости. Он ускорял снижение количества целомацитов, наибольший процент которых составляют фагоциты, по-видимому, за счет стимулирования более раннего перемещения целомацитов в ткани, способствуя, тем самым, более раннему их восстановлению. Вместе с тем, если повреждение покровов стимулировало снижение количества морулярных клеток в целомической полости, то ЭГ нормализовал их концентрацию. Учитывая наличие у морулярных клеток голотурий способности к синтезу провоспалительного ИЛ-1 α -подобного белка [14], полученные данные свидетельствуют о том, что экстракт из голотурий, по-видимому, способен предотвращать развитие воспаления.

Было также показано, что поверхностные рецепторы фагоцитов 1-го типа голотурий связывают кон А в значительном количестве, подобно фагоцитам позвоночных. Вместе с тем, значительно более низкий процент связывания в фагоцитах второго типа свидетельствует о том, что фагоциты двух субпопуляций фенотипически различимы. Разница в связывании лектина между субпопуляциями имеется также при заживлении раны, что свидетельствует о различной функциональной роли этих двух типов фагоцитов в заживлении раны. При этом снижение уровня связывания FITC –меченого кон А в процессе заживления раны, наиболее выраженное при воздействии ЭГ, по-видимому, означает рост числа конкурирующих эндогенных лектинов, связывающихся с маннозным остатком рецептора. Эти данные согласуются с ранее полученными результатами об участии маннан-связывающего лектина в процессах регенерации голотурии *Apostichopus japonicus* и повышении его концентрации в регенерирующих тканях [15]. Этот ответ в двух типах клеток носил противоположный характер. При этом, поверхностные рецепторы к DB не являются отличительными маркерами двух субпопуляций фагоцитов, как в контроле, так и в процессе заживления раны. Введение голотуриям ЭГ усиливало влияние повреждения на уровень связывания кон А и DB в Ф1. Такое повышение может быть связано как с экспрессией генов рецепторов, так и с возможными изменениями на уровне самих рецепторов. Отмена каталазой эффекта ЭГ на связывание лектинов свидетельствует о том, что рост экспрессии рецепторов был опосредован действием активных форм кислорода. В свою очередь, повышение уровня кислородныхрадикалов под действием ЭГ может быть связано с увеличением функциональной активности Ф1. Стимулирующее действие ЭГ на макрофаги мышей было показано ранее [1].

Таким образом, исследование связывания отдельными фракциями фагоцитов голотурий растительных лектинов позволяет выявить динамику их активности на

определенном этапе заживления раны, открывая возможность моделирования макрофаго-зависимых механизмов заживления тканей *in vivo*, являющихся наименее изученными, на более простой модели фагоцитов голотурий. Кроме того, показано, что ЭГ, по-видимому, способен стимулировать связывание эндогенных лектинов, участвующих в заживлении раны, и стимулировать функциональную активность Ф1.

Выводы

1) Экстракт из голотурий стимулирует заживление резаной раны стенки тела голотурии *E. fraudatrix* до 37% по сравнению с животными, получавшими буферный раствор.

2) Ускорение заживления раны у животных при воздействии экстракта из голотурий происходит на фоне более раннего перехода целомоцитов, прежде всего, фагоцитов, в ткани, при более низкой доле морулярных клеток в общем количестве целомоцитов.

3) Фагоциты двух типов у голотурии *E. fraudatrix* отличаются фенотипически, наиболее выраженным маркером является маннозный рецептор. Противоположная динамика его экспрессии в Ф1 и Ф2 в процессе заживления раны свидетельствует и о функциональных различиях этих типов фагоцитов.

4) Действие ЭГ на фагоциты Ф1 стимулировало их функциональную активность на фоне снижения связывания поверхностными рецепторами кон А, вероятно, за счет увеличения связывания маннан-связывающего лектина голотурий.

Исследование антирадикальной активности ЭГ

Возникновение и развитие воспалительного процесса и репарации тканей при ранении сопровождается активацией свободнорадикальных процессов и перекисного окисления липидов, и антиоксиданты играют важную роль в заживлении ран [16]. Ранее было выявлено, что ЭГ способен модулировать активность антиоксидантных ферментов в макрофагах мышей [1]. Однако антирадикальная активность экстракта оставалась неисследованной. Целью работы явилось изучение антирадикальных свойств ЭГ.

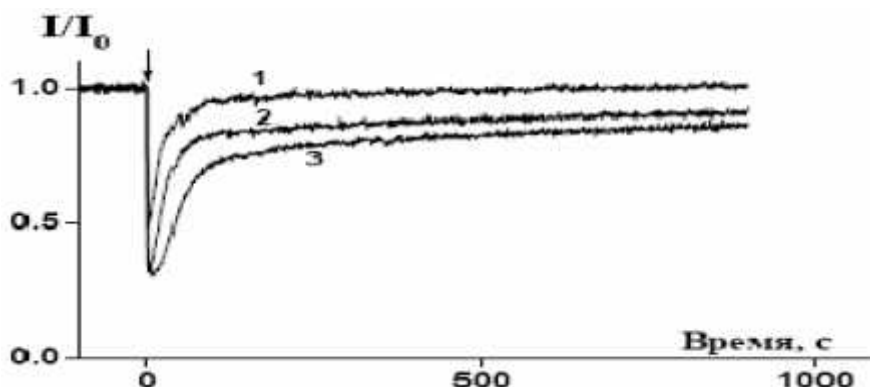
Материалы и методы

Концентрации антиоксидантов в экстракте и константы скорости его реакции с пероксидными радикалами оценены по кинетике хемилюминесценции (ХЛ). Навеску сухого экстракта растворяли в хлорбензоле. Аликвоту раствора вводили в смесь, состоящую из растворов этилбензола в хлорбензоле (20–30 об. %), инициатора – азо(бис)изобутиронитрила и усилителя ХЛ– 9,10-дибромантрацена. Суммарный объем реакционной смеси составлял 4.2–4.4 мл. Кинетику ХЛ регистрировали хемилюминометром [17], собранным на основе цифрового счетчика фотонов Hamamatsu H7467 (“Hamamatsu”, Япония) и персонального компьютера. Длительность интервалов счета составляла 0.5 с. Спектры поглощения

измеряли на спектрофотометре Lambda 25 (“PerkinElmer”, США), спектры флуоресценции – на спектрофлуориметре LS55 (“PerkinElmer”, США).

Результаты и обсуждение

В основе исследования антирадикальной активности хемилюминисцентным методом лежит тушение ХЛ при перехвате радикала $\text{ROO}\cdot$ антиоксидантом (АОН). Затем, по мере потребления антиоксиданта, восстанавливаются как стационарная концентрация $\text{ROO}\cdot$, так и интенсивность ХЛ. Интенсивность (I) ХЛ сразу после введения антиоксиданта резко снижается, затем, по мере его расходования, восстанавливается до начального уровня (I_0). Максимальный наклон кинетической кривой I/I_0 на участке восстановления ХЛ (в точке $I/I_0 = 0.5$) зависит от скорости инициирования и констант скорости $2k_6$ и k_7 [6]: $[d(I/I_0)/dt]_{\max} = 0.22k_7(W_i/2k_6)^{1/2}$. При известных W_i и $2k_6$ (для этилбензола $2k_6 = 1 \times 10^7$ л моль⁻¹ с⁻¹ [18]), из кинетической кривой можно определить k_7 . Введение экстракта голотурии, как и в случае α -токоферола, использовавшегося в качестве стандарта, резко ослабляет ХЛ (рисунок 3.2.2.2).



Концентрации ЭГ (г/л): 1-0,18; 2-0,27; 3-0,44. Стрелкой указан момент введения ЭГ

Рисунок 3.2.2.2 - Кинетика ХЛ при введении ЭГ в различных концентрациях.

Константа скорости k_7 для наиболее активного антиоксиданта в составе ЭГ составила $1,5 \times 10^6$ л моль⁻¹ с⁻¹, а его концентрация 10^5 – 10^6 л моль⁻¹ с⁻¹. Изучение кинетики ХЛ позволило определить концентрацию и реакционную способность антиоксидантов в экстракте. В составе ЭГ обнаружены два эффективных антиоксиданта, наиболее активный из которых сопоставим с активностью “классического” антиоксиданта α -токоферола, k_7 для которого составляет 3.1×10^6 л моль⁻¹ с⁻¹. Полученные результаты свидетельствуют о том, что ЭГ может действовать на ускорение заживления раны не только путем модуляции функциональной активности иммунных клеток и регуляции их поступления в ткани, но и путем снижения оксидантного стресса за счет собственной антирадикальной активности.

Выводы

1) ЭГ обладает высокой антиоксидантной активностью, сопоставимой с активностью α -токоферола.

2) ЭГ может, по-видимому, ускорять заживление ран благодаря своим антиоксидантным свойствам, снижая оксидантный стресс, вызванный повреждением тканей.

Исследование уровня цитокиноподобных веществ в отдельных типах иммунных клеток голотурии *Eupentacta fraudatrix* и возможностей его гормональной регуляции

Тестирование новых биологически активных препаратов нуждается в удобных моделях [19]. Ранее использование фагоцитов иглокожих, являющихся аналогами макрофагов позвоночных животных, было предложено в качестве адекватной модели механизмов врожденного иммунитета [20]. Иммунный ответ у позвоночных реализуется в тесной взаимосвязи отдельных иммунокомпетентных клеток, осуществляемой с участием цитокинов [21], в связи с чем, при разработке клеточных моделей необходимо определение маркеров их функциональной активности и, в частности, особенностей их цитокинового спектра. У ряда иглокожих обнаружены предковые формы ряда цитокинов позвоночных, в том числе и провоспалительных, таких как интерлейкин-1 α -подобные вещества (ИЛ-1 α -ПВ) и γ -интерферон-подобные вещества (ИФН γ -ПВ) и рецепторы к ним [22]. Наличие у голотурий нескольких типов иммунных клеток и их субпопуляций [9, 12] предполагает кооперацию этих клеток в иммунном ответе и возможное участие в них цитокиноподобных веществ. Целью данной работы явилось исследование уровня цитокиноподобных веществ в двух фракциях фагоцитов и обогащенной фракции морулярных клеток голотурии *E. fraudatrix* участие этих веществ во взаимодействии клеток, в том числе при воздействии глюкокортикоидного гормона дексаметазона.

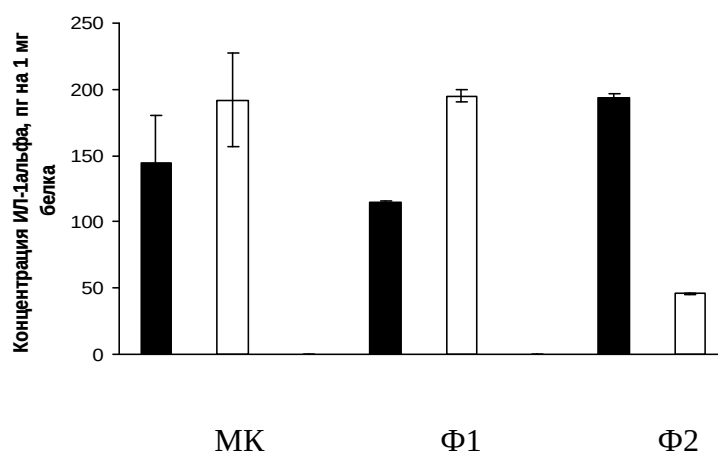
Материал и методы

Целомическую жидкость, полученную от 40 голотурий *E. fraudatrix*, собирали в сосуд с антикоагулирующим раствором (1:1, об./об.), содержащим 30 мМ ЭДТА, 31 г/л NaCl, 50 мМ трис-HCl (pH 7,6) [12]. Разделение фагоцитов проводили центрифугированием в градиенте плотности фикола-верографина. Отбирали фракции фагоцитов Ф1 и Ф2, а также фракцию, обогащенную морулярными клетками (МК), как описано ранее [9]. Полученные суспензии клеток инкубировали 30 мин, 24 или 48 ч для индукции синтеза цитокиноподобных веществ. В ряде случаев клетки инкубировали с дексаметазоном (100 мкМ). В отдельной серии экспериментов изучали гуморальное взаимодействие фагоцитов 2 типа и МК и возможность его гормональной регуляции. На первом этапе эксперимента (преинкубация) клетки Ф2 и МК инкубировали в течение 3 ч с добавлением дексаметазона

(100 мкМ) или в его отсутствие. По окончании инкубации проводили центрифугирование и получали супернатанты клеток, соответственно, обработанных или не обработанных дексаметазоном. Для определения уровня апоптоза в контрольных свежевыведенных фракциях часть клеток, не обработанных дексаметазоном, была отобрана сразу после выделения. На втором этапе другую часть полученных супернатантов фагоцитов добавляли к свежевыведенным суспензиям (1 млнкл./1 мл) МК, или, наоборот, супернатантов МК к фагоцитам, в объемном соотношении 1:1. В контрольные лунки добавляли буферный раствор (рН 7,6). Инкубацию проводили в течение 18 ч при температуре 22 °С. Апоптоз в клетках определяли методом горизонтального электрофореза ДНК в агарозе, а также окраской клеток Hoechst 33342 [23]. Определение уровня ИЛ-1α-ПВ и интерферона (ИФН)-γ-ПВ проводили с использованием наборов для иммуноферментного анализа («Цитокин», Санкт-Петербург). Определение белка проводили с использованием красителя КумассиG-250 по методу, описанному Bradford [24]. Результаты ($M \pm m$) обрабатывали статистически, используя для определения достоверности различий между группами t-критерий Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Изучение зависимости уровня цитокиноподобных веществ от времени инкубации было проведено для уровня ИЛ-1α-ПВ в трех типах иммунных клеток (рисунок 3.2.3.3). Через 30 мин инкубации свежевыведенных фракций фагоцитов и МК наибольший уровень ИЛ-1α-ПВ обнаружен в Ф2, наименьший - в Ф1. Через 24 ч инкубации уровень цитокина возрастал практически до одного уровня в МК и Ф1, а в Ф2, напротив, снижался.

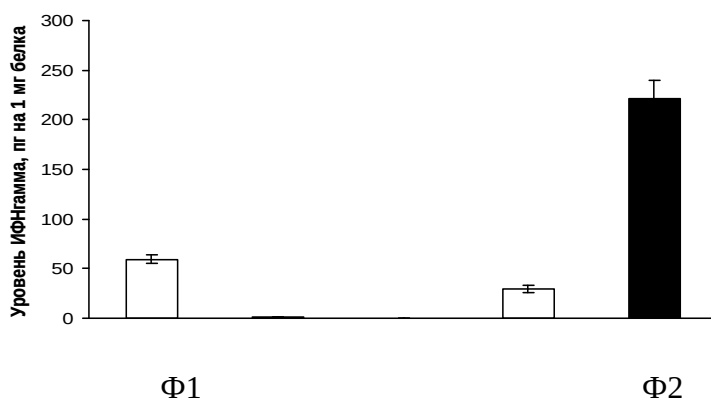


Черные столбики - инкубация 30 мин, белые столбики - инкубация 24 ч

Рисунок 3.2.2.3 - Уровень ИЛ-1α-ПВ в фагоцитах Ф1 и Ф2 и морулярных клетках голотурии *E. fraudatrix* при инкубации *invitro*

Был исследован также уровень ИФНγ-ПВ в двух типах фагоцитов и влияние на него дексаметазона. Исходно, Ф1 и Ф2 не отличались друг от друга по содержанию ИФНγ-ПВ.

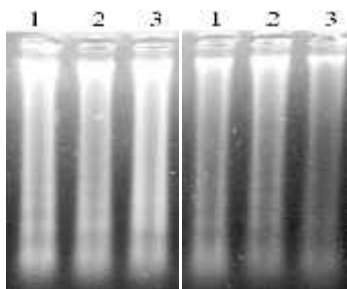
Добавление к клеткам синтетического гормона дексаметазона значительно снижало уровень ИФН γ в Ф1, но стимулировало его рост в Ф2 в 9 раз (рисунок 3.2.2.4).



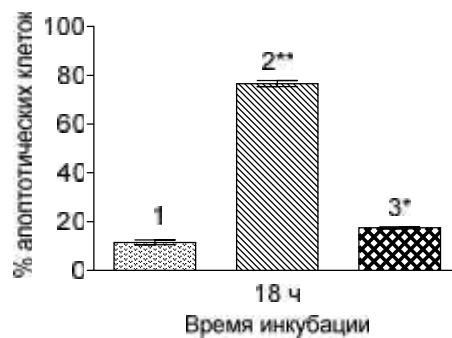
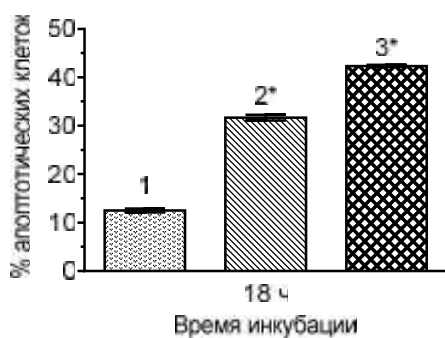
Белые столбики - контроль, черные-дексаметазон*- $P < 0,001$ по сравнению с контролем.

Рисунок 3.2.2.4 - Влияние дексаметазона (100 мкМ) на уровень ИФН γ в фагоцитах Ф1 и Ф2 через 48 ч инкубации

Установлено также, что при гуморальном взаимодействии МК и Ф2 фагоцитов invitrosупернатант МК оказывал на Ф2 проапоптотическое действие, аналогичным образом, гуморальные продукты из супернатанта Ф2 стимулировали апоптоз в МК (рисунок 3.2.2.5). При этом добавление дексаметазона (100 мкМ) в среду преинкубации МК усиливало апоптозстимулирующий эффект МК на Ф2, а его добавление в среду преинкубации Ф2, напротив, снижало апоптоз при последующей обработке.



а б

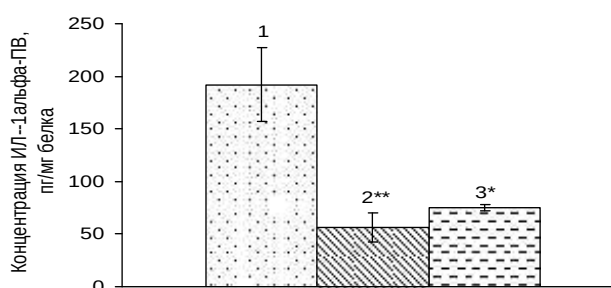


а – фрагментация ДНК в Ф2 фагоцитах, инкубированных с супернатантом морулярных клеток; б - фрагментация ДНК в морулярных клетках, инкубированных с супернатантом Ф2 фагоцитов; в - процент клеток с конденсированным хроматином в Ф2 фагоцитах, инкубированных с супернатантом морулярных клеток; г- процент клеток с конденсированным хроматином во фракции морулярных клеток, инкубированных с супернатантом Ф2 фагоцитов

1 - контроль; 2 – супернатант клеток; 3 – супернатант клеток, преинкубированных с дексаметазоном (100 мкМ) Примечание: * $P < 0,01$; ** $P < 0,001$ по сравнению с контролем

Рисунок 3.2.2.5 -Фрагментация ДНК и процент клеток с конденсированным хроматином (окраска Ноеchst 33342) в Ф2 фагоцитах и морулярных клетках *E. fraudatrix* после 18 ч инкубации с супернатантами морулярных клеток и Ф2, соответственно

В то же время супернатанты из контрольных Ф2 фагоцитов снижали уровень ИЛ-1 α -ПВ в МК, а супернатанты из предобработанных дексаметазоном фагоцитов вызывали повышение уровня этих веществ в МК по сравнению с действием супернатантов контрольных клеток (рисунок 3.2.2.6).



1-контроль, 2- супернатант фагоцитов Ф2, преинкубированных в течение 3 ч с фосфатно-солевым буфером, 3- супернатант фагоцитов Ф2, преинкубированных в течение 3 ч с дексаметазоном

(100 μ М) * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$ по сравнению с контролем

Рисунок 3.2.2.6 - Уровень ИЛ-1 α -ПВ в морулярных клетках голотурии *E. fraudatrix* после инкубации с супернатантами фагоцитов 2-го типа в течение 18 ч

Обнаружена различная временная динамика уровня ИЛ-1 α -ПВ в двух типах фагоцитов и МК. При возрастании срока инкубации с 30 мин до 24 ч уровень цитокиноподобного вещества возрастал в Ф1, но снижался в Ф2, что свидетельствует о возможной различной роли этих двух типов фагоцитов в иммунном ответе. При этом отмечен стабильно высокий уровень ИЛ-1 α -ПВ в МК. По-видимому, эти клетки являются основными продуцентами ИЛ-1 α -ПВ, как это показано и для морулярных клеток асцидий [25]. Уровень ИФН γ -ПВ не отличался достоверно в двух типах фагоцитов, в отличие от ИЛ-1 α -ПВ. Однако, дексаметазон оказывал противоположное влияние на уровень ИФН γ в этих

клетках. Впервые полученные данные свидетельствуют о том, что спектр синтезируемых цитокиноподобных веществ отличен в отдельных иммунных клетках голотурий, с преобладанием того или иного цитокина в отдельном типе клеток, что может иметь важное значение при кооперативном иммунном ответе. Также показана возможность с помощью дексаметазона менять направленность иммунного ответа у голотурий. Эти данные указывают на эволюционную древность цитокин-опосредованных механизмов регуляции естественного иммунитета и подтверждают возможность использования фагоцитов голотурий как модельного объекта при исследовании механизмов иммунитета позвоночных. Кроме того, полученные данные дают возможность предполагать различия в изменениях функциональной активности Ф1 и Ф2 фагоцитов при воздействии сигналов среды и гормональной регуляции, что, по-видимому, обусловлено различной ролью в иммунном ответе этих двух субпопуляций, подобно функциональным различиям двух типов макрофагов (M1 и M2) у позвоночных [26].

Дальнейшие исследования подтвердили возможность гормональной регуляции иммунного ответа у голотурий. Так, показано, что Ф2 фагоциты и МК могут обмениваться гуморальными продуктами, оказывая друг на друга проапоптотическое действие. Это взаимодействие, в свою очередь, может регулироваться дексаметазоном. Учитывая наличие у иглокожих собственных стероидных гормонов [27], полученные данные указывают на возможность стероидной регуляции иммунного ответа голотурий. Противоположный ответ фагоцитов Ф2 типа и МК на предобработку дексаметазоном свидетельствует о том, что стероидная регуляция может менять направленность кооперативного иммунного ответа. При этом обработка дексаметазоном клеток-продуцентов меняла уровень ИЛ-1 α -ПВ в клетках-мишенях по сравнению с действием необработанных гормонов клеток. Анализ изменений уровня апоптоза в сопоставлении с уровнем ИЛ-1 α -ПВ показывает, что развитие апоптоза в МК при воздействии супернатантов как контрольных, так и обработанных дексаметазоном клеток находилось в обратной зависимости от уровня ИЛ-1 α -ПВ в этих клетках. Это свидетельствует о сходной роли ИЛ-1 α -ПВ в фагоцитах голотурий и ИЛ-1 α в фагоцитах позвоночных, для которого показано антиапоптотическое действие [28]. Полученные данные свидетельствуют в пользу сложной системы активации фагоцитов у голотурий и могут быть использованы при разработке системы скрининга за состоянием здоровья животных в аквакультуре, а также при моделировании тест-систем для скрининга иммуномодуляторов.

Выводы

1) Ф1 и Ф2 фагоциты по-разному отвечают на стимуляцию синтеза цитокиноподобных веществ (ИЛ-1 α -ПВ и ИФН γ -ПВ), что свидетельствует об их разной роли в иммунном ответе.

2) Морулярные клетки и Ф2 фагоциты могут взаимодействовать на гуморальном уровне, взаимно увеличивая апоптоз.

3) Уровень синтеза цитокиноподобных веществ в отдельных типах иммунных клеток голотурий и их взаимодействие могут регулироваться глюкокортикоидными гормонами.

Исследование влияния температурных колебаний среды на рост голотурий *Eupentacta fraudatrix*

Голотурия *Eupentacta fraudatrix* является перспективным видом для использования в качестве фармакологического сырья [4]. В связи с этим необходима оценка состояния вида и влияющих на него условий. Исследованиями популяции голотурии в бухте Алексева (залив Петра Великого) в 2008 - 2010 годах было выявлено наличие двух цветных форм, различающихся оранжевой и розовой окраской тела, при этом средние длина и масса «оранжевых» и «розовых» животных существенно отличались [29]. Повышение среднегодовых температур в Приморье, отмечаемое в последнее время [30], диктует необходимость мониторинга состояния животных в меняющихся условиях среды. Для оценки состояния видов в экологических исследованиях в настоящее время широко используется показатель размера организма, поскольку он чувствителен к изменениям среды и является фундаментальной характеристикой организма, связанной со многими свойствами экосистемы [31]. Целью данного исследования явилось изучение влияния роста температуры морской воды на динамику длины и массы тела двух цветных форм голотурий.

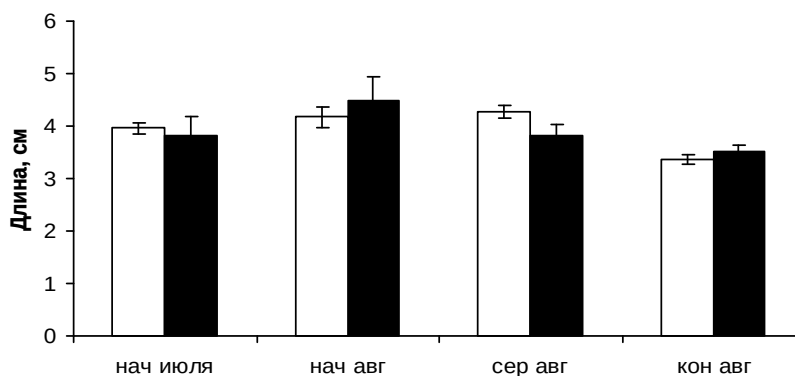
Материал и методы

Сбор голотурий *E. fraudatrix* производился в бухте Алексева в июле-августе 2014 г. один-три раза в месяц. Отбор проводился с использованием легководолазного снаряжения на двух станциях на глубине 0,5-2 м в местах компактного поселения животных розового и оранжевого варианта, соответственно. Для определения средних длины и массы отбирали 80-100 экземпляров.

Измерения длины животных проводили с точностью до 1 мм. Для измерения массы использовали весы электронные “CASCUY 420H” (Корея) с ценой деления 0,01 г. Температуру воды в придонном слое определяли с помощью гидрологического термометра с точностью до 0,1 $^{\circ}$ C. Результаты обрабатывали статистически, используя для определения достоверности различий между группами t-критерий Стьюдента.

Результаты и обсуждение

В 2014 г. уже к середине июля морская вода прогрелась до 20 °С. Максимальная температура 26,5 °С отмечена к началу августа, и температура выше 20 °С регистрировалась весь август. Разница в средней длине тела розовых и оранжевых животных в наблюдаемые периоды времени была недостоверной (рисунок 3.2.2.7). При этом с начала июля до конца августа наблюдался только один пик роста средней длины в августе: у «розовых» он наблюдался в середине месяца, а у «оранжевых» - в начале, с соответствующими минимумами в начале августа у «розовых» и в середине августа - у «оранжевых».

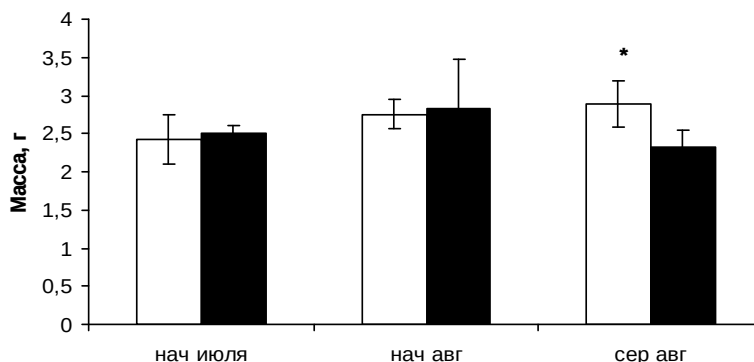


Белые столбики - «розовый» вариант животных, черные - «оранжевый»

*- $P < 0,05$ по сравнению с «оранжевым» вариантом

Рисунок 3.2.2.7 - Динамика средней длины тела голотурии *E. fraudatrix* в 2014 годах

Максимальные значения средней длины в начале августа 2014 г составили $4,28 \pm 0,12$ см для «розовых» и $4,5 \pm 0,45$ см для «оранжевых». В 2014 г. средняя масса, как и длина тела, не отличалась существенно у оранжевых и розовых животных, составив максимально $2,89 \pm 0,31$ г у «розовых» в середине августа и $2,83 \pm 0,65$ см у «оранжевых» в начале августа (рисунок 3.2.2.8). При этом появление минимумов массы у «розовых» (в начале августа) по времени опережало «оранжевых» (середина августа) на две недели.



Белые столбики - «розовый» вариант животных, черные - «оранжевый», *- $P < 0,05$ по сравнению с «оранжевым» вариантом

Рисунок 3.2.2.8 - Динамика средней массы голотурии *E. fraudatrix* в 2014 г

Согласно данным Крючковой [32], благоприятной для нереста голотурий поверхностной температурой морской воды являются 19-21 °С. В связи с этим, исследования были сфокусированы на сроках прогрева воды в придонном слое до 20 °С как соответствующей границе температур, благоприятных для нереста. Как показано в предшествующие годы исследований (2007-2009), такая температура воды в бухте Алексеева достигалась не раньше конца июля-начала августа, охлаждение ниже этой отметки происходило не позже середины сентября, а максимальные температуры не превышали 23°С [29]. Однако в 2014 г. прогрев воды до 20 °С произошел на две недели раньше, а максимальная температура составила 26,5 °С уже в начале августа. Обращает на себя внимание факт, что в более «холодные» 2007-2009 гг. средняя длина тела оранжевых голотурий в августе была выше, а розовых-ниже, чем в 2014 г. Так, в 2008 г. максимальная средняя длина тела оранжевых экземпляров составила 5,5 см, а розовых-3,8 см (наши неопубликованные данные) против 4,28 см и 4,5 см, соответственно, в 2014 г. Возможно, это связано с более ранним созреванием молодых особей оранжевого варианта с повышением температуры воды (фенотипически пластичный ответ, известный как «температурно-размерное правило» [33], и как следствие, увеличением в популяции молодых особей с маленьким размером тела, что сказывается снижением максимальной величины средней длины тела, как это показано на эктотермальных позвоночных [34] и беспозвоночных [35]. В отличие от более «прохладных» лет, достижение минимумов массы тела розового и оранжевого вариантов голотурий происходило в разное время. Это соответствует показанному нами также различию сроков появления минимумов гонадного индекса у розовых и оранжевых голотурий, соответственно, в начале и середине августа, что, по-видимому, свидетельствует о том, что розовые индивидуумы массово отнерестились на две недели раньше оранжевых.

Полученные данные свидетельствуют о том, что длительный период сохранения температуры морской воды на уровне около 20°С оказывал позитивное влияние на рост и накопление массы голотурий и сближение этих показателей для двух цветных форм. Вместе с тем, ранее для дальневосточной голотурии *Apostichopus japonicus* было показано неблагоприятное воздействие температуры выше 25°С [36]. Достижение таких температур происходило в 2014 г. и сопровождалось появлением минимумов массы розовых животных раньше, чем оранжевых. По-видимому, это отражает более ранний срок нереста розовых голотурий по сравнению с оранжевыми, и, вероятно, связано с большей чувствительностью «розовых» к температурному стрессу, порог которого близок к таковому для трепанга. Вместе с тем, отмеченное снижение средней максимальной длины оранжевых голотурий дает основание для заключения о том, что прослеживаемая тенденция к повышению

температуры морской воды может оказать негативное влияние на оба цветных варианта. Механизмы, обеспечивающие адаптивные возможности двух цветных вариантов *E. fraudatrix*, нуждаются в дальнейшем изучении.

Выводы

1) В 2014 г., в продолжение тенденций 2010 г., отмечен более ранний прогрев морской воды до 20 °С и дольшая продолжительность периода сохранения такой температуры (до середины сентября) по сравнению с 2007-2009 гг. При этом в 2014 г., как и в 2010 г., отмечены кратковременные периоды повышения температуры воды выше 25 °С.

2) Длительный период сохранения температуры морской воды на уровне около 20 °С оказывал позитивное влияние на рост и накопление массы голотурий и сближение этих показателей для двух цветных форм.

3) Ранний и длительный прогрев морской воды приводил к снижению средней максимальной длины тела и средней максимальной массы оранжевых, но не розовых, особей.

4) Даже непродолжительное повышение температур в августе 2014 г. выше 25°С, как и в 2010 г., приводило к опережающему сдвигу периода появления минимума массы у розовых особей по сравнению с оранжевыми, что, по-видимому, отражает более раннюю активацию их нерестовой активности.

5) Тенденция к повышению температуры морской воды, прослеживаемая с 2010 г., может оказать негативное влияние на оба цветных варианта. Нужны дополнительные исследования механизмов их адаптации к повышению температуры среды.

Список использованных источников

1 Долматова Л.С., Заика О.А, Тимченко Н.Ф. Влияние экстракта из дальневосточных видов голотурий на оксидантно-антиоксидантный баланс и апоптоз в макрофагах мышей при экспериментальной псевдотуберкулезной инфекции // Тихоокеанский медицинский журнал. 2012. №1 (47). С. 53-56.

2 Gottrup F., Apelqvist J., Bjarnsholt T. et al. Antimicrobials and non-healing wounds. Evidence, controversies and suggestions // *Journal of Wound Care*. 2013. Vol. 22, N 5. P. 1-89.

3 Shupp J.W., Nasabzadeh T.J., Rosenthal D.S. et al. A review of the local pathophysiologic bases of wound progression // *J. Burn Care Res*. 2010. Vol. 31. N 6. P. 849-873.

4 Долматова Л.С., Тимченко Н.Ф., Стасенко Н.Я. Характеристика состава и медико-биологические исследования комплекса биологически активных веществ из дальневосточных видов голотурий // Дальневосточные моря России. Книга 2. Исследование

морской экологии и биоресурсов / под.ред. В.А. Акуличева и В.П. Челомина. М.: Наука. 2007. С. 684-694.

5 Долматов И.Ю., Машанов В.С. Регенерация у голотурий. Владивосток: Дальнаука. 2007. 208 с.

6 Bukovsky A., Caudle M.R., Carson R.J. et al. Immune physiology in tissue regeneration and aging, tumor growth, and regenerative medicine // Aging. 2009. Vol. 1 (2). P. 157-181.

7 Wang N., Liang H., Zen K. Molecular mechanisms that influence the macrophage m1-m2 polarization balance // Front. Immunol. 2014. Vol. 5: P. 614.

8 Hernroth B., Farahani F., Brunborg G. et al. Possibility of mixed progenitor cells in sea star arm regeneration // J. Exp. Zool. B Mol. Dev. Evol. 2010. Vol. 314, N 6. P. 457-468.

9 Долматова Л.С., Елисейкина М.Г., Ромашина В.В. Антиоксидантная ферментативная активность целомоцитов дальневосточной голотурии *Eupentacta fraudatrix* // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2004. Т. 40, N 2. С. 104-111.

10 Долматова Л.С., Долматов И.Ю. Особенности экспрессии поверхностных маркеров различных фракций целомоцитов голотурии *Eupentacta fraudatrix* // Исследования в области физико-химической биологии и биотехнологии: Тез. докл. Региональной научной конференции. 16-18 ноября 2004, Владивосток. Владивосток: ДВО РАН. 2004. С.30.

11 Харченко С.В., Дорохова О.А., Шаповалова Е. Ю. Особенности распределения рецепторов лектинов в нормальном эмбриогенезе легких и почек крыс // Украинский медицинский альманах. 2009. Т. 12, № 3. С. 185-188.

12 Chia F., Xing J. Echinoderm coelomocytes // Zoological Studies. 1996. Vol. 35. P. 231-254.

13 McKenzie A.N.J., Preston T.M. Functional studies on Calliphoravomitoria haemocyte subpopulations defined by lectin staining and density centrifugation // Develop. Comp. Immunology. 1992. Vol. 16, N 1. P.19-30.

14 Долматова Л.С., Заика О.А. Исследование гормональной регуляции уровня ИЛ-1-подобных веществ при взаимодействии клеток отдельных фракций целомоцитов голотурии *Eupentacta fraudatrix* in vitro // Российский иммунологический журнал. 2012. Т. 6, № 3. С. 72-74.

15 Bulgakov A.A., Eliseikina M.G., Petrova I.Y. et al. Molecular and biological characterization of a mannan-binding lectin from the holothurian *Apostichopus japonicus* // Glycobiology. 2007. Vol. 17, N 12. P. 1284-1298.

16 Ширинский В.Г., Толстых М.П., Толстых П.И. и др. Молекулярно-клеточные механизмы лазерной и антиоксидантной коррекции заживления ран // Лазерная медицина. 2006. № 2. С. 40-46.

- 17 Беляков В.А., Васильев Р.Ф., Федорова Г.Ф. Кинетика окси-хемилюминесценции и ее использование для анализа антиоксидантов // Кинетика и катализ. 2004. Т.45, № 3. С.355-362.
- 18 Денисов Е.Т. Константы скорости гомолитических жидкофазных реакций. М.: Наука, 1971. 711 с.
- 19 Clardy J., Fischbach M.A., and Currie C.R. The natural history of antibiotics // Curr. Biol. 2009. Vol. 19.P. 437–441.
- 20 Дьячков И. С., Кудрявцев И. В., Сухачев А. Н. Изучение механизмов межклеточной кооперации в реакциях врожденного иммунитета иглокожих // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2006. № 3 (14). С. 57-60.
- 21 Ярилин А. А. Межклеточная кооперация при иммунном ответе. Выбор клеткой формы ответа // Иммунология. 1999. № 1. С. 17–24.
- 22 Legas E., Vaugier G.L., Bousquet F. et al. Primitive cytokines and cytokine receptors in invertebrates: the sea star *Asterias rubens* as a model of study // Scandinavian Journal of Immunology. 1996. Vol. 44. P. 375–380.
- 23 Pollack A., Ciancio G. Cell cycle phase specific analysis of cell viability using Hoechst 33342 and propidium iodide after Ethanol preservation // Methods in Cell Biology. 1990. Vol. 33. P.19-24.
- 24 Bradford M. M. A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // Analyt. Biochem. 1976. Vol. 72. P. 248-254.
- 25 Ballarin L., Cima F., Sabbadin A. New data on phagocytes and phagocytosis in the compound ascidian *Botryllus schlosseri* (Tunicata, Ascidiacea) // It. J. Zool. 1996. Vol. 63. P. 357-64.
- 26 Tedesco S., Bolego C., Toniolo A. et al. Phenotypic activation and pharmacological outcomes of spontaneously differentiated human monocyte derived macrophages // Immunobiology. 2015. Vol. 220. P. 545–554.
- 27 Gurst J.E., Sheikh Y.M., Djerassi C. Synthesis of corticosteroids from marine sources // J. American Chemical Society. 1973. Vol. 95, N 2. P. 628-629.
- 28 McAllister C. S., Lakhdari O., Pineton de Chambrun G., Gareau M. G., Broquet A. Lee G. H., Shenouda S., Eckmann L., Kagnoff M. F. TLR3, TRIF, and caspase 8 determine double-stranded RNA-induced epithelial cell death and survival in vivo // The Journal of Immunology. 2012. Vol. 190.P. 418-427.
- 29 Долматова Л.С. Исследование сезонной динамики роста голотурии *Eupentacta fraudatrix* // Морские прибрежные экосистемы. Водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки: тезисы докладов Четвертой Международной научно-практической

конференции, 19-22 сентября 2011 г., Южно-Сахалинск. Южно-Сахалинск: СахНИРО, 2011. С. 26-27.

30 Gayko L.A. Recent temperature changes along the Russian coast of the Japan sea // The 8th Ocean Science Workshop: Program of the East Asian Cooperative Experiments (PEACE): Abstracts, 29-31 August 2016, Vladivostok. Vladivostok: FEB RAS. 2016. P. 15.

31 Economo E.P., Kerkhoff A.J. Enquist B.J. Allometric growth, life-history invariants and population energetics // Ecol. Lett. 2005. Vol. 8. P. 353-360.

32 Крючкова Г.А. Краткий определитель личинок морских ежей, офиур и голотурий залива Петра Великого Японского моря: Препринт № 22. Владивосток: ИБМДВНЦАН СССР, 1987. 56 с.

33 Carey N., Sigwart J.D. Size matters: plasticity in metabolic scaling shows body-size may modulate responses to climate change // Biol. Lett. 2014. Vol. 10, N.8. pii: 20140408.

34 Martinez E., Porreca A.P., Colombo R.E., Menze M.A.. Tradeoffs of warm adaptation in aquatic ectotherms: live fast, die young? // Comp. Biochem. Physiol. A. Mol. Integr. Physiol. 2016.Vol. 191.P.209-215.

35 Sheridan J.A., Bickford D. Shrinking body size as an ecological response to climate change // Nat. Clim. Change. 2011.Vol. N 1. P. 401–406.

36 Левин В.С. Дальневосточный трепанг. Биология, промысел, воспроизводство. Санкт-Петербург: Голанд, 2000. 199 с.

Выводы:

1. Формирование мезомасштабных циклонов связано с прибрежным апвеллингом, вызываемым антициклональным вихрем ветра над Охотским морем и ветрами южных румбов над Сахалином, и приливным перемешиванием вод. Подъем глубинных вод с низкой температурой и высоким содержанием биогенных элементов в центре мезомасштабного циклона создает благоприятные условия для роста крупного диатомового фитопланктона и приводит к высоким концентрациям хлорофилла *a* (3–7 мкг/л) вблизи восточного побережья о. Сахалин в летний сезон.

2. Сезонные гидрохимические исследования основного солевого состава (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) вод эстуария р. Партизанской (залив Находка, Японское море) показывают, что на фоне ярко выраженного сезонного изменения общей минерализации соотношения между главными ионами в речной воде устьевой части реки в течение года не изменялись. Установлено, что смешение речных и морских вод в эстуарии имеет консервативный характер.

3. В поверхностных водах фронтальной области эстуария р. Артемовки в летний период были зарегистрированы экстремальные значения гидрохимических и продукционных характеристик (pH , $[\text{CO}_2]$, $C_{\text{хл. а}}$, $[\text{O}_2]$).

4. Впервые выявлена фундаментальная закономерность, характеризующая комплексный суточный химический режим морских вод. Показано, что относительные суточные вариации v в системе неконсервативных химических показателей увеличиваются с падением их среднесуточных концентраций $\langle P \rangle$ в диапазоне 10^2 – 10^{-4} мг/кг по степенному закону $v = \lambda \langle P \rangle^\mu$ с показателем степени $\mu < 0$ и нормировочным коэффициентом λ .

5. Характер изменений содержания общего органического углерода $[C_{\text{org}}^{\text{tot}}]$, углерода гуминовых веществ $[C_{\text{org}}^{\text{HS}}]$ и углерода микрофитобентоса $[C_{\text{org}}^{\text{Chl}}]$ в верхнем слое донных осадков эстуария повторяют друг друга – их содержание уменьшается при переходе река-лиман

6. На основе гидролого-гидрохимических наблюдений в период 2013–2015 гг. установлен сезонный характер гипоксии в южной части морского заповедника. Средняя скорость формирования гипоксии равна -6.6 мкмоль/(кг·сут). Придонные воды заповедника в 2014 году находились в состоянии гипоксии в течение трех недель. Скорость разрушения гипоксии была 40 мкмоль/(кг·сут).

7. На основе проведенных исследований было выявлено неоднородное пространственно-временное распределение содержания Hg^0 в Японском и Охотском морях в приповерхностном слое атмосферы как на уровне 2 м, так и на уровне 20 м от поверхности воды.

8. В результате взрыва водорода на АЭС Фукусима-1 и утечки загрязненной воды в окружающую среду попало большое количество радиоактивного вещества. Экспериментально показано, что за период март 2011-июнь 2012 г. произошло погружение искусственных радионуклидов в подповерхностные морские воды, с образованием максимума содержания на глубине 200-300 метров. На отдельных станциях зафиксировано появление ^{134}Cs на глубинах до 1000 метров. Подповерхностное пространственное распределение радионуклидов через год после аварии на АЭС Фукусима 1 показало вторжение (проникновение) подповерхностных вод через фронтальную зону течения Кюросио в южном направлении вплоть до 30° с.ш.

9. Представленные экспериментальные данные и результаты расчетов показали, что за счет быстрого погружения поверхностных вод на более глубокие горизонты произошло накопление радионуклидов в толще морских вод и гораздо более медленный последующий перенос в открытую часть Тихого океана, что представляет определенную опасность заражения гидробионтов вблизи побережья Японии.

10. Проведен расчет переноса и трансформации нефтяного загрязнения при аварии танкера с дизельным топливом на акватории залива Восток Японского моря для четырех сезонов 2015 года. Показано, что при южных ветрах нефтяное загрязнение поступает на акваторию морского биологического заповедника «Восток» и может принести вред морским организмам.

11. Определены концентрации 6 ПАУ в атмосферных аэрозолях г. Владивостока. Выявлен сезонный ход изменения концентраций ПАУ. При сравнении с концентрациями ПАУ в атмосферных аэрозолях других стран Азиатско-Тихоокеанского региона отмечено уменьшение градиента в следующем направлении: Китай (Шеньян) - Россия (Владивосток) - Корея (Сеул) - Япония (Канава).

12. Впервые были получены данные об особенностях преднерестового и нерестового поведения морского ежа *S. nudus*, свидетельствующие о доминировании реализации нереста в преднерестовом состоянии и о восстановлении привлекательности пищевого стимула после нереста.

13. Показано, что в пяти из восьми репродуктивных сезонов (2008–2015 гг.) имело место частичное или полное отсутствие нереста в сезон размножения морского ежа *S. intermedius* этого вида. Поэтому мы не исключаем, что демографическая аномалия и

блокирование нереста имеют общую причину, препятствующую нормальному воспроизводству этого вида морского ежа.

14. Проводимые в бухте Врангеля дноуглубительные и другие строительные работы оказывают отрицательное воздействие на морскую биоту (зоопланктон, включая меропланктон). Антропогенная нагрузка порта «Восточный» на акваторию бухты оказывает влияние на продуктивность водной экосистемы. Увеличение плотности *Pleopsis polyphemoides*, индикатора значительного загрязнения вод в районе бухты Врангеля (залив Находка), указывает на интенсивную эвтрофикацию вод бухты. Отмечена небольшая плотность меропланктона в бухте Врангеля, что свидетельствует о невысоком репродуктивном потенциале популяций донных беспозвоночных этой акватории.

15. Результаты генотоксического анализа свидетельствуют о критическом уровне загрязнения вод залива Находка, которое не проходит бесследно для обитающих в этом месте организмов, так как приводит к скрытым дефектам на уровне генома (повреждений структуры ДНК), которые могут иметь нежелательные и непредсказуемые последствия.

16. Установлено, что в западной части Берингова пролива весенняя миграция протекает с середины мая до середины июня, что указывает на задержку части берингово-чукотско-бофортской популяции в Беринговом море и её миграции в Чукотское море в поздние сроки. В летний период полярные киты обитают не только в море Бофорта, но и в водах северного побережья Чукотского полуострова. Встречи китов в летние месяцы в северном побережье Чукотского полуострова регулярны и не являются исключениями, связанными с ледовой обстановкой. Осенняя миграция полярных китов в прибрежных водах западной части Чукотского моря начинается перед началом становления льда и заканчивается в период сжатия и смерзания последних полыней. Она отличается большой вариабельностью, как по срокам, так и по динамике.

17. Сезонная динамика численности в целом вписывалась в установленную ранее закономерность: количество тюленей, одновременно использующих территорию лежбища, увеличивалось от лета к осени, достигнув максимальных значений в сентябре, после чего вновь снижалось в течение всего октября. Зарегистрированная максимальная численность ластоногих на лежбище примерно соответствовала уровню 2014 года. Как и в предыдущие годы, уровень антропогенного влияния на тюленей в устье залива следует считать значительным.

18. Показано, что репродуктивное взаимодействие сивучей Командорских о-вов и Камчатки несколько интенсивней, чем мы предполагали ранее на основе информации о расселении особей.

19. Полученные результаты свидетельствуют о том, что экстракты из бурых водорослей проявляют выраженный защитный эффект в условиях воздействия гепатотоксических агентов. Терапевтическая эффективность исследуемого препарата оказалась более выраженной, чем у эталонных гепатопротекторов («Эссенциале» и «Легалон»®).

20. Получены данные, свидетельствующие в пользу сложной системы активации фагоцитов у голотурий, что и могут быть использованы при разработке системы скрининга за состоянием здоровья животных в аквакультуре, а также при моделировании тест-систем для скрининга иммуномодуляторов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ:

Тема 0271-2014-0006. Взаимосвязь гидрохимических и биологических процессов в морских экосистемах в условиях современной хозяйственной деятельности и изменения климата.

2013 г.

1. Долматова Л. С., Заика О. А. Сравнительное исследование действия экстракта из голотурий и дексаметазона на уровень ИЛ-1 α -подобных белков в целомицитах голотурии *Eupentacta fraudatrix* // Российский иммунологический журнал. 2013. Т. 7 (16), № 2-3. С. 166.
2. Жадан П.М., Ващенко М.А., Лобанов В.Б., Сергеев А.Ф., Котова С.А. Исследование влияния факторов среды на нерест морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* // Вестник ДВО РАН. 2013. № 6. С.
3. Звалинский В.И., Тищенко П.П., Михайлик Т.А., Тищенко П.Я. Эвтрофикация залива Петра Великого / Коллективная монография, ТОИ ДВО РАН. Владивосток: Дальнаука, 2013.
4. Калинин В.В., Астахов А.С., Мишуков В.Ф., Аксентов К.И. Изменение концентрации атомарной ртути в приземном слое атмосферы над акваторией Уссурийского залива Японского моря во время прохождения тайфуна Болавен в 2012 г. // Метеорология и гидрология. 2013. № 5. С. 26-36.
5. Кушнерова Н.Ф., Момот Т.В. Использование комплекса олигомерных проантоцианидинов в период реабилитации после стационарного лечения хронического алкоголизма // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2013. № 1 (51). С. 28.
6. Нерода А.С., Мишуков В.Ф., Горячев В.А. Атмосферный перенос искусственных радионуклидов в Дальневосточном регионе Азии после аварии на АЭС "Фукусима-1" // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26, № 09. С. 749-753.
7. Мишуков В.Ф., Нерода А.С., Горячев В.А. Глобальный атмосферный перенос искусственных радионуклидов после аварии на АЭС Фукусима-1 // Охрана атмосферного воздуха. Атмосфера. 2013. №1. С. 4-12.
8. Мишукова Г.И., Пестрикова Н.Л., Верещагина О.Ф., Окулов А.К., Мишуков В.Ф. Пространственная и временная изменчивость распределения метана и его потоков на границе вода-атмосфера на курильских акваториях в районе Охотского моря и Тихого океана // Подводные исследования и робототехника / Владивосток: Дальнаука» ДВО РАН /. 2013. №1 (15) с. 52-61 ISSN 1992-4429

9. Мишукова Г.И., Мишуков В.Ф., Окулов А.К. Распределение метана и его потоков на границе вода-атмосфера на акватории залива Петра Великого (Японское море) // Вестник ДВО РАН. 2013. №6. с.120-127 ISSN 0869-7698

10. Спрыгин В.Г., Кушнерова Н.Ф., Фоменко С.Е. Влияние профилактического применения олигомерных проантоцианидинов на липидный обмен и антирадикальную активность печени крыс при поражении четыреххлористым углеродом // Сибирский медицинский журнал. 2013. Т. 116, № 1. С. 60-63.

11. Тищенко П.Я., Лобанов В.Б., Гуленко Т.А., Недашковский А.П., Попов О.С., Сагалаев С.Г., Тищенко П.П., Чичкин Р.В. Парциальное давление диоксида углерода в поверхностных водах залива Петра Великого в осенний период // Метеорология и гидрология. 2012. № 12. С. 77–87. ISSN 0130-2906

12. Тищенко П.Я., Михайлик Т.А., Тищенко П.П., Швецова М.Г., Шкирникова Е.М., Колтунов А.М., Сергеев А.Ф., Звалинский В.И. Особенности гидрохимических характеристик вод Амурского залива в июле 2008 г. // ВОДА: ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ. - Москва: ООО Издательский дом "БИБЛИО-ГЛОБУС", 2013. № 9. стр. 3–10. p-ISSN: 2072-8158

13. Фоменко С.Е., Кушнерова Н.Ф. Экспериментальная оценка токсического влияния ацетона на метаболические реакции печени в условиях повышенной влажности воздуха // Токсикологический вестник. 2013. № 2 (119). С. 9-14.

14. Фоменко С.Е. Растительные полифенолы в составе функциональных продуктов питания для сохранения здоровья студентов // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2013. № 1 (51). С. 40-41.

15. Шевченко О.Г., Селина М.С., Орлова Т.Ю., Морозова Т.В., Стоник И.В., Звалинский В.И., Тищенко П.Я. Фитопланктон Амурского лимана (Охотское море) в летние периоды 2005-2007 годов // Биология моря. - Москва: Издательство "Наука", 2013. Т. 39. № 2. стр. 85-97. ISSN: 0134-3475

16. Шевцова О.В. Связь суточной изменчивости и среднесуточных концентраций гидрохимических показателей в прибрежной зоне моря // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 2. С. 192-205. DOI: 10.7868/S0321059613010082

17. Шевцова О.В. Степенные соотношения суточной изменчивости и среднесуточных значений гидрохимических показателей // Актуальные проблемы современной науки. 2013. № 3. С. 312–317. ISSN: 1680-2721. Издательство "Спутник".

18. Чербаджи И.И., Звалинский В.И. Измерение метаболизма гидробионтов в непрерывных проточных системах: математическое обоснование и практическая реализация метода // Биология моря. 2013, том. 39. № 4, с. 294-299

19. Чижова Т.Л., Тищенко П.Я., Кондратьева Л.М., Кудряшова Ю.В., Каваниши Т. Полициклические ароматические углеводороды в эстуарии реки Амур // ВОДА: ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ. - Москва: ООО Издательский дом "БИБЛИО-ГЛОБУС", 2013. № 10. стр. 14–22. p-ISSN: 2072-8158
20. Чижова Т.Л., Кудряшова Ю.В., Прокуда Н.А., Тищенко П.Я. Распределение полициклических ароматических углеводородов в воде, взвеси и донных отложениях эстуариев рек залива Петра Великого // Вестник ДВО РАН. 2013. № 6. С.
21. Cherbady I. I., Zvalinsky V. I. Measuring the Metabolism of Marine Organisms in Continuous Flow Through Systems: A Mathematical Justification and Practical Implementation of a Method // Russian Journal of Marine Biology. 2013. V. 39. № 4, pp.295-300. DOI: 10.1134/S1063074013040020 ISSN: 1063-0740 (Print) 1608-3377 (Online)
22. Chizhova T., Hayakawa Kazuichi, Tishchenko P.Y., Nakase Hisatoshi, Koudryashova Y. Distribution of PAHs in the northwestern part of the Japan Sea // Part II. Deep Sea Research II. - Amsterdam: Elsevier, 2013. V. 86-87. pp. 19-24.
23. Kaplunenko D.D., Lobanov V.B., Tishchenko P.Y., Shvetsova M.G. Nitrate in situ measurements in the northern Japan Sea // Topical Studies in Oceanography // Deep-Sea Research II. - Amsterdam: ELSEVIER, 2013. V. 86-87. pp. 10–18. ISSN: 0967-0645
24. Prants S.V., Andreev A.G., Budyansky M.V., Uleysky M.Yu. Impact of mesoscale eddies on surface flow between the Pacific Ocean and the Bering Sea across the Near Strait // Ocean Modelling. 2013. V. 72. P. 143–152.
25. Semiletov I. P., Shakhova N. E., Pipko I. I., Pugach S. P., Charkin A. N., Dudarev O. V., Kosmach D. A., and Nishino S. Space-time dynamics of carbon and environmental parameters related to carbon dioxide emissions in the Buor-Khaya Bay and adjacent part of the Laptev Sea// Biogeosciences, 10, No.9, 5977-5996, 2013, doi: 10.5194/bg-10-5977-2013.
26. Shevtsova O.V. Relationships between diurnal variations and mean daily concentrations of hydrochemical characteristics in a sea coastal zone // Water Resources. 2013. V. 40. № 2, pp.181-193. DOI: 10.1134/S0097807813010089
27. Shevchenko O. G., Selina M. S., Orlova T. Yu., Morozova T. V., Stonik I. V., Zvalinsky V. I., and Tishchenko P. Ya. Phytoplankton of the Amur River Estuary (Sea of Okhotsk) during the summer periods of 2005–2007 // Russian Journal of Marine Biology. V. 39. № 1. p.92-106. ISSN: 1063-0740 (Print) 1608-3377
28. Sprygin V.G., Kushnerova N.F., Fomenko S.E., Sizova L.A., Momot T.V. The hepatoprotective properties of an extract from the brown alga *Saccharina japonica* // Russian Journal of Marine Biology. 2013. Vol. 39. No. 1. p. 65-69.

29. Tishchenko P. Ya., Lobanov V. B., Zvalinsky V.I., Sergeev A.F., Koltunov A., Mikhailik T.A., Tishchenko P.P., Shvetsova M.G., Sagalaev S., and Volkova T.I. Seasonal Hypoxia of Amursky Bay in the Japan Sea: Formation and Destruction // Terr. Atmos. Ocean. Sci., 2013. V. 24, № 6, pp. 1033-1050. p-ISSN: 1017-0839

30. Tishchenko P. Ya., Wong C. S., Johnson Wm. K. Measurements of Dissociation Constants of Carbonic Acid in Synthetic Seawater by Means of a Cell Without Liquid Junction // J. Solution Chem. 2013. V. 42. № 11. P. 2168-2186. DOI: 10.1007/s10953-013-0094-7. e-ISSN: 1572-8927. p-ISSN 0095-9782

31. Tishchenko P. Ya., Lobanov V.B., [Gulenko](#) T. A., Nedashkovskii A. P., Popov O. S., Sagalaev S. G., Tishchenko P.P., Chichkin R. V. Partial pressure of carbon dioxide in the peter the great bay surface water in the autumn // Russian Meteorology and Hydrology. V. 37. Is. 11-12. pp. 775-782. DOI: 10.3103/S106837391211012X p-ISSN: 1068-3739. e-ISSN:1934-8096.

32. Zaika O. A., Dolmatova L. S. Cooperative apoptosis of coelomocytes of the holothurian *Eupentacta fraudatrix* and its modulation by dexamethasone. Advances in Bioscience and Biotechnology, 2013, 4, No 9. P. 908-917.

2014 г.

1. Бельчева Н.Н., Кудряшова Ю.В., Истомина А.А., Чиждова Т.Л. Возрастное изменение реакций антиоксидантных ферментов в жабрах приморского гребешка *Mizuhopectenyessoensis* на окислительный стресс // Вопросы рыболовства. 2014. Т. 15, № 3. С. 306-313.

2. Васильев Р.Ф., Вепринцев Т.Л., Долматова Л.С., Наумов В.В., Трофимов А.В., Цаплев Ю.Б. Кинетика оксигемиллюминесценции этилбензола в присутствии антиоксидантов из тканей морского беспозвоночного *Eupentacta fraudatrix*. Оценка содержания и реакционной способности природных антиоксидантов // Кинетика и катализ. 2014. Т. 55, № 2. С. 157-162.

3. Довженко Н.В., Бельчева Н.Н., Челомин В.П. Реакция антиоксидантной системы мидии Грея *Crenomytilusgrayanus* как индикатор загрязнения прибрежных акваторий (залив Петра Великого (Японское море) // Вестник МГОУ. Сер. «Естественные науки». 2014. № 4. С.57-66.

4. Долматова Л.С., Уланова О.А. Влияние экстракта из голотурий на скорость заживления раны поверхностного покрова и динамику концентрации целоцитов в модельном эксперименте // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2014. № 3 (57). С. 23-25.

5. Долматова Л.С., Уланова О.А. Изменения антиоксидантной ферментативной активности фагоцитов и морулярных клеток голотурии *Eupentacta fraudatrix* при

взаимодействии клеток и их модуляция дексаметазоном // Фундаментальные исследования. 2014. № 5. С. 276-282.

6. Долматова Л.С., Уланова О.А., Долматов И.Ю. Сравнительное исследование действия дексаметазона и нового экстракта из голотурий на уровень цитокиноподобных веществ в отдельных типах иммунцитов голотурии *Eupentacta fraudatrix* // Тихоокеанский медицинский журнал. 2014. Т. 55, № 1. С. 34-38.

7. Дроздов А.Л., Кару Т.Й., Чудновский В.М., Юсупов В.И., Баграташвили В.Н. Влияние низкоинтенсивного красного светодиодного и лазерного излучений на двигательную активность сперматозоидов морских ежей // Доклады академии наук. 2014. Т. 457, № 4. С. 487-490.

8. Захарков С.П., Шамбарова Ю.В., Гордейчук Т.Н., Стоник И.В., Штрайхерт Е.А. Возможность использования данных зонда SBE для калибровки спутниковых данных концентрации хлорофилла А в Японском море // Известия ТИНРО. 2014. Т. 177. С. 209-218.

9. Кузин А.Е., Трухин А.М. Масса позвонков по отделам позвоночного столба у ластоногих (*Hippipedia*) и способ их локомоции // Зоол. журнал. 2014. Т. 93. № 11. С. 1369-1374.

10. Лесникова Л.Н., Кушнерова Н.Ф., Фоменко С.Е., Спрыгин В.Г., Мерзляков В.Ю. Применение экстракта из туники асцидии пурпурной для восстановления липидного обмена печени при стрессе // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2014. № 2(56). С. 44-47.

11. Недашковский А.П., Лесенков С.Б. Изменчивость парциального давления CO_2 в поверхностной структурной зоне в Евразийском секторе Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2014. № 3 (101). С. 37-47.

12. Недашковский А.П., Бондарева Е.П. Аномалия концентрации CO_2 на поверхностном горизонте в Арктическом бассейне летом 2007 г. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2014. № 4 (102). С. 45-49.

13. Павлова Г.Ю., Тищенко П.Я., Михайлик Т.А., Семкин П.Ю., Шкирникова Е.М. Гидрохимический режим эстуария реки Раздольной (Амурский залив, Японское море) // Вода: химия и экология. 2014. № 12, С.16-25.

14. Пермяков П.А., Рязанов С.Д., Трухин А.М., Мамаев Е.Г., Бурканов В.Н. Успешность размножения сивуча (*Eumetopias jubatus*) на островах Брат Чирпоев и Медный, 2001-2011 гг. // Биология моря. 2014. Т. 40. Вып. 6. С. 449-454.

15. Плетнев С.П., Аннин В.К., Ву Ю., Тарасова Т.С. Фораминиферы и изотопия (O16/O18 и C12/C13) их раковин в местах выхода метана на восточном склоне о. Сахалин (Охотское море) // Известия ТИНРО. 2014. Т.178. С. 180-190.

16. Попов А.Н., Раков В.А., Лазин Б.В., Еловская О.А., Васильева Л.Е. Междисциплинарные исследования археологического памятника Боярин-6 (Владивосток, остров Русский) в 2013 г.: предварительные данные // Гуманитарные исследования в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. 2014. № 1 (27). С. 20-27.
17. Пономарева Т.И., Добряков Ю.И. Исследование иммуностропных свойств экстрактов асцидий // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 4 (63). Ч.II. С. 228-231.
18. Пономарева Т.И. Применение экстракта асцидии для оптимизации гомеостатических процессов при хронической интоксикации этанолом // В мире научных открытий. 2014. №12 (60). С. 62-71.
19. Рязанов С.Д., Белонович О.А., Мамаев Е.Г., Никулин В.С., Фомин С.В., Бурканов В.Н. Образование локальной популяции, динамика и современное состояние численности сивуча (*Eumetopias jubatus*) на Командорских островах // Известия ТИНРО. 2014. Т. 176. С. 100-114.
20. Спрыгин В.Г., Фоменко С.Е., Кушнерова Н.Ф. Защитное действие липидной фракции из морской зеленой водоросли *Ulva fenestrata* при поражении печени крыс четыреххлористым углеродом // Фундаментальные исследования. 2014. № 8 (Часть 1). С. 110-114.
21. Тищенко П.П., Тищенко П.Я., Звалинский В.И., Семкин П.Ю. Скорость биохимического потребления кислорода при формировании гипоксии в Амурском заливе (Японское море) // ДАН. 2014. Т. 459, № 6. С. 750-754
22. Федорец Ю.В. Ихтиофауна различных биотопов прибрежного мелководья и эстуариев рек залива Петра Великого // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 1 (4). С. 1180-1184.
23. Istomina A.A., Belcheva N.N. and Chelomin V.P. Antioxidant System of the Intertidal Mollusk *Littorina kurila* in its Natural Habitat // Journal of Environmental Science and Engineering. 2014. V. A2. P. 319-331.
24. Neroda A.S., Mishukov V.F., Goryachev V.A., Simonenkov D.V., Goncharova A.A. Radioactive isotopes in atmospheric aerosols over Russia and the Sea of Japan following nuclear accident at Fukushima Nr.1 Daiichi Nuclear Power Station in March 2011 // Environmental Science and Pollution Research. 2014. V. 21, № 8. P. 5669-5677.
25. Semkin B.I., Petropavlovskii B.S., Kislov D.E., Zuev Yu.F. Bioinformatics technologies in the construction of environmental maps // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. 2014. № 24(1). P. 144-150.

2015 г.

1. Долматова Л.С. Скорость заживления раны у голотурии *Eupentacta fraudatrix* зависит от количества циркулирующих фагоцитов и уровня их апоптоза // Медицинская иммунология. 2015. Т. 17, № 3S. С. 18.
2. Дроздов А.Л., Чудновский В.М., Юсупов В.И. Негативное влияние низкоинтенсивного импульсного электромагнитного излучения на гаметы и эмбрионы морских ежей // Биота и среда заповедников Дальнего Востока. 2015. № 5. С. 85-92.
3. Калитина Е.Г., Михайлик Т.А., Семкин П.Ю., Барабанщиков Ю.А., Зорин С.А. Особенности микробиологического состава вод реки Раздольной (Южное Приморье) // Известия ТИНРО. 2015. Т. 180. С. 187-197.
4. Лесникова Л.Н., Кушнерова Н.Ф., Момот Т.В. Эффективность применения экстракта из туники асцидии пурпурной (*Halocynthia aurantium*) при действии различных стрессорных факторов // Инновационная наука. 2015. № 11(3). С. 241-244.
5. Лесникова Л.Н., Кушнерова Н.Ф., Фоменко С.Е., Момот Т.В. Влияние экстракта из туники морского гидробионта асцидии пурпурной на стрессовые нарушения жирнокислотного состава мембран эритроцитов // Medicus. 2015. № 6. С. 136-138.
6. Павлова Г.Ю., Тищенко П.Я., Семкин П.Ю., Шкирникова Е.М., Михайлик Т.А., Барабанщиков Ю.А. Гидрохимический режим эстуария реки Партизанской (залив Находка, Японское море) // Водные ресурсы. 2015. Т. 42, № 4. С. 396-405. DOI: 10.7868/S0321059615040112.
7. Пономарева Т.И. Применение экстрактов асцидий при моделировании иммунной недостаточности // В мире научных открытий. 2015. № 10.1. С. 477-486.
8. Пономарева Т.И., Добряков Ю.И. Влияние экстрактов асцидий на формирование первичного иммунного ответа // Актуальные вопросы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 7 (78), Ч. II. С. 138-140.).
9. Слободскова В.В., Кукла С.П., Челомин В.П. Анализ качества морской среды на основе определения генотоксичности ДНК клеток жабр приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1856) // Биология моря. 2015. Т. 41, № 6. С. 457-460.
10. Спрыгин В.Г., Кушнерова Н.Ф., Фоменко С.Е., Момот Т.В., Павлова Т.В. Липидная фракция из морской бурой водоросли *Saccharina japonica* как фармакологическое средство при гепатозах // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17, № 5. С. 214-218.

11. Трухин А.М. Современная численность ларги (*Phocalargha*) в Дальневосточном морском заповеднике: неустойчивое равновесие или устойчивый рост? // Известия ТИНРО. 2015. Т. 182. С. 48-54.
12. Трухин А.М., Колосова Л.Ф., Слинко Е.Н. Тяжелые металлы в органах тихоокеанских моржей (*Odobenus rosmarus divergens*) с Чукотского полуострова // Экология. 2015. № 6. С. 466-469.
13. Уланова О.А., Долматова Л.С. Апоптозстимулирующее взаимовлияние фагоцитов второго типа и морулоподобных клеток голотурии *Eupentacta fraudatrix* и его модуляция дексаметазоном // Интер-медикал. 2015. № 5 (11). С. 91-95.
14. Чижова Т.Л., Кудряшова Ю.В., Тищенко П.Я. Исследование загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами поверхностных вод Японского моря // Вода: химия и экология. 2015. № 7. С. 3-9.
15. Шевцова О.В. Рост относительной суточной изменчивости в системе гидрохимических показателей в Амурском заливе Японского моря // Доклады Академии наук. 2015. Т. 460, № 2. С. 220-223. DOI: 10.7868/S08695652150208.
16. Altukhov A.V., Andrews R.D., Calkins D.G., Gelatt T.S., Gurarie E.D., Loughlin T.R., Mamaev E.G., Nikulin V.S., Permyakov P.A., Ryazanov S.D., Vertyankin V.V., Burkanov V.N. Age specific survival rates of Steller sea lions at rookeries with divergent population trends in the Russian Far East // PlosONE. 2015. V. 10. No. 5. e0127292. doi: 10.1371/journal.pone.0127292.
17. Dolmatova L.S., Ulanova O.A. Dexamethasone treatment in vitro resulted in different responses of two fractions of phagocytes of the holothurian *Eupentacta fraudatrix* // Russian Journal of Marine Biology. 2015. V. 41, № 6. P. 503-506.
18. Feng X., Gustafsson Ö., Holmes R.M., Vonk J.E., van Dongen B.E., Semiletov I.P., Dudarev O.V., Yunker M.B., Macdonald R.W., Wacker L., et al. Multimolecular tracers of terrestrial carbon transfer across the pan-Arctic: ¹⁴C characteristics of sedimentary carbon components and their environmental controls // Global Biogeochem. Cycles. 2015. V. 29. DOI:10.1002/2015GB005204.
19. Guravskaya G.I., Kasatkina A.P. Specific features of the head region in euconodont animals // Zoosystematica Rossica. 2015. V. 24, № 1. P. 122-127.
20. Kostenko V.A., Nesterenko A.V., Trukhin A.M. Mammals of the Kuril Islands. Part 19 // Forest Protection (СинринХокаку). 337. 2015. № 3. С. 5-8.
21. Kostenko V.A., Nesterenko A.V., Trukhin A.M. Mammals of the Kuril Islands. Part 20 // Forest Protection (СинринХокаку). 340. 2015. № 12. С. 28-32.

22. Пипко И.И., Пугач С.П., Репина И.А., Дударев О.В., Чаркин А.Н., Семилетов И.П. Распределение и потоки углекислого газа на шельфе Чукотского моря // Исследование Земли из Космоса. 2015. № 3. С. 43-59.

23. Zhadan P.M., Vaschenko M.A., Almyashova T.N. Spawning failure in the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* in the northwestern Sea of Japan: Potential environmental causes // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2015. V. 465. P. 11-23.

2016 г.

1. Бельчева Н.Н., Довженко Н.В., Истомина А.А., Жуковская А.Ф., Кукла С.П. Антиоксидантная система мидии Грея *Grenomytilus grayanus* (Dunker, 1853) и приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1857) (*Mollusca: Bivalvia*) // Биология моря. 2016. Т. 42, № 5. С. 375-380.

2. Долматова Л.С. Межгодовые различия в скорости роста голотурии *Eupentacta fraudatrix* в зависимости от температуры среды // Региональные проблемы. 2016. Т. 19, № 4. С. 46-50.

3. Звалинский В.И., Тищенко П.Я. Моделирование фотосинтеза и роста морского фитопланктона // Океанология. 2016. Т. 56, № 4. С. 577-591.

4. Истомина А.А., Бельчева Н.Н., Звягинцев А.Ю., Дзюбенко Е.В., Елур И.В. Оценка степени загрязнения морских акваторий в заливе Петра Великого (Японское море) по содержанию метаболитов полициклических ароматических углеводородов в желчи дальневосточной краснопёрки *Tribolodon brandtii* // Вода: химия и экология. 2016. № 7. С. 16-22.

5. Касаткина А.П. Морские стрелки (*Chaetognatha*) арктических морей России: пять новых видов семейства *Sagittidae* из моря Лаптевых // Зоологический журнал. 2016. Т. 95, № 9. С. 1017-1028.

6. Касаткина А.П., Косьяненко Д.В., Косьяненко А.А. Щетинкочелюстные (*Chaetognatha*) залива Восток Японского моря // Biodiversity and Environment of Far East Reserves. 2016. № 3. С. 99-112.

7. Лесникова Л.Н., Кушнерова Н.Ф., Фоменко С.Е., Спрыгин В.Г., Момот Т.В. Применение экстракта из туники асцидии пурпурной для восстановления физиологических параметров эритроцитов при действии четыреххлористого углерода // *Ceteris paribus*. 2016. № 3. С. 16-18.

8. Лесникова Л.Н., Кушнерова Н.Ф., Фоменко С.Е., Спрыгин В.Г., Момот Т.В. Влияние экстракта из туники асцидии пурпурной на функциональные свойства эритроцитов при гиперхолестеринемии // *Ceterisparibus*. 2016. № 4. С. 72-74.
9. Мельников В.В., Федорец Ю.В. Распределение зоопланктона и полярного кита *BalaenamysticetusLinnaeus*, 1758 в заливе Академии Охотского моря // *Биология моря*. 2016. Т. 42, №. 3. С. 189-194.
10. Михайлик Т.И., Фёдорова И.В. Сезонные гидрологические и гидрохимические работы на станции Новозазаревская в период 61-й Российской антарктической экспедиции // *Российские полярные исследования*. 2016. № 4 (26). С. 15-17.
11. Недашковский А.П., Савельева Н.И., Морозова О.А., Тимохов Л.А. Распределение кислорода и дефицита кислорода в атлантических водах в Евразийском суббассейне Северного Ледовитого океана // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2016. №1 (107). С. 61-73.
12. Пономарева Т.И. Исследование иммуностропной активности экстракта асцидии при моделировании токсического гепатита // *В мире научных открытий*. 2016. № 6 (78). С. 80-91.
13. Фадеева Ю.И., Кавун В.Я., Слободскова В.В., Челомин В.П. Влияние наночастиц оксида меди (II) и иона Cu на образование продуктов перекисного окисления липидов в жабрах мидии Грея *Crenomytilusgrayanus* (Dunker, 1853) (*Bivalvia:Mytilidae*) в условиях лабораторного эксперимента // *Вестник МГОУ. Сер.: Естественные науки*. 2016. № 3. С.74-83.
14. Фадеева Ю.И., Кавун В.Я., Слободскова В.В., Челомин В.П. Влияние оксида меди (II) и иона Cu на изменение микроэлементного состава органов мидии Грея *Crenomytilusgrayanus* (Dunker, 1853) (*Bivalvia:Mytilidae*) в условиях лабораторного и натурного экспериментов // *Вестник МГОУ. Сер.: Естественные науки*. 2016. № 3. С.84-97.
15. Федорец Ю.В., Васильева Л.Е., Раков В.А., Колосова Л.Ф, Косьяненко А.А., Еловская О.А. Современное состояние сообществ планктона и бентоса на шельфе северо-восточного Сахалина в районе Южно-Кириновского газоконденсатного месторождения // *Вестник МГОУ. Сер.: Естественные науки*. 2016. С. 36-46.
16. Фоменко С.Е., Кушнерова Н.Ф., Спрыгин В.Г., Момот Т.В. Антиоксидантные и стресс-протекторные свойства экстракта из морской зеленой водоросли *UlvalactucaLinnaeus*, 1753 // *Биология моря*. 2016. Т. 42, № 6. С. 465-470.
17. Фоменко С.Е., Кушнерова Н.Ф., Спрыгин В.Г., Парфенова Т.В., Момот Т.В. Применение экстракта из морской зеленой водоросли ульвы продырявленной (*Ulvafenestrata*) в составе функционального пищевого продукта для профилактики нарушений антиоксидантной защиты организма студентов // *ScientificandPracticalJournalofHealthandLifeSciences*. 2016. № 1. С. 43-48.

18. Istomina A.A., Belcheva N.N., Slinko E.N., Chelomin V.P. Effect of marine environment remediation on oxidative stress indicators and metals in the digestive gland of the mussel *Crenomytilusgrayanus* // Journal Environmental Studies. 2016. V. 2, № 1. P. 5.
19. Fomenko S.E., Kushnerova N.F., Sprygin V.G. Antioxidant properties of the extract from the brown seaweed *Sargassum pallidum* at stress impact // Journal of Stress Physiology & Biochemistry. 2016. V. 12, № 4. P. 15-22.
20. Fomenko S.E., Kushnerova N.F., Sprygin V.G., Drugova E.S., Momot T.V. Chemical composition and biological action of rowanberry extract // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2016. V. 42, № 7. P. 80-85.
21. Kasatkina A.P. ThebathypelagicChaetognatha from the Laptev Sea: new genus *Protoheterokrohniagen. n.* (*Chaetognatha, Tokiokaipadellidae*) and four new species // Biology Bulletin. 2016. V. 43, № 9. P. 18-26.
22. Morozova T.V., Orlova T.Y., Efimova K.V., Lazaryuk A.Y., BurovB.A. Scrippsiellatrochoidea cysts in recent sediments from Amur Bay, Sea of Japan: distribution and phylogeny // Botanica Marina. 2016. V. 59, № 2-3. C. 159-172.
23. Штрайхерт Е.А., Захарков С.П. О пространственно-временной изменчивости концентрации хлорофилла-а на шельфе залива Петра Великого при зимне-весеннем цветении фитопланктона по спутниковым и подспутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2016. № 1-2. С. 161-172.
24. Tishchenko P., Tishchenko P., Lobanov V., Sergeev A., Semkin P., Zvalinsky V. Summertime in situ monitoring of oxygen depletion in Amursky Bay (Japan/East Sea) // Continental Shelf Research. 2016. V. 118. P. 77-87.
25. Zhadan P.M., Vaschenko M.A., Lobanov V.B., Sergeev A.F., Kotova S.A. Fine-scale temporal study of the influence of hydrobiological conditions on the spawning of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* // Marine Ecology Progress Series. 2016. V. 550. P. 147-161.
26. Звалинский В.И., Марьяш А.А., Тищенко П.Я., Сагалаев С.Г., Тищенко П.П., Швецова М.Г., Чичкин Р.В., Колтунов А.М. Продукционные характеристики эстуария реки Раздольная в период ледостава // Известия ТИНРО. 2016. Т. 185. С. 155-174. (0,5)
27. Hayakawa K., Makino F., Yasuma M., YoshidaSh., Chondo Y., Toriba A., Kameda T., Tang N., Kunugi M., Nakase H., KinoshitaCh., Kawanishi T., ZhouZh., QingWu, Mishukov V., Tishchenko P., Lobanov V.B., Chizhova T., KoudryashovaYu. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Water of the Southeastern Japan Sea // Chemical and Pharmaceutical Bulletin. 2016. V. 64, № 6. P. 625-631.

**Охраняемые объекты интеллектуальной собственности (патенты),
зарегистрированные в России:**

1. Гепатопротекторное средство из морских водорослей: Пат.2528898 С1 Российская Федерация /В.Г. Спрыгин., Н.Ф.Кушнерова, С.Е.Фоменко, Т.В.Мамонт - № 2013121909, заявл. 13.05.2013; опубл. 20.09.2014, Бюл.26.

2. Планктонный стакан / А.А. Косьяненко, С.Б. Ярусова – з. № 2015155784, заявл. 24.12.2015.

3. Гепатопротекторное средство из морских водорослей / В.Г. Спрыгин, Н.Ф. Кушнерова, С.Е. Фоменко – з. № 2016116700, заявл. 27.04.2016.