

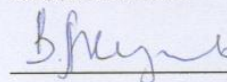
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ТИХООКЕАНСКИЙ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. В.И.ИЛЬИЧЕВА  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ТОИ ДВО РАН)

УДК 574.5+552.14+504.42.054[(026)

УТВЕРЖДАЮ

№ госрегистрации  
01201256065

Директор ТОИ ДВО РАН  
академик РАН



“12”



ОТЧЕТ

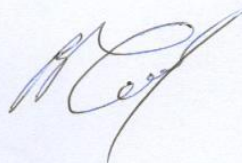
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

Взаимосвязь гидрохимических и биологических процессов в морских экосистемах в условиях современной хозяйственной деятельности и изменения климата

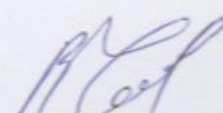
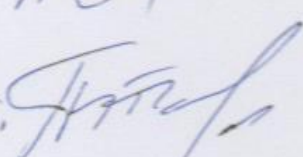
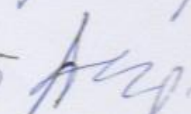
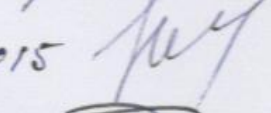
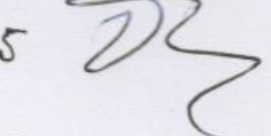
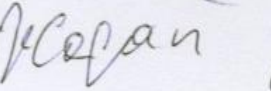

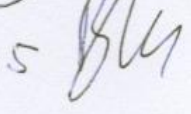
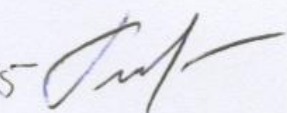
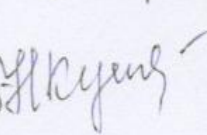
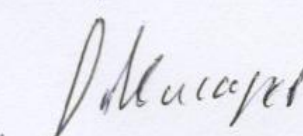


(промежуточный)

Руководитель НИР  
д-р биол. наук



В.П. Челомин

## СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Зам. директора по научной работе	10.03. 	В.П. Челомин
д.б.н.		
Зав. лаб. 5/4	10.03.2015, 	П.Я. Тищенко
д.х.н.		
Вед. науч. сотр.	10.03.2015 	А.Г. Андреев
д.х.н.		
Вед. науч. сотр.	10.03.2015 	А.П. Недашковский
к.х.н.		
Вед. науч. сотр.	10.3.2015 	О.В. Дударев
к. г.-м. н.		
Зав. лаб. 5/3	10.3.2015 	П.М. Жадан
д.б.н.		
Гл. науч. сотр.	10.03.2015, 	В.А. Раков
д.б.н.		
Вед. науч. сотр.	10.03.2015 	В.В. Мельников
д.б.н.		
ст. науч. сотр.	10.03.15 	И.И. Пипко
к.г.н.		
Зав. лаб. 4/2	10.03.2015 	Н.Ф. Кушнерова
д.б.н.		
Вед. науч. сотр.	10.3.15 	В.Ф. Мишуков
к.х.н.		
Зав. лаб. 4/1	10.03.15 	В.М. Чудновский
д.ф.-м.н.		
Вед. науч. сотр.	10.03.15 	Л.С. Долматова
к.б.н.		

## РЕФЕРАТ

УДК 574.5+552.14+504.42.054[(026)]

Отчет 76 с., 18 рис., 7 табл., 179 источников

ХЛОРОФИЛЛ, ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ, ГИДРОХИМИЯ, БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, ГИПОКСИЯ, РЕЧНОЙ СТОК, СЕДИМЕНТОГЕНЕЗ, 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 – ТОИ ДВО РАН.

Приводятся результаты исследований за период 2014 год. 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 Амурском и Уссурийском заливах. Изучены процессы, определяющие пространственно-временную изменчивость гидрохимических параметров и концентрации хлорофилла в водах Охотского и Японского морей. Представлен обширный фактический материал и обсуждаются проблемы седиментогенеза в морях Востока России.

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 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

<b>1</b>	<b>Комплексные океанолого-гидрохимические исследования морской среды</b>	
1.1	Динамика биогенных элементов и концентрации хлорофилла- <i>a</i> в ДВ морях	6-8
1.2	Эвтрофикация залива Петра Великого. Оценка эвтрофикации вод Уссурийского залива. Экспедиционные исследования залива Посъета	9-14
1.3	Консервативное и неконсервативное поведение щелочности в эстуариях рек Раздольной и Амура	15-19
1.4	Современное осадкообразование в эстуарии реки Амур	20-25
1.5	Исследование особенностей динамики карбонатной системы и растворенного окрашенного органического вещества в морях Восточной Арктики и Берингова моря	26-30
1.6	Расчет полей течений на акватории Охотского моря и прилегающих районов Тихого океана	31-32
1.7	Изучение поведения ртути в приземном слое атмосферы на акваториях Японского и Охотского морей	33-35
1.8	Изучение поведения полициклических ароматических углеводородов и радиоактивных соединений в атмосфере и морской среде в регионе восточной Азии	36-39
<b>2</b>	<b>Экологические исследования морских организмов</b>	
2.1	Исследование механизма блокирования нереста у морских ежей, вызванное межгодовыми флуктуациями гидрологического режима )	40-49
2.2	Характеристика морской биоты и оценка антропогенного воздействия на припортовые акватории в заливах Посъета и Находка	50-53
2.3	Генотоксический мониторинг прибрежной зоны залива Петра Великого	54-57
2.4	Исследования экологии морских млекопитающих(серые киты)	58-60
<b>3</b>	<b>Биологическая активность природных комплексов из гидробионтов и лазерного излучения</b>	

3.1	Исследование гепатопротекторных свойств экстракта из бурой водоросли <i>Laminaria japonica</i>	61-64
3.2	Исследование спектра цитокиноподобных веществ голотурии <i>Eupentacta fraudatrix</i>	65-67
3.3	Экспериментальные и теоретические исследования лазерной деструкции биологической ткани	68-70
	Выводы.....	71-73
	Приложение ...	74-76



# 1. Комплексные океанолого-гидрохимические исследования морской среды

## 1.1 Динамика биогенных элементов и концентрации хлорофилла-*a* в ДВ морях

Изучены межгодовые изменения химических параметров морской воды и концентрации хлорофилла-*a* в Японском море, используя экспедиционные данные (по температуре, солености, гидрохимическим параметрам и концентрациям хлорофилла *a*), предоставленные Центрами океанографических данных Кореи и Японии. В дополнение к экспедиционным данным нами использовались спутниковая информация по концентрациям хлорофилла-*a* в поверхностном слое вод (сканер цвета морской воды SeaWiFS ИСЗ SeaStart и MODIS ИСЗ Terra/Aqua, <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>).

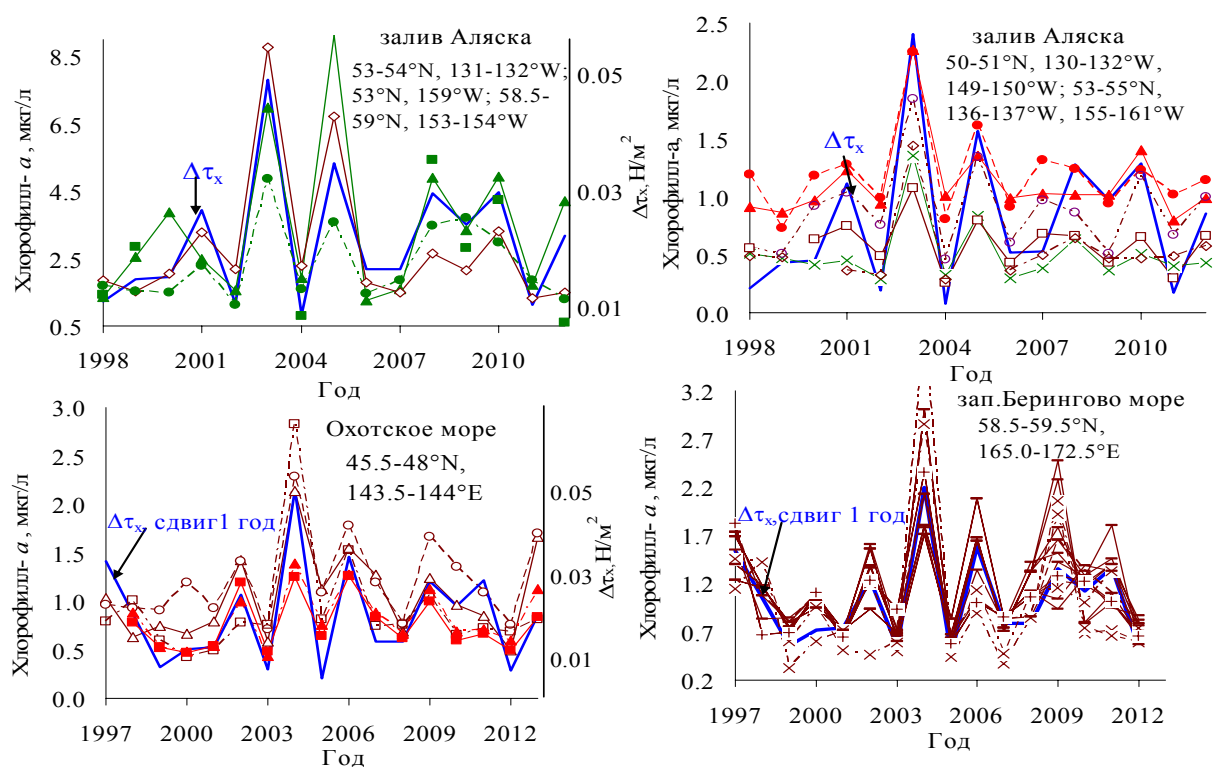


Рисунок 1.1.1 - Межгодовые изменения расхода вод через Цусимский пролив и межгодовые изменения концентрации растворенного кислорода, азот-фосфорного отношения (N/P) на горизонте 50 м в Японском море (36.0–39.5° с.ш., 132.5–136.5° в.д.) и межгодовые изменения концентрации хлорофилла в поверхностном слое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

Ранее нами было установлено, что с 1978 по 2008 г. в центральной и южной частях Японского моря наблюдались тенденции к повышению содержания растворенного неорганического азота (N), уменьшению неорганического фосфора (P) и снижению концентрации хлорофилла-*a* на горизонте 50 м и его увеличению в слое 0-30 м. Межгодовые вариации в поступлении вод Восточно-Китайского моря через Цусимский пролив определяют межгодовые изменения химических параметров морской воды и концентрацию хлорофилла-*a* в Японском море. С 2009 по 2012 г. в поверхностном слое вод (0–100 м) центральной и южной частей Японского моря наблюдались пониженные концентрации растворенного кислорода, повышенное N:P соотношение (равное 14) и относительно высокие концентрации хлорофилла-*a* в 0–30 м слое и низкие концентрации хлорофилла-*a* на горизонте 50 м. Наблюдаемые тенденции в N, P и концентрациях растворенного кислорода и хлорофилла-*a* связаны с усилением влияния прибрежных вод Восточно-Китайского моря на воды Японского моря (рис.1.1.1).

В 2013 г. исследовали формирование мезомасштабных вихрей (горизонтальный масштаб ~ 100 км) и их влияние на биологическую продуктивность вод Берингова и Охотского морей на основе спутниковых спутниковой информации, получаемой с MODIS ИСЗ Terra/Aqua и SeaWIFS ИСЗ SeaStar (концентрация хлорофилла-*a* в поверхностном слое морской воды) и Торех/Poseidon, Jason-1, 2 (уровень моря). Анализ спутниковой информации за период с 1993 по 2013 гг. показал, что 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. Время жизни мезомасштабных антициклонических вихрей составляет 1-2 года. Поступление положительных аномалий уровня из северной части Тихого океана через Алеутские и Курильские проливы вызывает образование антициклонических вихрей, соответственно, в Беринговом и Охотском морях.

Берингово и Охотское моря и залив Аляска относятся к числу наиболее продуктивных районов Мирового океана. Антициклонические вихри (АЦ), перемещающиеся вдоль глубоководных склонов залива Аляска, Охотского и Берингова морей 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. Они формируют зоны с высокой биомассой фитопланктона и соответственно повышенными концентрациями хлорофилла. Межгодовые изменения концентрации хлорофилла-*a* в глубоководной части Берингова моря хорошо согласуются с

изменениями концентрации хлорофилла в Охотском море и заливе Аляска (северо-восточная часть Тихого океана).

Наличие АЦ вихрей и их интенсивность определяет концентрацию хлорофилла в поверхностном слое вод вдоль берегового склонов Курильской котловины Охотского моря, 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. 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 котловины Охотского моря и Беринговом море.



## **1.2 Эвтрофикация залива Петра Великого. Оценка эвтрофикации вод Уссурийского залива. Экспедиционные исследования залива Посъета**

В августе 2007 года, в центральной части Амурского залива сотрудниками ТОИ была обнаружена обширная область гипоксии придонных вод (концентрация кислорода – менее 1.5% от равновесной /4/. Сами по себе столь низкие концентрации кислорода являются губительными для обычного морского населения. Одновременно с этим были получены гидрохимические доказательства сероводородного заражения придонных вод, что указывает на протекание микробиологических процессов, характерных для анаэробных условий. В 2008 году при выполнении экспедиционных работ по проектам РФФИ 08-05-00696-а и РФФИ 08-05-99108р-офи было подтверждено наличие зон гипоксии и сероводородного заражения в Амурском заливе и возникновение гипоксии в Уссурийском заливе. В сентябре 2008 года средства массовой информации сообщили о массовом заморе мелкой рыбы в Амурском заливе и заливе Находка. Амурский залив, Уссурийский залив и залив Находка являются заливами второго порядка залива Петра Великого. Обнаруженные факты свидетельствуют о глубокой перестройке экосистемы залива Петра Великого. Было сделано предположение, что одной из основных причин изменения экосистемы залива Петра Великого является эвтрофикация его вод. Существуют формальные подходы оценки эвтрофикации морских экосистем, которые были разработаны ранее и применены к Амурскому заливу /1/. В настоящей работе был использован данный подход для оценки эвтрофикации Уссурийского залива. Также представлены предварительные результаты экспедиционных гидрохимических исследований залива Посъета.

### **Оценка эвтрофикации вод Уссурийского залива.**

В настоящее время в литературе продолжают обсуждаться определения «эвтрофикация» для морских и прибрежных экосистем /5/. Более «пригодное» для практических целей, на наш взгляд, является определение эвтрофикации Дж. Андерсона с коллегами /5/: «...обогащение воды биогенными элементами, особенно азотом и/или фосфором, и органическим веществом, вызывающее ускоренный рост водорослей и высших растений, который создает неприемлемые отклонения в структуре, функционировании и стабильном существовании водных организмов, а также в качестве воды, по отношению к выбранным стандартным условиям». В качестве индикаторов оценки эвтрофикации Уссурийского залива взяты параметры, которые подразделены на четыре категории и представлены в Таблице 1.2.2. К категории I относятся непосредственные индикаторы – концентрации азота и фосфора и их соотношение. К категории II относятся

прямые последствия эвтрофикации – «цветение» фитопланктона и содержание хлорофилла. Содержание кислорода в придонных водах непосредственно показывает степень гипоксии, если таковая формируется, относится к категории III. Пониженное содержание кислорода в придонном горизонте является следствием дисбаланса между интенсивностью первичной и вторичной продукции (дисбаланс продукция/деструкция).

Более отдаленным следствием гипоксии (аноксии) является уменьшение биоразнообразия, случаи гибели рыб, красные приливы *Noctiluca sp.* Эти проявления относятся к категории IV. Пониженное содержание кислорода приводит к тому, что подвижные виды фауны покидают такое место, неподвижные формы погибают, что и приводит к падению биоразнообразия.

Таблица 1.2.1

Параметры среды для оценки степени эвтрофикации в регионе NOWPAP /6/

Категории	Эффекты	Параметры
I	Степень обогащения среды биогенными элементами	Речные стоки и концентрации минерального и общего азота и фосфора (DIN – Dissolved Inorganic Nitrogen, DIP – Dissolved Inorganic Phosphorus; TN – Total Nitrogen, TP – Total Phosphorus)
		Отношение содержаний азота и фосфора (DIN/DIP, TN/TP)
II	Прямые эффекты обогащения среды биогенными элементами	Концентрация Chl-a – хлорофилл-а (полевые данные)
		Глубина видимости диска Секки
		Концентрация Chl-a (спутниковые данные)
		Доля площади акватории с высокой концентрацией Chl-a (спутниковые данные)
		Случаи красных приливов диатомовых
		Случаи красных приливов динофлагеллят
III	Косвенные эффекты обогащения среды биогенными элементами	Концентрация растворенного кислорода (DO – Dissolved Oxygen)
		Химическое потребление кислорода (COD – Chemical Oxygen Demand)
IV	Другие возможные эффекты	Красные приливы <i>Noctiluca sp.</i>
		Аномальные случаи гибели рыб
		Уменьшение биоразнообразия

При оценке статуса эвтрофикации Уссурийского залива мы следовали рекомендациям (NOWPAP, 2010; таблица 1.2.1). В соответствии с рекомендациями UNEP статус эвтрофикации любой акватории определяется двумя состояниями – высокий (H – High) и низкий (L – Low), тренд эвтрофикации определяется тремя характеристиками –

положительный (увеличение параметра) (I - Increase), отсутствие тренда (N - No) и отрицательный (уменьшение параметра) (D - Decrease).

В результате наших исследований мы пришли к выводу, что акватория Уссурийского залива имеет низкий статус эвтрофикации (L), вследствие специфичных природных особенностей эвтрофикация обусловлена апвеллингом (природная эвтрофикация) без какого-либо выявленного тренда (LN). По результатам данной работы подготовлена статья /2/.

### **Экспедиционные исследования залива Посъета**

Залив Посъета расположен в юго-западной части залива Петра Великого между мысами Сулова (42.515° С.Ш., 130.865° В.Д.) и Гамова (42.552° С.Ш., 131.208° В.Д.). Берега залива сильно изрезаны и образуют внутренние заливы и бухты: бухта Экспедиции, бухта Новгородская, бухта Рейд Паллада и ряд других более мелких бухт.

В гидрохимическом отношении залив Посъета слабо изучен. В рамках общего плана экологического изучения залива Петра Великого, нами были проведены сезонные гидролого-гидрохимические исследования залива Посъета. В заливе Посъета было выполнено 264 комплексных гидролого-гидрохимических станции, 38 станций зимой (февраль), 83 станции весной (май), 103 станции летом (81 станция в июле и 20 станции в августе) и 42 станции в начале декабря. На каждой станции проводилось зондирование с использованием датчиков электропроводности, давления, температуры, мутности, флюоресценции (хлорофилла). С помощью диска Секки определялась прозрачность вод. На каждой станции были отобраны пробы с поверхностного и придонного горизонтов, на следующие параметры: соленость, растворенный кислород, рН, щелочность, биогенные элементы (аммоний, нитриты, нитраты, фосфаты, силикаты), хлорофилл, растворенный органический углерод.

Предварительный анализ данных для зимнего сезона указывает на то, что на момент исследования процессы фотосинтеза органического вещества в заливе Посъета существенно преобладали над процессами его деструкции в бухтах Экспедиции и Новгородской. Исключением являются эстуарные акватории рек Гладкой и Цукановки.

Наиболее важным результатом явилось открытие области аноксии (отсутствие кислорода) в придонных водах Морского Заповедника, в районе острова Фуругельма (рис.1.2.1). Строго говоря, область Морского Заповедника у о.Фуругельма находится на внешней границе залива Посъета и поэтому эта акватория не была включена в план исследования этого года. Однако в августе, коллеги из Института Биологии Моря сообщили нам о массовой гибели бентоса (морские звезды, полихеты) в районе острова Фуругельма, которая была зарегистрирована телекамерой подводного аппарата ИБМ.

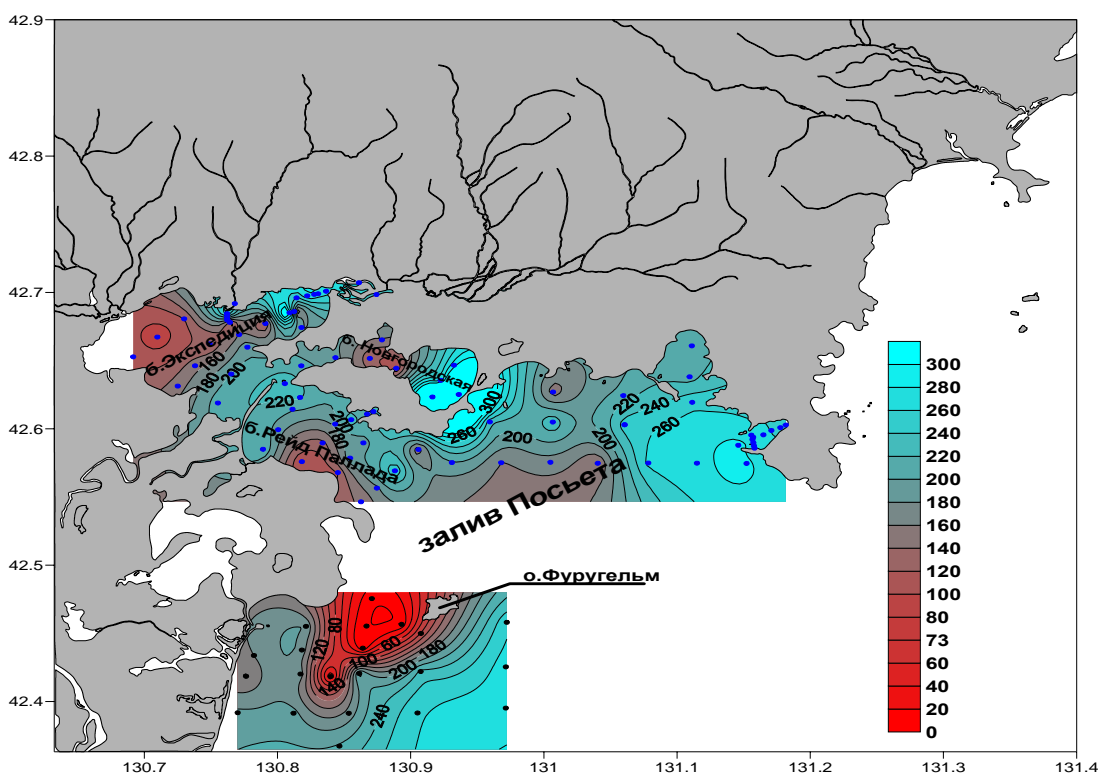


Рисунок 1.2.1 - Распределение концентрации растворенного кислорода (мкмоль/кг) в придонном слое залива Посыета, июль 2013 г. (синими точками отмечены места станций) и август, 2013 г. (черными точками отмечены места станций).

Нами была организована экспедиция, которая обнаружила отсутствие кислорода в придонном слое на небольшом участке морского заповедника. Предварительный анализ гидрохимических данных указывает, что в области аноксии наблюдаются аномально высокие концентрации углекислого газа ( $p\text{CO}_2=1800$  мкатм.), ионов аммония (30 мкмоль/л), фосфатов (6 мкмоль/л) и силикатов (170 мкмоль/л, рис.1.2.2), наличие небольших концентраций сероводорода.

Совокупность гидрохимических данных позволяет сделать предположение, что причиной аноксии является микробиологическое разложение диатомей в отсутствии света (глубина места - 30 м) и слабой динамики вод (данное место представляет собой локальное углубление, способное к обмену с внешними водами только с юго-западной стороны). В настоящий момент непонятно, каким образом формируется биомасса диатомей, какой процесс ответственный за поставку биогенных элементов в фотический слой? В дальнейших исследованиях мы попытаемся ответить на эти вопросы.

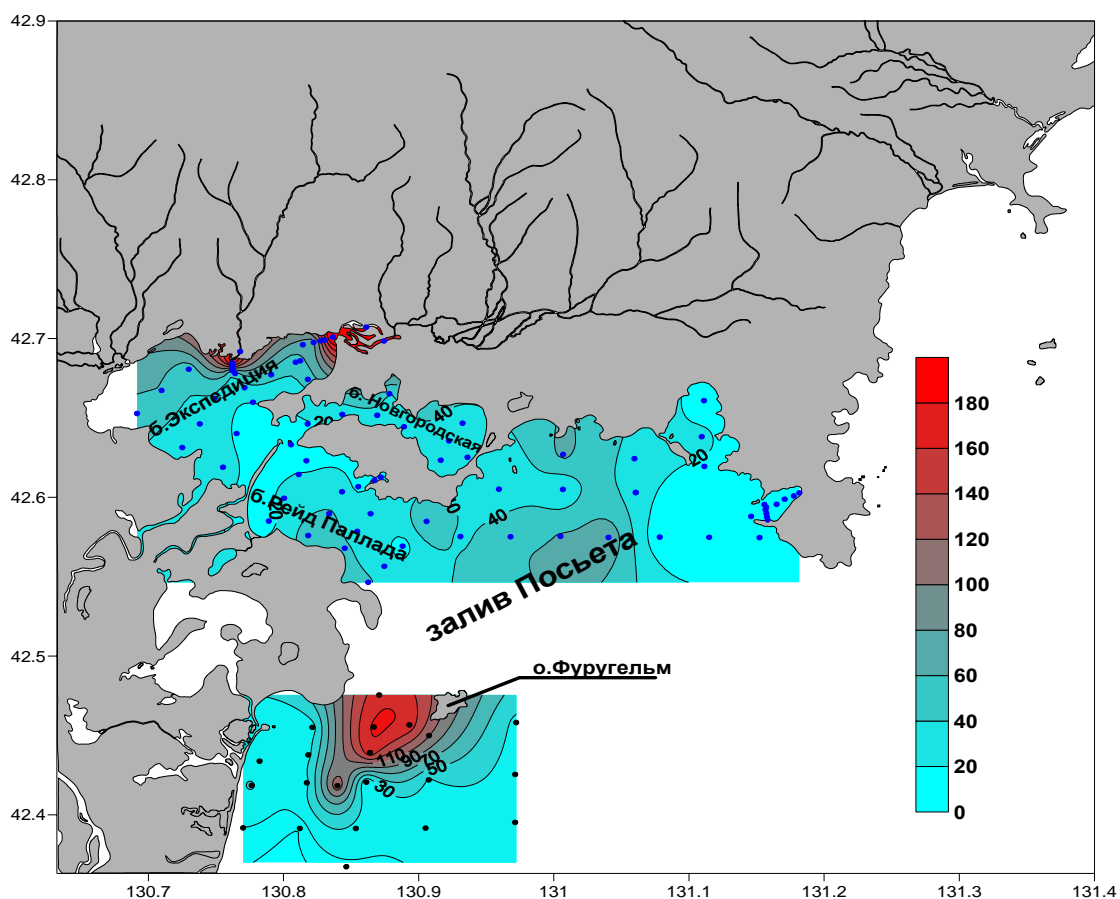


Рисунок 1.2.2 - Распределение концентраций силикатов (мкмоль/л) в придонном слое залива Посыета, июль 2013 г. (синими точками отмечены места станций) и август, 2013 г. (черными точками отмечены места станций).

#### Литература

1. Звалинский В.И., Тищенко П.П., Михайлик Т.А., Тищенко П.Я. Эвтрофикация Амурского залива // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря: монография / отв ред. Н.К. Христофорова. Владивосток: Издательский дом Дальневост. федерал. ун-та, 2012. С. 76-113.
2. Звалинский В.И., Тищенко П.П., Михайлик Т.А., Тищенко П.Я. Эвтрофикация залива Петра Великого / Коллективная монография, ТОИ ДВО РАН. Владивосток: Дальнаука, 2013.
3. Лоция северо-западного берега Японского моря. СПб.: ГУНИО МО, 1996. 354 с.
4. 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.
5. Andersen J.H., Schlüter L., and Ærtebjerg G. Coastal eutrophication: recent developments in definitions and implications for monitoring strategies // J. Plankton Research. 2006. V. 28, P. 621–628.

6. NOWPAP CEARAC 2010. Report of the 8th NOWPAP CEARAC focal points meeting and the expert meeting on assessment of eutrophication status and marine environment focusing on marine biodiversity. CEARAC, Toyama, 13–15 September 2010. 234 p.



### 1.3 Консервативное и неконсервативное поведение щелочности в эстуариях рек Раздольной и Амура

Макрокомпонентный состав речных вод определяется направленностью и интенсивностью процессов химического выветривания, которые в свою очередь зависят от географии, климата, пород, слагающих бассейн и хозяйственной деятельности человека. В соответствии с классификацией О.А. Алекина, реки подразделяются по химическому составу на три типа: хлоридные, сульфатные и гидрокарбонатные /1,2/. Для гумидного климата, в котором находятся реки Раздольная и Амур главными компонентами речных вод является гидрокарбонаты кальция и магния с преобладающим содержанием кальция. В отличие от речных вод, морские воды являются хлоридно-сульфатными. Поскольку гидрокарбонат ион является основным компонентом щелочности (ТА), то зависимость щелочности от солености в эстуариях характеризует трансформацию основного компонентного состава речных вод на геохимическом барьере “река-море”, поэтому этот параметр нами исследовался.

Из определения щелочности как балансной характеристики между акцепторами и донорами протонов, а также из принципов электронейтральности раствора и баланса масс и зарядов было получено уравнение для ТА /6/:

$$TA = [Na^+] + 2[Mg^{2+}] + 2[Ca^{2+}] + [K^+] + 2[Sr^{2+}] + TNH_3 + \dots - [Cl^-] - [Br^-] - [NO_3^-] - \dots [TPO_4] - 2[TSO_4] - [THF] - [THNO_2] \quad (1)$$

где  $TNH_3 = [NH_3] + [NH_4^+]$ ;  $TPO_4 = [H_3PO_4] + [H_2PO_4^-] + [HPO_4^{2-}] + [PO_4^{3-}]$ ;  $TSO_4 = [SO_4^{2-}] + [HSO_4^-]$ ;  $THF = [F^-] + [HF]$ ;  $THNO_2 = [NO_2^-] + [HNO_2]$ . Поскольку весовые концентрации (моль/кг) макрокомпонентов морской воды ( $Na^+$ ,  $Cl^-$  и т.д.) и суммарные концентрации восстановленных форм азота, фосфатов, сульфатов и т.д. не зависят от температуры и давления, то уравнение (1) в явной форме подчеркивает независимость ТА от этих параметров среды. Из уравнения (1) следует, что ТА обладает свойствами консервативности в процессах перемешивания водных масс. Действительно, в некоторых ситуациях для эстуариев рек Раздольной и Амура было обнаружена линейная зависимость щелочности от солености, что указывает на консервативное поведение этого параметра в процессе смешения речных и морских вод (рис.1.3.1). Также нами было обнаружено неконсервативное поведение щелочности для этих же эстуариев. Причем отклонения от консервативности для эстуариев Раздольной и Амура были разнонаправлены. Полученные данные для эстуария реки Раздольной указывали на “извлечение” щелочности в процессе смешения речных и морских вод (рис. 1.3.1). Данные для Амурского лимана показывали “выделение” щелочности в процессе смешения речных и морских вод (рис. 1.3.2).

Установление причин такого поведения щелочности стало предметом специального исследования.

### Неконсервативное поведение щелочности в эстуарии реки Амур

Неконсервативность в этом случае проявляется в том, что зависимость щелочности от солености имеет "выпуклый" характер (рис. 1.3.2). Из рисунка видно, что для осеннего сезона (октябрь, 2008 г.) и для зимнего сезона (апрель, 2008 г.) точки лежат над линейной зависимостью, полученной в июне 2006 г. Это означает, что существует поток щелочности в среду, который формирует "избыточную" щелочность по отношению к летнему сезону. Источником такой избыточной щелочности, на наш взгляд, может быть поровая вода донных отложений эстуария р.Амур. Действительно, сравнение щелочности эстуарных и поровых вод, представленное на рис. 1.3.2, ясно указывает на такую возможность. Нами показано /5/, что благодаря интенсивным приливно-отливным течениям происходит взмучивание осадка и интенсификация потока щелочности из осадков в водную среду. Это явление происходит круглогодично, т.к. приливно-отливные течения в лимане существуют круглый год.

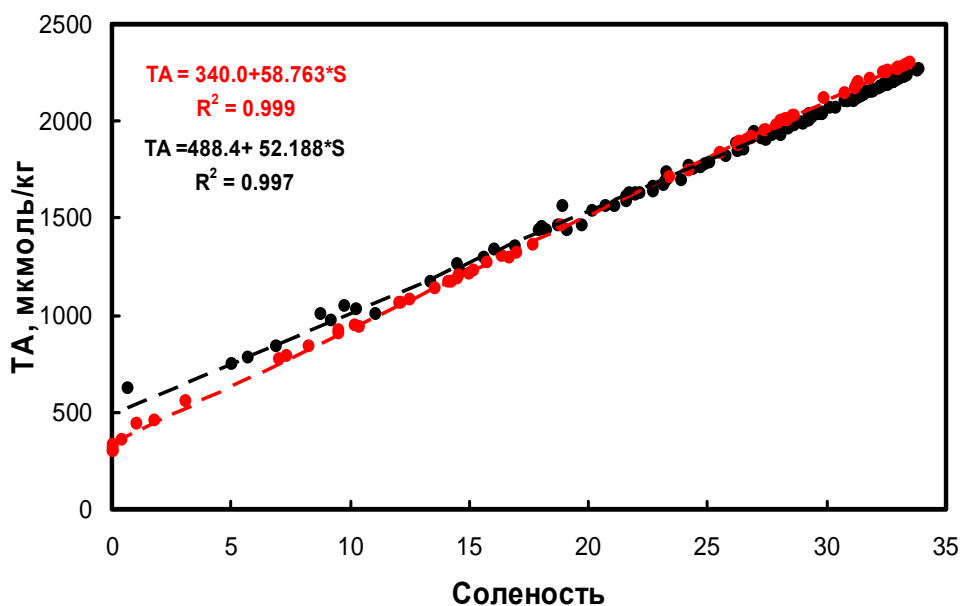


Рисунок 1.3.1 - Зависимость ТА от солености. Черный цвет - эстуарий реки Раздольной, август 2005 г. /4/. Красный цвет – эстуарий р. Амур июнь, 2007 г. /3/

Однако время полного обмена лимана речными водами сильно зависит от сезона. Оно малое в летний сезон (около 8 дней), в период паводка, и большое в осеннюю и зимнюю межень (80 дней). Поток щелочности из осадков в период паводка не вносит заметного вклада в содержание щелочного резерва эстуарных вод, но является ощутимым в осенне-зимний период. Нами показано, что главной причиной высокой щелочности поровой воды

осадков лимана является сульфат редукция, которая возникает в результате раннего диагенеза органического вещества выносимого в лиман Амуром.

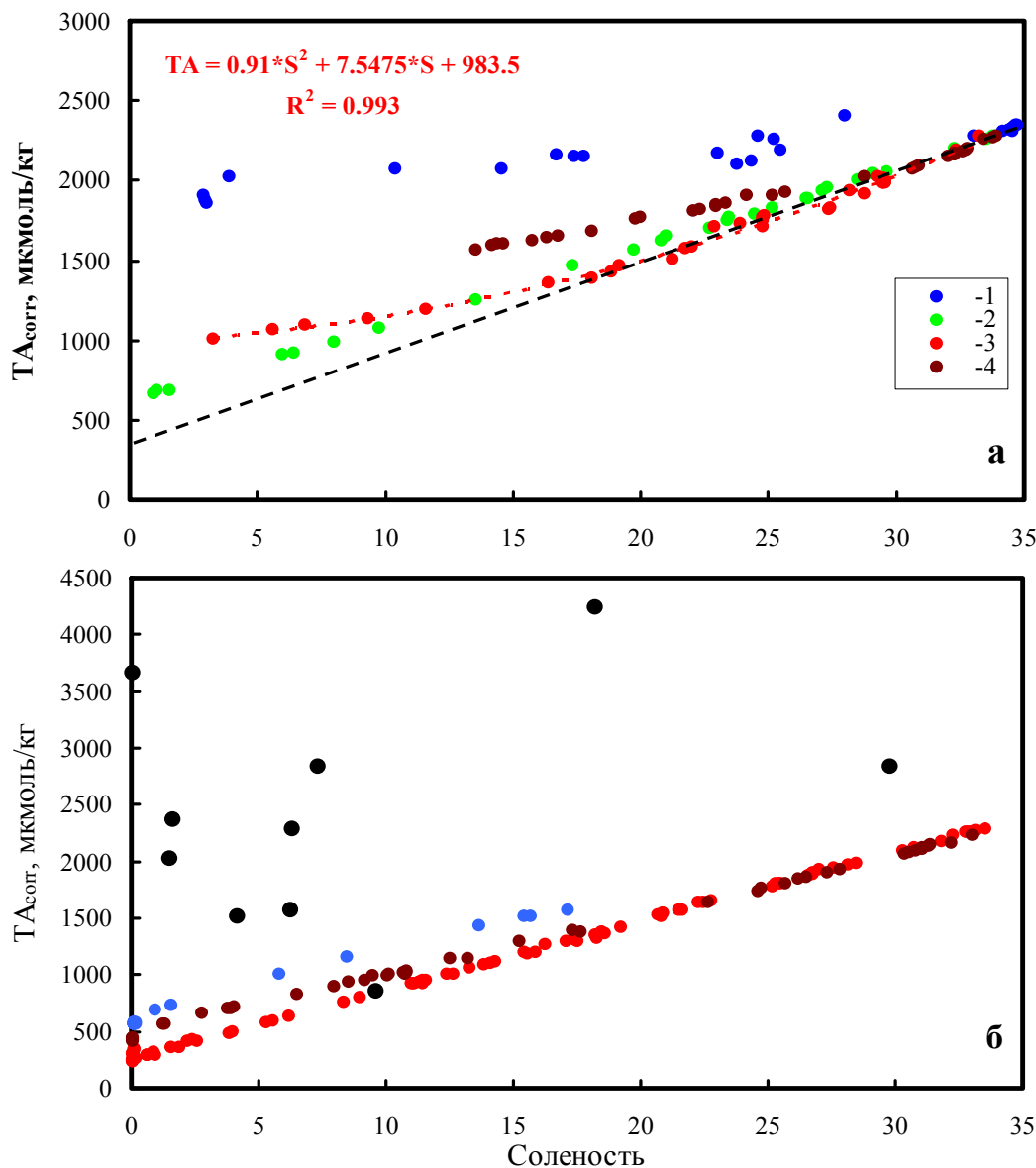


Рисунок 1.3.2 - Зависимость  $TA_{согг}$  от солености  $TA_{согг}$  ( $TA - A_{НС}$ ), где  $A_{НС}$  – щелочность, обусловленная гумусовым веществом. **а** – эстуарий р. Раздольной; **б** – эстуарий р. Амур. 1 – зима, 2 – весна, 3 – лето, 4 – осень. Черные кружочки соответствуют щелочности поровой воды.

### Неконсервативное поведение щелочности в эстуарии реки Раздольной

Неконсервативность в этом случае проявляется в том, что зависимость щелочности от солености имеет ”вогнутый” характер (рис. 1.3.2). Такая зависимость подразумевает ”извлечение” щелочности в процессе смешения речных и морских вод.

Несмотря на общность процессов, формирующих химический состав рек Амура и Раздольной, разная зависимость щелочности от солености наблюдается в их эстуариях (рис. 1.3.2). Главная причина такого различия состоит в отсутствии сильных приливно-отливных течений в эстуарии р.Раздольной (максимальная амплитуда 50 см). Поэтому поток щелочности от дна в водную толщу в эстуарии реки Раздольной, в сравнении со скоростью смешения речных и морских вод небольшой.

Наблюдаемый "прогиб" (рис.1.3.1), главным образом, обусловлен сезонной зависимостью концентрации щелочности в реке. Для летнего периода, при высоком расходе воды щелочность в реке обычно составляет 0.5 ммоль/кг. В этом случае речные воды проникают далеко в залив, и их смешение с морскими водами распространяется до соленостей 34. В межень, щелочность в речных водах высокая, однако область их смешения в этом случае ограничена соленостью 15 – 20. Отсюда возникает кажущееся извлечение щелочности в эстуарии р. Раздольной.

Таким образом, в период дождей поведение щелочности для обоих эстуариев консервативное. Однако в малую воду проявление неконсервативности разное для разных эстуариев. Для эстуария Амура "выпуклый" характер зависимости щелочности от солености обусловлен потоком щелочности из донных отложений. Для эстуария Раздольной неконсервативность кажущаяся и обусловлена она тем, что содержание щелочности речных вод сильно зависит от расхода реки.

#### Литература

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеорологическое Изд-во, 1970, 442 с.
2. Алекин О.А. Бражникова Л.В. Сток растворенных веществ с территории СССР. - М.: Наука, 1964. - 143с.
3. Колтунов А.М., Тищенко П.Я., Звалинский В.И., Чичкин Р.В., Лобанов В.Б., Некрасов Д.А. Карбонатная система Амурского лимана и прилегающих морских акваторий // Океанология. 2009а. Т. 49, №5. С. 643–654.
4. Тищенко П.Я., Тищенко П.П., Звалинский В.И., Шкирникова Е.М., Чичкин Р.В., Лобанов В.Б. Карбонатная система Амурского залива (Японское море) летом 2005 г. // Изв.ТИНРО. 2006. Т.146, С.235-255.
5. Tishchenko P.Ya., Zhang Jing, Khodorenko N.D., Koltunov A.M., Mikhailik T.A., Pavlova G.Yu., Shkirnikova E.M., Tishchenko P.P., Zvalinsky V.I. Conservative and Non-Conservative Behavior of the Total Alkalinity in the Razdolnaya River and Amur River Estuaries // In preparation, 2014.

6. Wolf-Gladrow D.A., Zeebe R.E., Klaas C., Kortzinger A., Dickson A.G. Total alkalinity: The explicit conservative expression and its application to biogeochemical processes // *Mar. Chem.*, 2007. V. 106. P. 287-300.

## 1.4 Современное осадкообразование в эстуарии реки Амур

Для создания фундаментальной глобальной модели морского седиментогенеза необходимы достоверные знания не только об источниках осадочного материала, но и о характере трансформации его состава в процессе водной миграции до стадии аккумуляции. Наиболее интересной для исследований с этих позиций является грандиозная по масштабам преобразования вещества пограничная между континентом и океаном геосистема «река-море». Ключевые особенности геосистемы «река-моря» состоят в следующем.

(1). Уже на ранних стадиях смешения пресных-соленых вод здесь запускаются физико-химические и биологические механизмы преобразования взвеси.

(2). Перераспределяются соотношения форм нахождения и содержание химических элементов.

(3). Изменяется видовой и численный состав планктонных сообществ, являющихся сорбентом многих элементов.

(4). Происходит гравитационная седиментация минеральных частиц и органо-минеральных агрегатов взвеси. Ежегодно здесь задерживается до 95% объема речной взвеси. С аномально высокими темпами в течение длительного времени формируются мощные осадочные толщи. Все это позволяет считать приемные бассейны стока рассматриваемых геосистем структурно-седиментационными ловушками.

Цель данной работы - выявление особенностей трансформации состава осадочного материала в градиентных системах «река-море» и оценка их роли в современном окраинно-морском седиментогенезе. В основу работы положены результаты многолетних междисциплинарных исследований в эстуарии реки Амур, водосбор которой находится в пределах умеренной климатической зоны (рис. 1.4.1; табл. 1.4.1).

Общая характеристика района исследований

Чтобы была ясна связь реки с Охотским и Японским морями, необходимо определить понятие термина «эстуарий», неоднозначно трактуемого в научной литературе. В современной океанографической интерпретации, которую используют авторы, эстуарием считается свободно сообщающийся с приемным бассейном стока полузамкнутый прибрежный водный объект, где взаимодействуют континентальные и морские водные массы [9]. Он включает прилегающие к устью реки морской залив (морская или нижняя часть) и участок нижнего течения реки, подверженного приливным и ветровым колебаниям уровня (речная или верхняя часть). Устье реки служит географической границей между речной и морской частями эстуария. Верхняя (речная) граница определяется дальностью



проникновения колебаний уровня воды морского происхождения, а нижняя (морская) - положением изохалины 90% солености вод прилегающего моря /7/.



Рисунок 1.4.1 - Район исследований (спутниковый снимок эстуария реки Амур. Выполнен радиолокационной станцией с синтезированной апертурой, спутник ERS ).

В нашем случае область смешения вод заключена между островом Сахалин и материковой окраиной, а сток реки Амур одновременно взаимодействует с водными массами Охотского и Японского морей. Данными гидролого-морфологическими причинами и предопределена уникальность эстуария реки Амур как объекта исследований.

В работе рассматриваются особенности современного осадкообразования при нормальной гидрометеорологической обстановке, под которой понимаются:

- повышенный водный и твердый сток;
- ветер переменных направлений, скоростью до 10 м/с;
- устойчивый сток речных вод на север;
- отсутствие штормовых нагонов, играющих важную роль в режиме суммарного уровня воды эстуария.

Таблица 1.4.1

Гидролого-морфологические и геологические характеристики реки Амур и его эстуария

Характеристики реки и эстуария	Количественные и качественные показатели
Площадь водосбора, $\times 10^3 \text{ км}^2$	1843
Общая длина речной системы, км	2850

Водный сток, км <sup>3</sup> /год	350
- расход max, м <sup>3</sup> /с	36000
- расход min, м <sup>3</sup> /с	611
- среднегодовой расход, м <sup>3</sup> /с	11000
Твердый сток, км <sup>3</sup> /год	25
Модуль твердого стока, т/км <sup>2</sup> /год	14
Модуль стока растворенных веществ, т/км <sup>2</sup> /год	36
Среднегодовая мутность, мг/л	71
Тип питания реки	снеговое
Тип эстуария по морфологии берегового обрамления	сложный полузакрытый
Верхняя граница РУЭ, км	322
Максимальная высота прилива, м	2.2-3.0
Воздействие приливов	сильное
Тип эстуарийной циркуляции вод	сильно стратифицированный с клином морских вод
Тенденция развития конуса выноса реки	выдвижение

В такой гидрометеорологической обстановке эстуарные воды заполняют обширное пространство перед устьем в Амурском лимане – акватории-проливе, по которой они распределяются в морские части эстуария. Внешняя граница эстуария в Охотском море удалена от северного выхода из лимана более чем на 200 км, т.е. выходит за пределы Сахалинского залива. В Татарском проливе Японского моря эстуарные воды выклиниваются в 50-70 км от южного выхода из Амурского лимана (рис. 1.4.2). Такое распределение стокового шлейфа отражает среднемноголетнее соотношение перетока речных вод в охотоморскую и япономорскую части эстуария в безледный период /11/.

Изучение донных осадков эстуария реки Амур началось в 30-х годах прошлого столетия с Амурского лимана в связи с планами по улучшению судоходных условий для обеспечения выхода крупнотоннажных судов из устья на акватории Охотского и Японского морей. С этой целью в 1936 г. при гидротехническом отделе ГУЛАГа НКВД было создано управление «Строительство № 201 НКВД», в состав которого вошли несколько научно-исследовательских учреждений, в том числе и Дальневосточный геофизический институт (ДГИ). Работы возглавил Б.А. Аполлов /10/. По результатам исследований М.В. Кленовой составлена первая схема распределения осадков, которая позже была уточнена А.С. Пахомовой /8/. Схема существовала до 1975 г., когда специалистами Дальневосточного государственного университета в лимане и проливе Невельского были проведены новые изыскания на 400 станциях /5/. В это же время вопросами литодинамики в Амурском лимане занимался и Л.П. Якунин /11/.

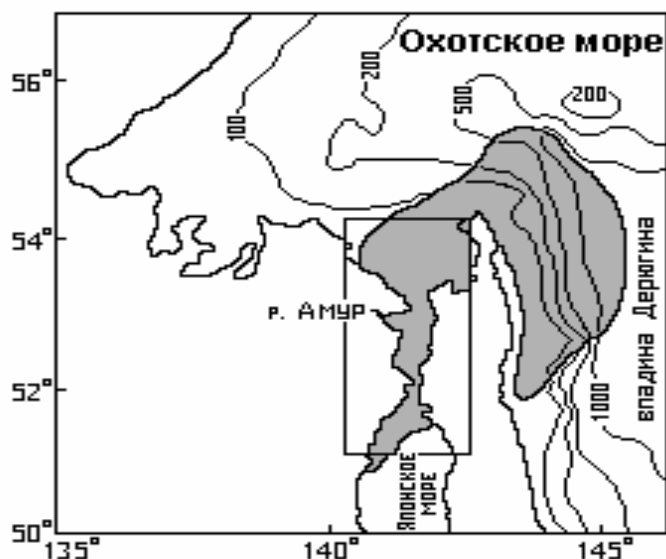


Рисунок 1.4.2 - Положение морских границ эстуария реки Амур в условиях весенне-летнего половодья

Дно Сахалинского залива впервые картировано в начале 60-х годов 20 века экспедицией на НИС «Витязь» Института океанологии им. П.П. Ширшова. Среди осадков были отмечены только разноразмерные пески и крупные алевриты /2/. Позже на основе материалов экспедиции Тихоокеанского океанологического института (ТОИ) ДВНЦ АН СССР на НИС «Первенец» (1980 г.) подготовлена другая схема /1/. По сравнению с предыдущей она не претерпела значительных изменений. Менее известна схема И.Г. Вейнберга /3/, на которой в охотоморской части эстуария вообще показаны только пески.

Первая карта донных осадков эстуария р. Амур составлена в ТОИ ДВО РАН на основе результатов опробования на 415 станциях собственных экспедиций: - НИС «Академик А. Виноградов» (1985 г.), - НИС «Академик А. Несмеянов» (1987, 1990, 1992, 1993 гг.), - НИС «Академик М. Лаврентьев» (1988, 1995 гг.), - НИС «Морской геофизик» (1989 г.), - гидрографических судов «БГК-495» и «БГК-492» (2005 и 2006 гг.); - ледово-морских работ в устье реки и Амурском лимане (март 2008 г.).

Осадки отбирались дночерпателями типов «Океан» и Van Veen. По мере оснащения лаборатории седиментологии ТОИ новой аналитической аппаратурой изменялись и методы изучения размерного состава донных осадков – от традиционного водно-механического анализа до автоседиментографии (анализатор АФС-2) и лазерного сканирования суспензии (анализатор «Analysette 22 FRITSCHE»)/4/. Литологический тип осадка представлен в классификации, учитывающей соотношение содержания фракций псаммит-алеврит-пелит /6/. Макроэлементы определялись силикатным и нейтронно-активационными методами

анализа. Синхронно с седиментологическими работами осуществлялась регистрация гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических параметров водной толщи /4/.

#### Заключение

В настоящее время авторами проводится тщательная ревизия имеющейся базы данных, которая позволит по новому представить особенности современного осадочного процесса в эстуарии реки Амур как модели приконтинентального осадкообразования и трансформации вещества на границе «река - море».

#### Литература

1. Астахов А.С., Бадюков Д.Д., Букин В.М., Вербицкий В.Л., Демиденко Е.Л. Новые данные о строении и вещественном составе верхней части осадочного чехла шельфа Охотского моря // Современное осадконакопление и четвертичный морфолитогенез Дальнего Востока. Изд. ДВНЦ АН СССР. 1982. С. 178-190.

2. Безруков П.Л. Донные отложения Охотского моря // Тр. ИОАН СССР. 1960. Т.32. С.15-97.

3. Вейнбергс И.Г. Древние береговые линии на шельфе и в прибрежной полосе суши юго-западной части Охотского моря // Шельфы – природа и ресурсы. Л. 1976. С. 55-56.

4. Дударев О.В. Пространственно-временная изменчивость характеристик взвеси в приустьевых зонах рек различных климатических обстановок // Современное осадкообразование в окраинных морях Востока Азии (статистические модели). Дальнаука: Владивосток. 1997. С. 45-89.

5. Кононов Ю.И., Морик В.А., Петрик Н.С. Роль льда в формировании осадков пролива Невельского // Вопросы географии Тихого океана и притихоокеанских районов. Владивосток, 1975. С. 39-45.

6. Лихт Ф.Р., Астахов А.С., Боцул А.И. и др. Структура осадков и фации Японского моря. Изд. ДВНЦ АН СССР. Владивосток. 1983. 287 с.

7. Михайлов В.Н., Рогов М.М., Чистяков А.А. Речные дельты. Гидролого-морфологические процессы. М.: Гидрометеиздат, 1986. 280 с.

8. Пахомова А.С. Влияние выносов р.Амур на осадкообразование в Татарском проливе // Тр.ГОИН. Вып.013. Л.: Гидрометеиздат, 1953. С. 107-166.

9. Полонский В.Ф., Лупачев Ю.В., Скриптунов Н.А. Гидролого-морфологические процессы в устьях рек и методы их расчета (прогноза). С.-П.: Гидрометеиздат, 1992. 382 с.

10. Соловьев И.А. Амуро-лиманский русловой процесс и водные пути. Владивосток. 1995. 270 с.

11. Якунин Л.П. К обоснованию пропуска вод р.Амур по новому руслу // Тр. ДВНИГМИ. 1975. Вып.55. С.61-65.

## **1.5 Исследование особенностей динамики карбонатной системы и растворенного окрашенного органического вещества в морях Восточной Арктики и Берингова моря.**

Проведен анализ данных экспедиции на НИС “Академик М.А. Лаврентьев” (сентябрь 2011 г.), выполненной на внутреннем, среднем и внешнем шельфе моря Лаптевых, а также над континентальным склоном восточной части моря Лаптевых.

Полученные данные показывают, что в летне-осенний сезон в море Лаптевых распределение параметров карбонатной системы характеризовалось значительной пространственной изменчивостью – как от поверхности ко дну, так и от внутреннего шельфа к внешнему. Поверхностные воды были неравновесны по отношению к атмосферному содержанию углекислого газа, являясь источником  $\text{CO}_2$  в атмосферу на юге и стоком на севере полигона. Наибольшее пересыщение было обнаружено в придельтовой зоне, где влияние речных вод было максимально, а также вблизи термоабразионного побережья. Процессы деструкции здесь преобладали над продукцией органического вещества (ОВ), что также подтверждалось распределением относительных и абсолютных концентраций кислорода. Несмотря на то, что на севере района исследований величина  $p\text{CO}_2$  в морской воде была ниже атмосферного уровня, процессы фотосинтеза во время работ и здесь не играли определяющей роли. Наблюдаемые низкие величины  $p\text{CO}_2$  на северной периферии полигона можно отнести к последствиям процесса интенсивного фотосинтеза, имеющего место при отступании льда; во время исследований степень насыщения поверхностных вод кислородом не превышала 93%, а концентрации хлорофилла “а” не поднимались выше  $1.3 \text{ мкг л}^{-1}$ . Кроме того, работы выполнялись в период осеннего охлаждения вод и определенную роль мог играть термический фактор, что подтверждается одновременным недосыщением вод как углекислым газом, так и кислородом. Вклад талых вод, значительно недосыщенных углекислым газом, здесь был незначим.

На вертикальных профилях  $p\text{CO}_2$  на внутреннем шельфе не было обнаружено экстремумов, что совпадало с распределением других гидрохимических и гидрологических параметров – эти воды были, в основном, перемешаны от поверхности до дна в результате прошедших штормов и содержали большое количество речных вод. Во всей толще они были пересыщены или близки к равновесному состоянию по отношению к атмосферному содержанию  $\text{CO}_2$ . Последнее наблюдалось в нескольких точках на поверхности на востоке региона, где стратификация была более устойчивой, а концентрация талых вод была выше по отношению к другим районам шельфа. Но несмотря на то, что талые воды существенно



недосыщены  $\text{CO}_2$  /1/, их доли (~15-20%) в общем объеме вод было недостаточно, чтобы значительно снизить  $p\text{CO}_2$  в воде по отношению к равновесным значениям.

На профилях  $p\text{CO}_2$  на среднем шельфе впервые появились экстремумы. Обнаруженный в слое пикноклина на среднем шельфе подповерхностный максимум  $p\text{CO}_2$  ассоциировался с теплым промежуточным слоем (ТПС), расположенным в высокоградиентной зоне. Основной причиной формирования данного положительного экстремума  $p\text{CO}_2$ , по нашему мнению, является температурный фактор – превышение температуры на 2-4 градуса относительно других горизонтов, и, в частности, поверхностного слоя, могло обеспечить наблюдаемую разницу в  $p\text{CO}_2$ . Кроме того, в ТПС наблюдались максимальные для профиля концентрации рассолов. Они могли быть связаны с устойчивой стратификацией вод, сформированной в предшествующий летне-осенний сезон 2010 г. В зимний сезон 2010-2011 гг. стекающие в процессе формирования льда рассолы (в том числе, и в результате перманентного льдообразования в полынье) не достигали дна, концентрируясь, главным образом, в слое над пикноклином. Таким образом, наличие рассолов с высоким содержанием неорганического углерода и пересыщенных  $\text{CO}_2$ , могло быть дополнительным фактором, формирующим положительный экстремум  $p\text{CO}_2$ .

Второй промежуточный максимум  $p\text{CO}_2$  был обнаружен на глубоких станциях внешнего шельфа и над континентальным склоном на горизонте около 50 м. Его происхождение не было связано с температурным фактором, так как он идентифицирован в зоне отрицательных температур. Ранее подобный слой был обнаружен в глубокой восточной части моря Лаптевых в сентябре 2009 г. /2/. По нашему мнению, наиболее вероятным источником этого слоя высоких значений  $p\text{CO}_2$  (и концентраций  $\text{CO}_2$ ) являются холодные придонные шельфовые воды, обогащенные углекислым газом благодаря стекающим рассолам и взаимодействию с донными осадками, содержащими высокие концентрации лабильного аллохтонного ОВ. Далее эти трансформированные воды переносятся в глубокие части моря, занимая место в верхнем галоклине согласно плотностным характеристикам /2/. Наши предшествующие наблюдения свидетельствуют о том, что такая ситуация типична только для восточной части моря, что определяется как повышенными концентрациями лабильного ОВ, поступающего с терригенным стоком (с речными водами, а также в результате эрозии берегов) в эту часть моря, так и системой течений. Таким образом, проявление действия так называемого “континентального шельфового насоса” (continental shelf pump - экспорт углерода с шельфа в глубокую часть моря) имеет свои характерные особенности в море Лаптевых. Если в высокопродуктивном Чукотском море одной из основных движущих сил “шельфового насоса” является фотосинтетическая активность морской биоты, сопровождающаяся поглощением  $\text{CO}_2$  из атмосферы, то в олиготрофных

водах моря Лаптевых – это, главным образом, следствие огромного притока терригенного органического углерода, синтезированного в разное время наземными экосистемами. Формирование рассолов, что типично для арктических морей, также способствовало переносу углерода в глубокие слои.

На профиле  $p\text{CO}_2$  на внешнем шельфе был обнаружен также промежуточный минимум значений. Он располагался в нижней части пикноклина в области отрицательных температур (но не минимальных) на глубинах около 25-30 м и совпадал с наименьшими для профиля концентрациями кремния, взвеси, низкими концентрациями CDOM, а также максимальными значениями pH и концентрациями кислорода. К основным факторам, определяющим наличие отрицательного экстремума, можно отнести как температурный (снижение температуры на 3-5 градусов относительно поверхностного слоя), так и биологический (низкие концентрации биогенных элементов могли свидетельствовать об их биоассимиляции). Вероятно, в этом слое имела место остаточная фотосинтетическая активность, описанная ранее в работе /3/, что также косвенно подтверждается высокими концентрациями кислорода и величинами pH. Отметим, что развитие осеннего цветения характерно для многих арктических морей /4/. Второй пик продуктивности значительно слабее, главным образом, из-за снижения интенсивности солнечного излучения, а его временные рамки существенно отличаются в зависимости от района /4/. Рассчитанное содержание речной воды в этом слое не превышало 10-13%, воды атлантического происхождения доминировали, составляя, в среднем 94-95%, а концентрации рассолов были незначительны. Нормализованная щелочность, один из достоверных трассеров речных вод, была низкой, типичной для арктических вод, не подверженных влиянию речного стока /5, 6/. Нельзя также исключать адвекцию вод западной части моря Лаптевых (холодных, относительно соленых, с низким содержанием кремния) /7/. Ниже, в придонном слое на гидрохимические характеристики воды (включая карбонатные параметры) оказывали значимое влияние биохимические и обменные процессы на границе вода/осадки и величины  $p\text{CO}_2$  существенно превышали атмосферные значения.

Данные, полученные в экспедиционных исследованиях в сентябре 2011 г., демонстрируют динамичный характер распределения карбонатных параметров на шельфе восточной части моря Лаптевых. Установлено, что основным фактором, контролирующим карбонатную химию шельфовых вод в теплый сезон, является значительный терригенный сток /8/. Выполненные исследования показали, что поверхностные воды внутреннего и среднего шельфа восточной части моря Лаптевых в осенний сезон являются поставщиком углекислого газа в атмосферу, а внешнего - стоком для атмосферного  $\text{CO}_2$ .

На профилях распределения карбонатных параметров были выявлены промежуточные экстремумы, обусловленные как взаимодействием водных масс, так и протекающими в водном столбе и на границе раздела вода - донные отложения биохимическими процессами.

По результатам исследований опубликована статья в журнале “Biogeosciences” [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], в журнале «Океанология» в печати находится статья: И.И. Пипко, С.П. Пугач, И.П. Семилетов «Характерные особенности динамики карбонатных параметров вод восточной части моря Лаптевых». На международной конференции представлен устный доклад Pipko I.I., Pugach S.P., Salyuk A.N., and Semiletov I.P. Features of the carbonate system dynamics in the shelf waters of the eastern Laptev Sea // Abstract of Arctic Ocean Acidification Conf., Bergen, Norway, 6-8 May, 2013, p. 22. 2013.

#### Литература

1. Gao Z., Chen L., Sun H. et al. Distribution and air-sea fluxes of carbon dioxide in the Western Arctic Ocean // *Deep-Sea Res. II*. 2012. V. 81-84. P. 46-52.
2. Пипко И.И., Пугач С.П., Семилетов И.П., Салюк А.Н. Карбонатные характеристики вод материкового склона Северного Ледовитого океана // Докл. РАН. 2011. Т. 438. № 5. С. 699–704.
3. Heiskanen A.S., Keck A. Distribution and sinking rates of phytoplankton, detritus and particulate biogenic silica in the Laptev Sea and Lena River (Arctic Siberia) // *Marine Chemistry*. 1996. V. 53. P. 229–245.
4. Ardyna M., Babin M., Gosselin M. et al. Parameterization of vertical chlorophyll a in the Arctic Ocean: impact of the subsurface chlorophyll maximum on regional, seasonal, and annual primary production estimates // *Biogeosciences*. 2013. V. 10. P. 4383–4404, doi:10.5194/bg-10-4383-2013.
5. Пипко И.И., Семилетов И. П., Тищенко П.Я. и др. Изменчивость параметров карбонатной системы в прибрежно-шельфовой зоне Восточно-Сибирского моря в осенний сезон // *Океанология*. 2008. Т. 48. №1. С. 59-72.
6. Murata A., Takizawa T. Summertime CO<sub>2</sub> sinks in shelf and slope waters of the western Arctic Ocean // *Continental Shelf Research*. 2003. V. 23. P. 753-776.

7. Holemann J.A., Kirillov S., Klagge T. et al. Near-bottom water warming in the Laptev Sea in response to atmospheric and sea-ice conditions in 2007 // Polar Research. 2011. V. 30. № 6425, doi: 10.3402/polar.v30i0.6425.

8. 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.

## 1.6 Расчет полей течений на акватории Охотского моря и прилегающих районов Тихого океана

В качестве базовой модели была использована Princeton Oceanic Model, которая находится в открытом доступе в Интернете /1/. 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 течений выражена формулой (1):

$$u_{total} = \{u_{den}(x, y, t) + u_w(x, y, t) + u_{tide}(x, y, t) + u_d(x, y, t)\} \quad (1)$$
$$\frac{dx}{dt} = k_{c-o} \{u_{den}(x, y, t) + u_w(x, y, t) + u_{tide}(x, y, t) + u_d(x, y, t)\} + k_{w-o} w_x(x, y, t)$$

Расчет полей течений для северо-западной части Тихого океана включая Японское и Охотское моря был проведен на сетке  $20 \times 20$  км<sup>2</sup>. Результаты расчета для различных месяцев 2011 года приведены на рис. 1.6.1

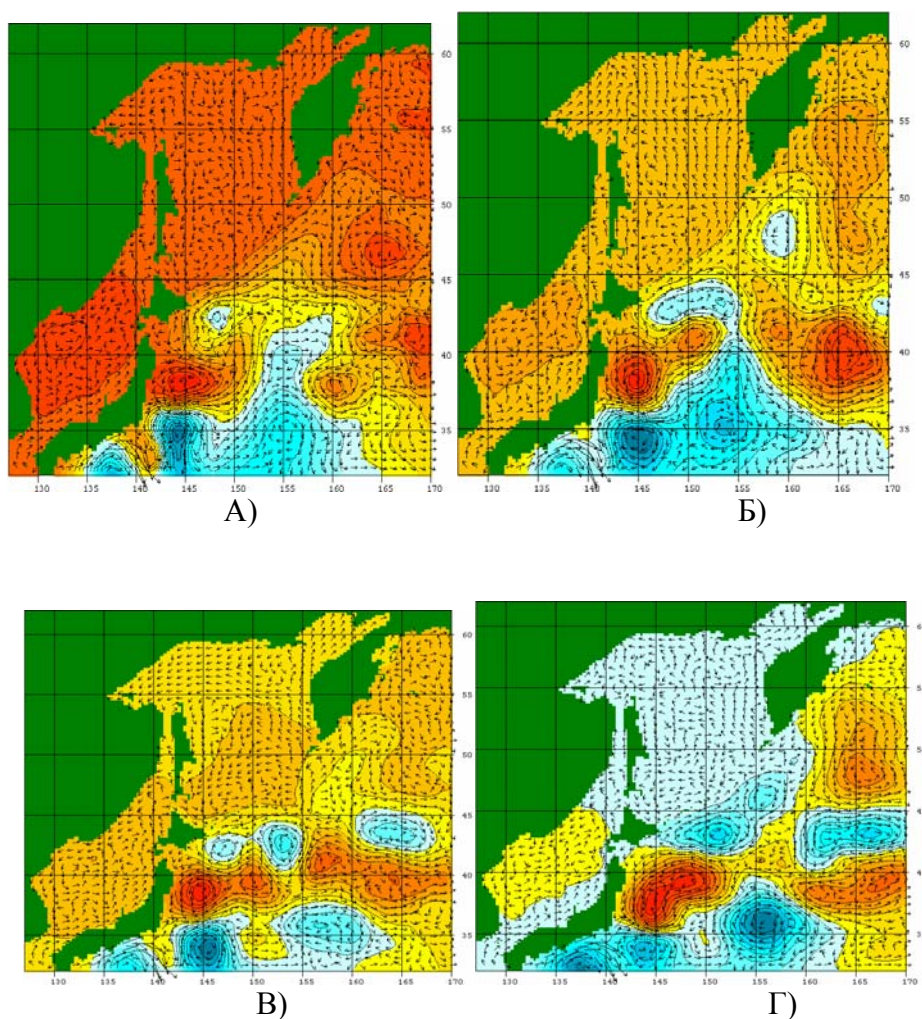


Рисунок 1.6.1 - Поля течений на акватории северо-западной части Тихого океана, Японского и Охотского морей на: А) 30 марта 2011 г., Б) 30 апреля 2011г., В) 30 мая 2011г., Г) 30 июня 2011 г.

#### Литература

1. 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.)

## 1.7 Изучение поведения ртути в приводном слое атмосферы на акваториях Японского и Охотского морей

1) По результатам исследований проведенных с 2010 по 2013 года было определено фоновое содержание атомарной ртути в надводном слое атмосферного воздуха в Японском, Охотском, Беринговом море и в северо-западной части Тихого океана для летнего периода. В целом концентрация атомарной ртути в атмосфере над северо-западной частью Тихого океана с учетом морей изменялась от 0,3 до 4,9 нг/м<sup>3</sup>, среднее значение составило  $1,5 \pm 0,5$  нг/м<sup>3</sup> (количество замеров (N) = 33660). В атмосфере над Японским морем и Татарским проливом содержание ртути изменялась от 0,3 до 4,9 нг/м<sup>3</sup>, среднее –  $1,7 \pm 0,5$  нг/м<sup>3</sup> (N = 14758): в Охотском море – от 0,3 до 2,8 нг/м<sup>3</sup>, среднее –  $1,5 \pm 0,4$  нг/м<sup>3</sup> (N=6621): в Беринговом море – от 0,3 до 2,0 нг/м<sup>3</sup>, среднее –  $1,1 \pm 0,3$  нг/м<sup>3</sup> (N=4730): в северо-западной части Тихого океана без учета морей – от 0,3 до 2,9 нг/м<sup>3</sup>, среднее –  $1,3 \pm 0,4$  нг/м<sup>3</sup> (N=7551).

2) Суточные циклы ртути в приводном слое атмосферы над морем.

В результате проведенных летом 2013 г. в Японском, Охотском и Беринговом морях двух рейсов №62 и №63 НИС «Академик М.А. Лаврентьев», было установлено, что в течение суток содержание ртути в приводной атмосфере над морем уменьшается с увеличением температуры воздуха и наоборот.

3) Дальний атмосферный перенос ртути от природных источников

Однако, закономерные уменьшения и увеличения содержания атомарной ртути с увеличением и уменьшением температуры воздуха, соответственно, могут нарушаться под влиянием неких факторов. Так, например, в 63 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» с 24.07.13 по 26.07.13 в середине Охотского моря фиксировались повышенные содержания ртути, связанные предположительно с атмосферным переносом атомарной ртути от активного в это время вулкана Плоский Толбачик, расположенного на п-ове Камчатка. Результаты расчета обратных траекторий воздушных масс подтверждают данное предположение.

4) Поступление ртути в атмосферу от активных геологических объектов.

На суточный ход содержания ртути может также оказывать воздействие поступление ртути в атмосферу от активных геологических объектов. Осенью 2010 г. в северной части Японского моря в районе возвышенностей Витязь и Алпатова над рифтогенной структурой были зафиксированы контрастные ореолы рассеяния атомарной ртути. Основываясь на методе исключений, выдвинуто предположение, что причина их возникновения - поступление ртути через толщу морской воды в составе пузырьков газа или в результате диффузии и турбулентного перемешивания от гидротермальных или водно-

газовых источников на морском дне /4/. В 63 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» днем 4 августа 2013 с повышением температуры воздуха над вулканом Пийпа в Беринговом море фиксировались повышенные содержания ртути. Ранее над гидротермальными источниками подводного вулкана Пийпа уже фиксировались контрастные гидрохимические и атмосферические ореолы рассеяния ртути.

5) Дальний атмосферный перенос антропогенной ртути.

По результатам исследований было установлено, что содержание ртути в атмосферном воздухе над Японским морем может возрастать с приходом в данный регион воздушных масс из района Желтого моря, с окружающими его высокоиндустриализированными территориями (восточный Китай и Ю. Корея), характеризующимися интенсивной антропогенной эмиссией ртути. В результате анализа данных, полученных осенью 2010 г. в 53 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев», и расчета обратных траекторий воздушных масс был выявлен первый случай увеличения концентрации атомарной ртути в атмосфере над Японским морем (центральная часть, район возвышенности Ямато) до 3,8 нг/м<sup>3</sup> из-за прихода теплых воздушных масс из района Желтого моря /1/. Это значение в 2 раза больше средних значений содержания атомарной ртути в атмосфере северного полушария – 1,5-1,7 нг/м<sup>3</sup>. Анализ данных, полученных осенью 2011 г. (58 рейс НИС «Академик М.А. Лаврентьев»), также позволил установить случай трансграничного атмосферного переноса ртути из района Желтого моря в северо-западную часть Японского моря, при этом содержание атомарной ртути в воздухе в точке измерения увеличилось до 4,2 нг/м<sup>3</sup> /2/.

В конце лета 2012 г. увеличение содержания атомарной ртути в приземном слое атмосферы до 3,3 нг/м<sup>3</sup> было выявлено в приземной атмосфере Уссурийского залива (залив Петра Великого, Японское море) при прохождении тайфуна Болавен, воздушные массы которого, пройдя над регионом Желтого моря, также обогатились ртутью /2/.

Осенью 2012 в 44 рейсе НИС «Академик Опарин» было выявлено 4 случая атмосферного переноса ртути из района Желтого моря в район Японского моря /5/.

Осенью 2013 г. в 64 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» было зафиксировано увеличение содержания ртути в воздухе над Японским морем до 4,3 нг/м<sup>3</sup> с приходом воздушных масс из северо-западной части Китая и региона Желтого моря. Уменьшение концентрации атомарной ртути (до 0,6-1,8 нг/м<sup>3</sup>) в приземном слое атмосферы над Японским морем наблюдалось, когда воздушные массы приходили из относительно слабоиндустриализованных районов: Сибири, Монголии, северо-востока Китая и Дальнего Востока России.



Вследствие муссонного характера климата в Приморье, можно предположить, что наиболее интенсивный трансграничный атмосферный перенос ртути из Желтого моря на акваторию Японского моря происходит во время летнего муссона, активного в июле-августе. В это время загрязненные антропогенной ртутью воздушные массы распространяются на все Японское море и, возможно, на некоторые районы Охотского моря.

Таким образом, на содержание ртути в приводном слое атмосферы над северо-западной частью Тихого океана и его окраинных морей оказывает влияние несколько факторов: 1) циклические физико-химические процессы; 2) поступление ртути через толщу воды в составе пузырьков газа и/или в результате диффузии и турбулентного перемешивания от различных геологических объектов на дне: разрывные нарушения земной коры, гидротермы, подводные вулканы; 3) дальний атмосферный перенос ртути от природных источников, в частности от действующих вулканов п-ова Камчатка; 4) дальний атмосферный перенос ртути от антропогенно-загрязненных районов, по большей части из восточного Китая.

#### Литература

1. Аксентов К.И., Калинин В.В. Особенности распределения атомарной ртути в приводном слое атмосферного воздуха Японского моря осенью 2010 г. // Метеорология и гидрология. 2012. № 10. С. 44-52.

2. Калинин В.В., Астахов А.С., Мишуков В.Ф., Аксентов К.И. Изменение концентрации атомарной ртути в приводном слое атмосферы над акваторией Уссурийского залива Японского моря во время прохождения тайфуна Болавен в 2012 г. // Метеорология и гидрология. 2013. № 5. С. 26-36.

3. Калинин В.В., Иванов М.В. Особенности распределения атомарной ртути в приводном слое воздуха Японского и Охотского морей весной 2011 г. // Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России. Материалы 4-й Всероссийской конференции молодых ученых, Владивосток. Владивосток: Дальнаука. 2012. С. 182 -184.

4. Калинин В.В., Аксентов К.И. Атомарная ртуть в приводном слое атмосферы над Японским морем (по результатам исследований за 2010-2012 гг.) // Тезисы докл. VI конф. мол. ученых «Океанологические исследования». 15 – 19 апреля 2013 г. Владивосток: Дальнаука. 2013. С. 80-81.

5. Калинин В.В., Лопатников Е.А. Атмосферный перенос ртути из региона Желтого моря в Япономорский регион осенью 2012 г. // Тезисы докладов 2-й науч. конф. «Океанография залива Петра Великого и прилегающей части Японского моря». 15-17 мая 2013 г. Владивосток: Дальнаука. 2013. С. 15-16.

## **1.8 Изучение поведения полициклических ароматических углеводородов и радиоактивных соединений в атмосфере и морской среде в регионе восточной Азии**

Для изучения атмосферного переноса установлены 2 станции для отбора атмосферного аэрозоля в пригороде г.Владивостока и в г.Томск и проведен сезонный отбор проб. Проведена 1 морская и 1 прибрежная экспедиция для отбора проб воздуха и морской воды в различных районах северо-западной части Тихого океана, Японского и Охотского морей. Проведен анализ содержания полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и радиоактивных соединений (РС) в пробах морской воды и атмосферного аэрозоля, отобранных во время экспедиционных работ 2011-2013 годов.

### **Атмосфера**

Для аэрозолей г.Владивостока показано, что в среднем за год химический состав аэрозолей на 50% обусловлен суммарным влиянием 3 природных источников, таких как, земная кора, почва и глина, а также на 40% влиянием антропогенного источника - летучей золы угля, которая также определяет содержание ПАУ в атмосфере. Влияние летучей золы угля усиливается при ветрах, приносящих вещества из промышленных районов г.Владивостока и Китая. При образовании пылевых бурь в районах пустыни Гоби в Китае в зимне-весенние периоды наблюдается повышение содержания пыли в атмосфере, причем заметен вклад указанного антропогенного источника.

Проведенный анализ поступления искусственных радионуклидов в природную среду показал, что в результате аварии на АЭС Фукусима в марте 2011 г. общее количество радиоактивных выбросов составило  $538,1 \cdot 10^{15}$  Бк, причем  $520 \cdot 10^{15}$  Бк было выброшено в атмосферу, а в океан поступило  $18,1 \cdot 10^{15}$  Бк. В океан и атмосферу были выброшены I-131 ( $511 \cdot 10^{15}$  Бк), Cs-134 ( $13,5 \cdot 10^{15}$  Бк) и Cs-137 ( $13,6 \cdot 10^{15}$  Бк). Повышение концентрации атмосферных аэрозолей в г.Владивосток с 25 марта по 15 апреля 2011 г. от 121  $\mu\text{г}/\text{м}^3$  до 330  $\mu\text{г}/\text{м}^3$  сопровождается ростом концентрации искусственных радионуклидов, Cs-134, Cs-137 и I-131. В период с 25 марта по 8 апреля 2011г. гамма - активность Cs-137 и Cs-134 в атмосферных аэрозолях увеличилась в 100 раз по сравнению с минимально детектируемой активностью (МДА). Метеорологические данные, собранные в период отбора проб, позволили сделать вывод о том, что общее количество атмосферных осадков способствует активному вымыванию из атмосферы цезия -134 и цезия -137. Изменчивость гамма активности природных изотопов, Be-7 и K-40 не превышает одного порядка в течении всего периода отбора проб. Установлена значимая корреляционная связь между концентрацией атмосферных аэрозолей и гамма - активностью I-131, Cs-134 и Cs-137.

Синоптический анализ обратных траекторий движения воздушных масс показал, что радиоактивное облако в районе г.Владивосток пришло из Сибири и северо-восточной части Китая. Анализ дат начала возрастания активности искусственных изотопов в аэрозолях показал, что распространение радионуклидов в атмосфере происходило в направлении: Япония – Аляска, Гавайи - западное побережье США – восточное побережье США – Финляндия – Дальний восток России – Южная Корея.

В пробах атмосферных аэрозолей, отобранных в морской экспедиции 2012 года в Японском и Охотском морях и северо-западной части Тихого океана,  $^{137}\text{Cs}$  в концентрации, явно превышающей минимальную детектируемую активность (МДА), присутствует в образцах, отобранных на участках маршрута, приближенных к японским островам Хонсю и Хоккайдо, как при движении на восток в Японском и Охотском морях, так и при движении на северо-запад, запад из Тихого океана, что может быть косвенным свидетельством того, что в этих пробах присутствует материал, поднятый с суши островов загрязненной вследствие атмосферных выпадений во время аварии.

Результаты гамма-спектрометрического анализа проб атмосферных аэрозолей над г. Владивосток в 2013 г. Зарегистрированные концентрации природных радионуклидов  $\text{Be-7}$ ,  $\text{K-40}$  и искусственных  $\text{Cs-134}$ ,  $\text{Cs-137}$  и  $\text{Co-60}$  не превысили предельно допустимой объемной активности (Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)).

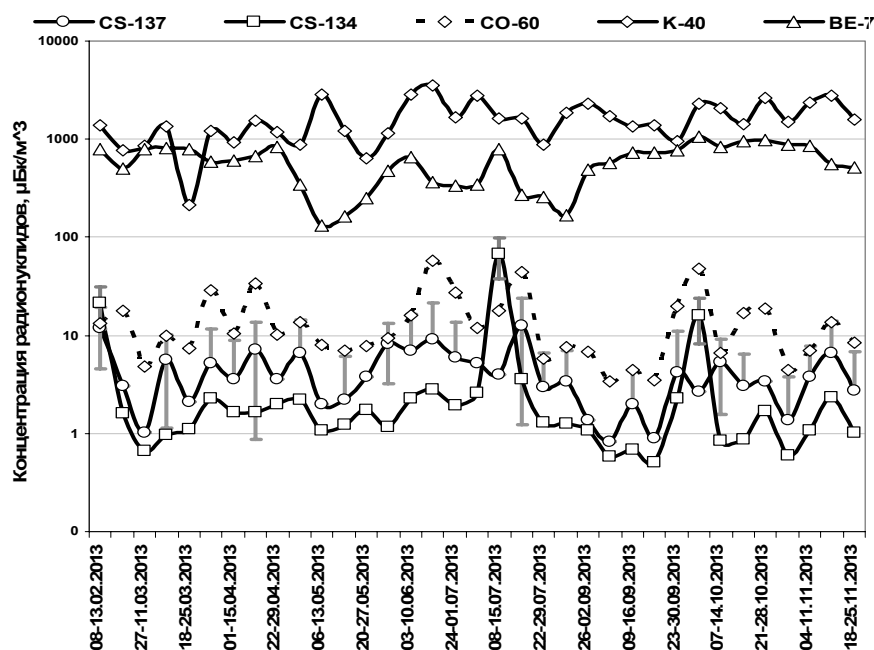


Рисунок 1.8.1 - Временное изменение концентраций природных и искусственных радионуклидов в составе атмосферных аэрозолей над г. Владивосток в 2013 г.

В среднем, погрешность измерений Be-7 не превышала 20% (2  $\sigma$ ), K-40 не превышала 40% (2  $\sigma$ ), а Cs-134 до 48% (2  $\sigma$ ). Погрешности измерений Cs-137 и Co-60 были от 50% до 100%. В пробах аэрозоля 2013 года обнаружено возрастание концентрации  $^{134}\text{Cs}$  до 21,5 мкБк/м<sup>3</sup> и  $^{137}\text{Cs}$  12 мкБк/м<sup>3</sup> после проведения подземного ядерного взрыва в КНДР 12 февраля 2013 г.(Ртс.1).

В образцах атмосферных осадков 2011 г в г.Владивосток активность составляла 0,08 Бк/л для  $^{137}\text{Cs}$  и 0,02 Бк/л для  $^{134}\text{Cs}$ . В осадках 2013 года концентрация трития изменялась в диапазоне 0,5-3,1 Бк/л, причем в пробах снега она коррелировала с концентрацией  $^7\text{Be}$ , а пробах дождя в теплый сезон - с концентрацией  $^{40}\text{K}$

#### Морская среда

Получены данные о содержании искусственных радионуклидов в пробах воды, отобранных в 2011 и 2012 г в Японском, Охотском морях и в Тихом океане с восточной стороны Южных Курил. В пробах отобранных 06-07.04.2011 г в Уссурийском заливе Cs-134 отсутствовал, концентрация Cs-137 не превышала фоновых значений. Значимые уровни содержания Cs-134 зарегистрированы в пробах воды, отобранных в Амурском заливе во второй половине мая 2011г. Cs-134 присутствовал и в пробах открытой части Японского моря, отобранных в первой половине ноября 2011 г. В Охотском море Cs-134 зарегистрирован только в пробах, отобранных в южной части моря в диапазоне 0.1-0.2 Бк/м<sup>3</sup>. Концентрация Cs-137, явно превышающая фоновые уровни, зарегистрирована в пробах, отобранных с океанской стороны южных Курил (4.5, 6.4 Бк/м<sup>3</sup>), концентрация Cs-134 здесь 0.2-2.0 Бк/м<sup>3</sup>. Временная и пространственная изменчивость содержания радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  (Бк/м<sup>3</sup>) /  $^{134}\text{Cs}$  (Бк/м<sup>3</sup>) в поверхностных водах: а) пролив Лаперуза — 2,2/0,2 (24.05.11), 2,9/<0.04 (04/06/11), 2,8/0.2 (17.06.11), 1,9/1.8 (30.06.11), 2,0/0.2 (02.08.11), 2,3/1.1 (10.08.11); б) юг Охотского моря – 2,8/2,3 (24.05.11), 2,4/0,1 (05.06.11), 2,3/0,2 (30.06.11); в) к востоку от пролива Фриза – 2,7/0,3 (25.05.11), 4,5/1,2 (12.06.11), 2,7/0,44 (30.06.11), 2,9/0,6 (13.07.11); г) к югу от острова Шикотан – 6,4/1,5 (11.07.11); д) Сангарский пролив – 3,4/0,3 (08.07.11), 3,5/0,2 (09.07.11); е) северо-западная часть Тихого океана – 6,2/3,0 (19.06.12), 5,4/2,3 (20.06.12), 21,3/11,9 (21.06.12), 7,0/9,7 (22.06.12), 6,7/2,8 (24.06.12), 2,6/0,2 (26.06.12), 5,1/1,1 (28.06.12), 11,3/6,1 (30.06.12).

Результаты анализа проб воды на содержание гамма-излучающих радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$ ) показали повышенную активность даже спустя 16 месяцев с момента аварии на АЭС Фукусима1 в районе взаимодействия течений Куроисио и Ойяисио к востоку от Японии и перенос радиоизотопов в глубинные слои океана. Обнаружены достаточно высокие уровни активности изотопов цезия в областях антициклонических вихрей, при этом максимальные значения наблюдаются не на поверхности, а на глубинах 100-200 м.

Например, в антициклоническом вихре на северном субарктическом фронте (ст. 61) концентрации  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$  составляют на поверхности соответственно 21,3 и 11,9 Бк/м<sup>3</sup>, а на глубине 200 м - 21,6 и 12,5 Бк/м<sup>3</sup>, и сохраняются выше фоновых значений до глубины 1000 м - 2,4 и 0,8 Бк/м<sup>3</sup>. В области теплого ринга Курошио к юго-востоку от о. Хоккайдо (ст. 84) концентрации  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$  составляют на поверхности соответственно 11,6 и 6,1 Бк/м<sup>3</sup>, на глубине 100 м - 14,3 и 7,9 Бк/м<sup>3</sup>, а на глубине 350 м - 11,8 и 6,9 Бк/м<sup>3</sup>. Севернее, в области субарктических вод и районе Курильских островов концентрации значительно ниже, но также превышают фоновые. Например, в точке станции KNOT (ст. 56) концентрации  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$  в поверхностном слое составляют соответственно 6,4 и 3,0 Бк/м<sup>3</sup>. Эти величины несколько ниже полученных в этой же точке экспедицией на НИС «Мирай» в апреле-мае 2011 г.

Суммарные концентрации для 13 соединений ПАУ изменялись для открытых районов северо-западной части Японского моря в диапазоне 4,0-10,2 нг/л, для залива Находка – 41,6-79,4 нг/л, в реке Амур – 63-180 нг/л и в Амурском лимане – 34-70 нг/л. Для определения природных источников поступления ПАУ в морскую среду проанализировано распределение метана, как индикатора поступления углеводородов, на территории Приморского края и прилегающей акватории Японского моря и показано, что активное выделение углеводородов происходит в районах месторождения углей и минеральных вод, а интенсивность выделения углеводородов изменяется в зависимости от сейсмической обстановки рассматриваемых районов.

## 2 Экологические исследования морских организмов

### 2.1 Исследование механизма блокирования нереста у морских ежей, вызванное межгодовыми флуктуациями гидрологического режима

Для беспозвоночных животных с внешним оплодотворением, половые клетки которых выделяются в воду, очень важна синхронизация нереста. Если нерест в поселениях животных протекает асинхронно, вероятность оплодотворения значительно снижается из-за уменьшения концентрации гамет в воде и/или потери ими жизнеспособности /1/. Следовательно, для успешного воспроизводства беспозвоночных необходим внешний стимул, который бы обеспечивал одновременный выброс гамет в воду у достаточного количества особей обоих полов. В настоящее время природа такого стимула остается неизвестной. Предполагается, что фитопланктон, температура, фазы лунного цикла, продолжительность светового дня и химические вещества, выделяемые самими животными, могут служить факторами, способствующими синхронизации нереста /2/. В недавних наших исследованиях /3/ было показано, что в 2008–2009 гг. в некоторых поселениях морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* из северо-восточного побережья Приморского края (Японское море) репродуктивный цикл животных не завершался нерестом, и невыметанные яйцеклетки и сперматозоиды утилизируются организмом. Мы предположили, что причиной блокирования нереста в поселениях морского ежа является недостаточно высокая концентрация фитопланктона. Цель настоящего исследования – выяснение природы стимула, запускающего нерест в природных поселениях *S.intermedius*.

Исследования были проведены в б. Киевка (рис. 2.1.1) на трех станциях в 2011 и 2013 гг. и четырех станциях в 2012 г. Морских ежей с диаметром панциря более 50 мм собирали на глубине 2–7 м с использованием легководолазного снаряжения. Объем выборки составлял  $\geq 40$  экз. О динамике репродуктивного цикла и сроках нереста судили по величине гонадного индекса (ГИ) и клеточному составу гонад /4/.

На станции №3 во все годы исследований постоянный контроль параметров среды велся мультипараметрическим зондом YSI 6920V2, который с 15-минутным интервалом регистрировал содержание хлорофилла *a* (Chl *a*), температуру, соленость и содержание кислорода. На всех станциях для измерения тех же параметров по всей толще воды использовали мультипараметрический зонд RBR XRX-620. Кроме того, с интервалом в 5 сут. в 2011 г. и 3 сут. в 2012 г. и 2013 гг. проводили зондирование толщи воды на 27 станциях по всей акватории бухты (рис. 2.1.1). В 2013 г. на станции № 1 проводились испытания установки, включающей видеокамеру TLC200 Pro и мультипараметрический зонд YSI

6920V2. Непрерывный видеоконтроль состояния морских ежей и регистрация параметров среды велась с интервалом 10 мин.

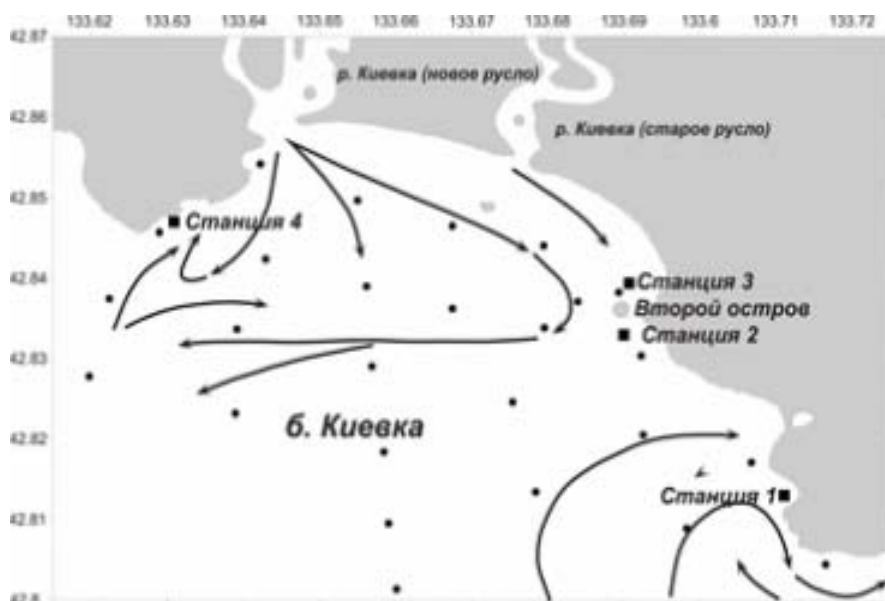


Рисунок 2.1.1 - Схема расположения станций (1–4) в б. Киевка (Японское море). Точками указаны станции, где проводили вертикальное зондирование гидрологических параметров. Изолинии на карте показывают распределение хлорофилла *a*. Стрелками показана схема течений в бухте в августе по /5/.

Анализ динамики ГИ показал, что в 2011 г. нерест *S. intermedius* на всех трех станциях проходил в несколько этапов, но сроки нереста и его интенсивность были различны (рис. 2.1.2).

На станциях 2 и 3 нерест проходил синхронно, о чем свидетельствует высокая степень корреляции между значениями ГИ на этих станциях ( $r = 0,9957$  при  $P < 0,0001$ ). Первое достоверное снижение ГИ произошло между 5 и 13 августа, а второе – между 3 и 8 сентября. В последующем ГИ оставалось практически неизменно низким вплоть до 21 октября. На станции 1 динамика ГИ отличалась от таковой на станциях 2 и 3. Незначительное, хотя и достоверное, уменьшение ГИ наблюдалось в период с 13 по 25 августа (рис. 2.1.2). С 25 августа по 24 сентября значения ГИ были практически на одном уровне. Достоверное уменьшение этого параметра было зарегистрировано лишь 28 сентября и 21 октября. Таким образом, сроки нереста на станции 1 были смещены относительно станций 2 и 3. Статистически различие в динамике ГИ выражалось в отсутствии корреляции между станцией 1 и станциями 2 и 3. В 2012 г. изменение ГИ на всех четырех станциях было синхронным (рис. 2.1.3).

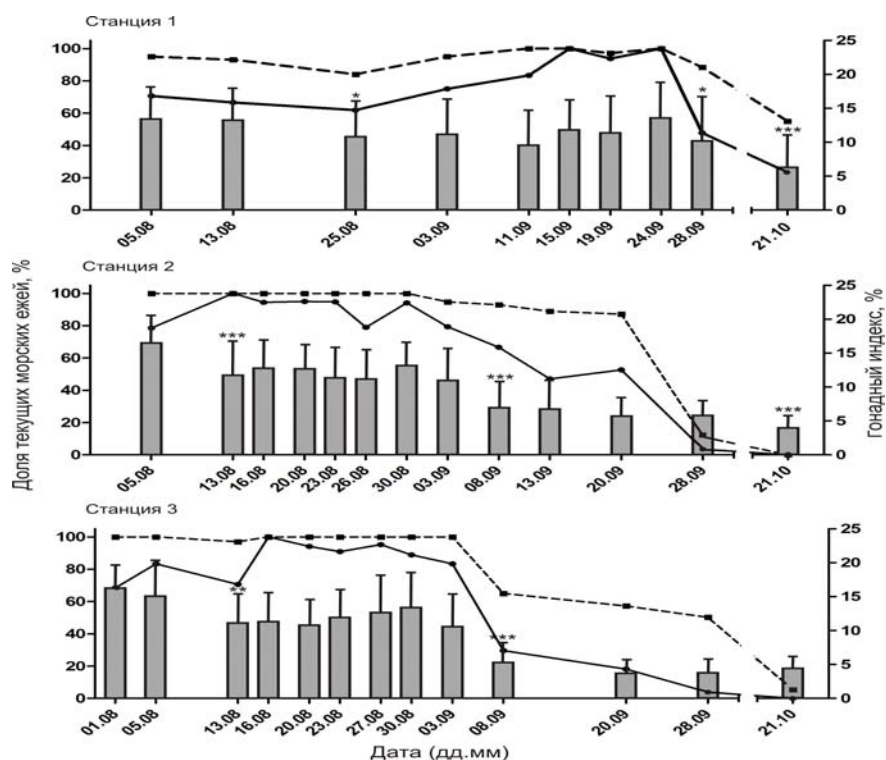


Рисунок 2.1.2 - Динамика изменения гонадного индекса (столбики) и доли самцов (штриховая линия) и самок (сплошная линия) со зрелыми текущими гонадами в выборках морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* из б. Киевка в августе–октябре 2011 г. Вертикальные отрезки – стандартное отклонение. Различия между значениями гонадного индекса (по сравнению с предыдущим измерением) достоверны при: \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$ ; \*\*\*  $P < 0,001$ .

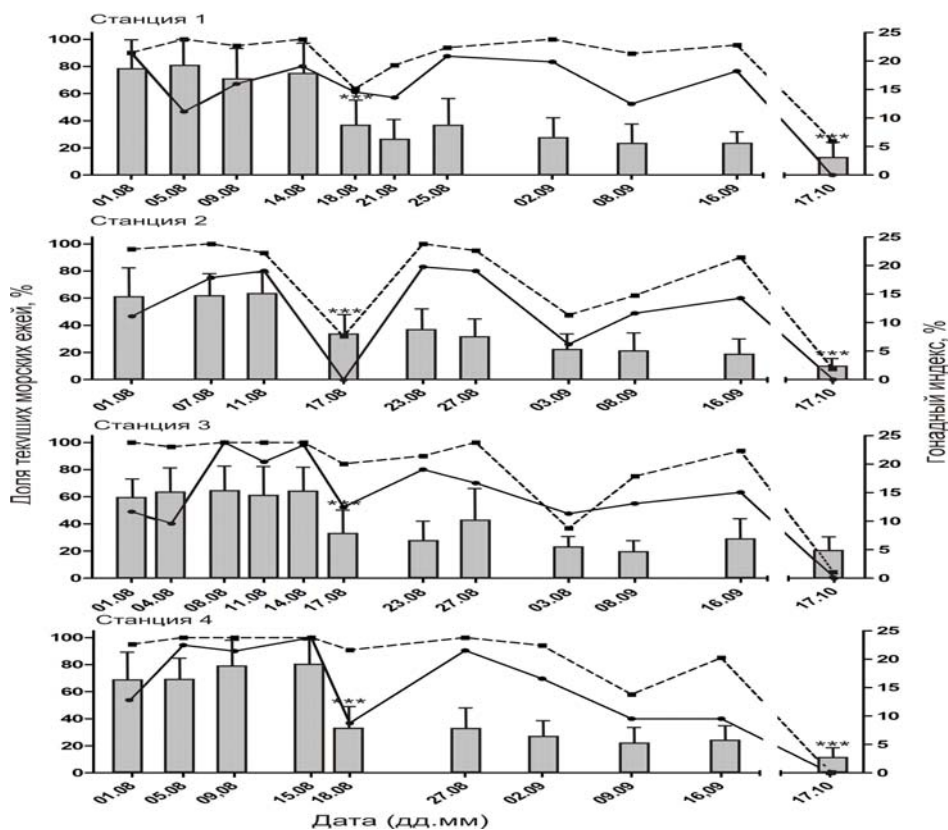




Рисунок 2.1.3 - Динамика изменения гонадного индекса (столбики) и доли самцов (штриховая линия) и самок (сплошная линия) со зрелыми текущими гонадами в выборках морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* из б. Киевка в августе–октябре 2012 г. Обозначения как на рис. 2.1.2.

Степень корреляции между значениями ГИ на этих станциях была высокой (значения  $r$  составили от 0,9650 до 0,9912 при  $P$  от 0,002 до  $< 0,0001$ ). Массовый нерест со значительным снижением ГИ (более чем на 50%,  $P < 0,0001$ ) произошел на станции 1 между 14 и 18 августа, на станции 2 – между 11 и 17 августа, на станции 3 – между 14 и 17 августа и на станции 4 – между 15 и 18 августа (рис. 2.1.3).

В дальнейшем значения ГИ имели тенденцию к постепенному снижению, хотя достоверных изменений этого показателя не было выявлено вплоть до 16 сентября. Достоверное снижение ГИ на трех из четырех станций зарегистрировано 17 октября. Таким образом, динамика ГИ отчетливо указывает на однократный и практически одномоментный массовый нерест морских ежей на всех четырёх станциях. В то же время, продолжающееся постепенное снижение ГИ после массового нереста может свидетельствовать о наличии серии менее интенсивных эпизодов нереста, не выявляемых по показателю ГИ.

Второй показатель, использованный нами для регистрации сроков нереста *S. intermedius*, – это доля в выборке морских ежей, гонады которых выделяли половые продукты (текли). Он отражает наличие в ацинусах гонады зрелых половых клеток, которые животное способно выметать в окружающую среду. Динамика доли текущих самок и самцов была сходной, хотя доля текущих самцов была в целом выше, чем самок. Корреляция между значениями этого показателя для самок и самцов на всех станциях была положительной (значения  $r$  составили от 0,8420 до 0,9229 в 2011 г. и от 0,7287 до 0,8661 в 2012 г.). Естественно ожидать, что количество текущих особей в выборке будет снижено сразу после нереста и будет возрастать по мере созревания половых клеток. Колебания количества текущих морских ежей были отмечены в оба сезона исследований. Особенно отчетливо они проявлялись в сезон 2012 г., когда синхронно с достоверным снижением ГИ в августе на всех четырех станциях произошло и снижение доли текущих самцов и самок. Впоследствии доля текущих морских ежей дважды последовательно синхронно возрастала и снижалась при отсутствии видимой связи с изменением ГИ (рис. 2.1.3).

Изучение мазков гонад показало, что в начале августа 2011 и 2012 гг. гонады около 100% самцов на всех станциях содержали большое количество сперматозоидов. В течение августа – сентября доля самцов с высоким содержанием сперматозоидов менялась: она снижалась с увеличением доли не текущих самцов и затем вновь возрастала с ее снижением.

В октябре 2011 и 2012 гг. почти на всех станциях гонады самцов находились в посленерестовом состоянии и содержали лишь редкие остаточные сперматозоиды. Исключением была станция 3 в 2011 г., на которой 21 октября 55% самцов имели текущие гонады с высоким содержанием сперматозоидов в них.

В начале августа 2011 г. большинство самок (80–90%) на станциях 2 и 3 и все самки на станции 1 находились в преднерестовом состоянии. Они содержали средние (30–40 мкм в диаметре), крупные (50–80 мкм) ооциты и яйцеклетки. В этот же период 2012 г. все самки на всех четырех станциях находились в преднерестовом состоянии. В оба сезона наблюдений в период с середины августа и до середины сентября во всех выборках преобладали самки с крупными ооцитами и яйцеклетками. Во второй половине сентября на всех станциях преобладали самки, гонады которых содержали только яйцеклетки. В 2011 г. 24 сентября на станции 1 крупные гонады у 14% самок наряду с нормальными яйцеклетками содержали разрушающиеся яйцеклетки – признак блокирования нереста. В октябре в оба сезона наблюдений гонады самок со всех станций, за исключением станции 1 в 2011 г., находились в посленерестовом состоянии. Они содержали единичные яйцеклетки и небольшое количество их фрагментов. На станции 1 30% самок не отнерестились, они имели крупные текущие гонады (значения ГИ составили 15–17%), содержавшие нормальные яйцеклетки, яйцеклетки на разных стадиях фрагментации и фрагменты яйцеклеток.

#### *Динамика гидрологических и гидрохимических параметров*

Кислород. За весь период исследований содержание кислорода в придонном слое на всех станциях было близким к насыщению и составляло в среднем  $98,7 \pm 1\%$ .

Соленость. В 2011 г. количество осадков в августе и сентябре составило 115 мм, а в 2012 г. – 405 мм. Это обусловило некоторые различия в динамике солености в придонном слое (рис. 2.1.4 - 5).

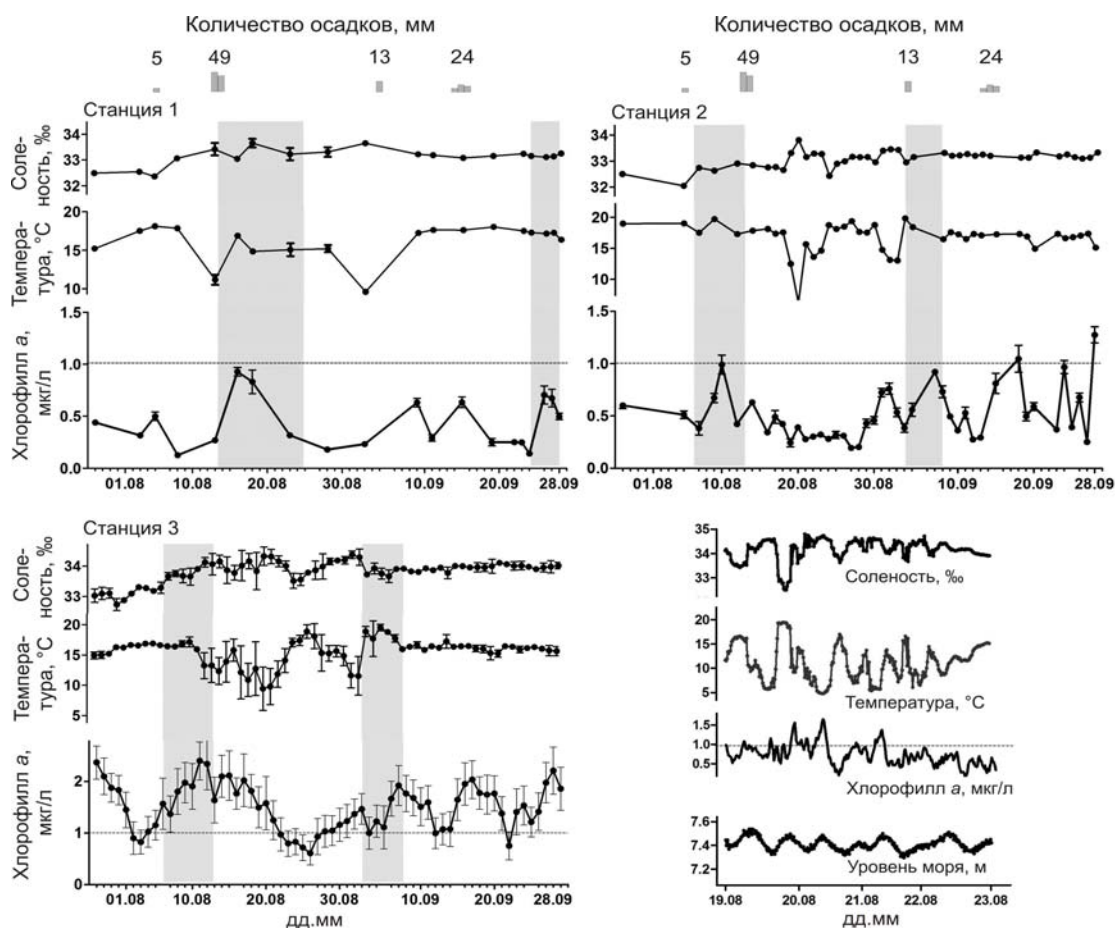


Рисунок 2.1.4 - Динамика гидрологических параметров в б. Киевка в местах отбора морских ежей в 2011 г. Затененные области на рисунке – временной интервал, в котором произошел нерест. Вверху рисунка указано количество осадков. На станции 3, где регистрация велась непрерывно, указаны средние значения за сутки  $\pm$  стандартное отклонение. Справа в нижней части рисунка – фрагменты непрерывной регистрации гидрологических параметров в период максимального развития апвеллинга (19–23 августа).

Тем не менее, в оба сезона исследований на станциях 1–3 значения солёности не опускались ниже 32‰. Максимальное снижение солёности до 29‰ было зарегистрировано 31 августа 2012 г. на станции 4 после продолжительного дождливого периода (рис. 2.1.5). Как следует из данных, приведенных на рис. 2.1.4 и 5, нерест морских ежей происходил в периоды практически неизменной солёности.

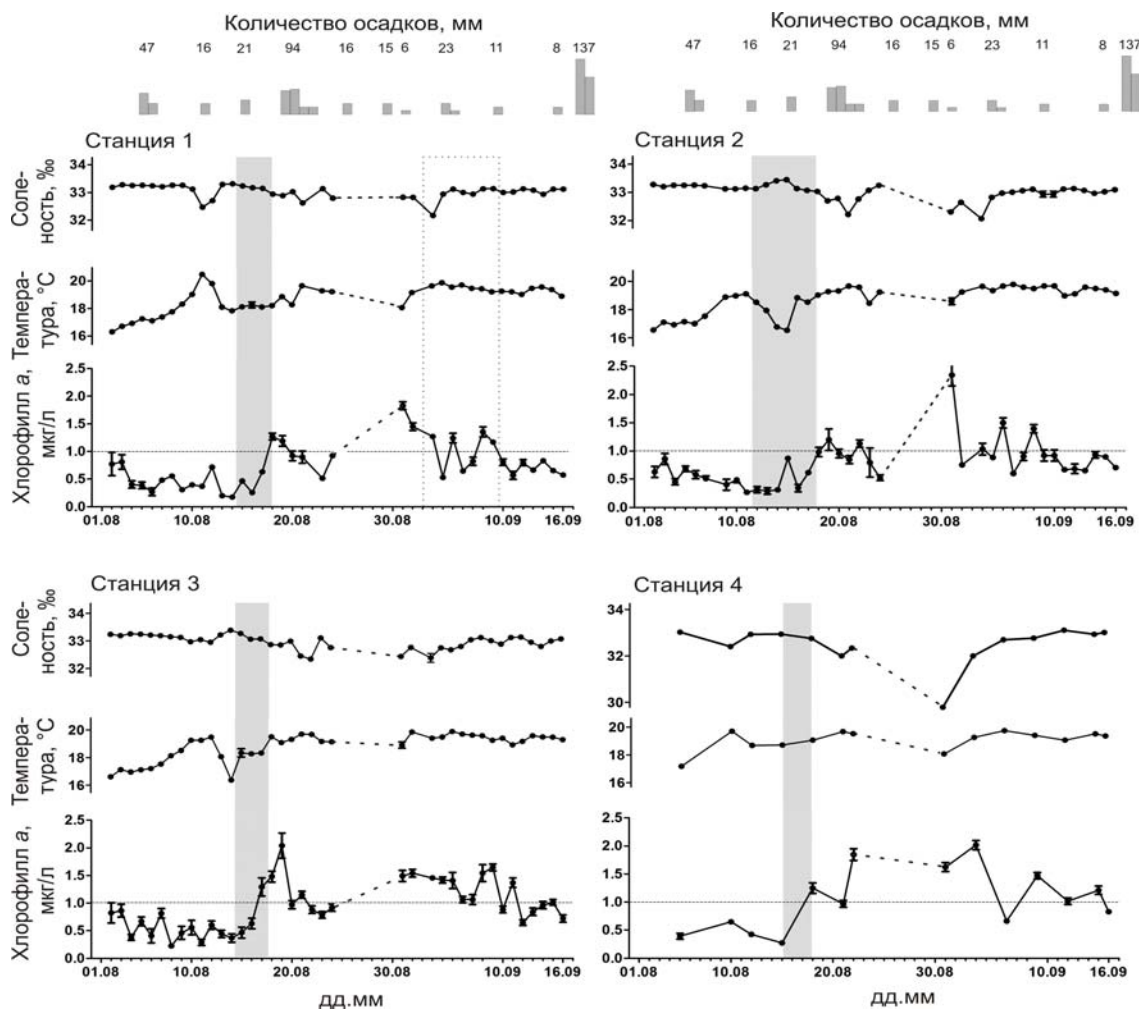


Рисунок 2.1.5 - Динамика гидрологических параметров в б. Киевка в местах отбора морских ежей в 2012 г. Обозначения как на рис. 2.1.4.

Температура. Температурный режим в оба сезона исследований характеризовался высокой степенью изменчивости (рис. 2.1.4 -5). В первой декаде августа наблюдался постепенный прогрев вод. Во второй – третьей декаде августа 2011 г. наблюдали явление апвеллинга, которое сопровождалось резкими колебаниями температуры, достигавшими  $14,6^{\circ}\text{C}$  (от  $4,8$  до  $19,2^{\circ}\text{C}$ ) в течение суток (рис. 2.1.4). В 2012 г. апвеллинг был менее выражен. «Язык» холодных вод дальше всего продвинулся в центральной части бухты и затронул станции 2 и 3, тогда как на станциях 1 и 4 температура во второй – третьей декадах августа изменялась мало (рис. 2.1.5). В сентябре температура стабилизировалась на уровне около  $18^{\circ}\text{C}$  на всех станциях. Как следует из рис. 2.1.4 и 5 и таблицы, нерест проходил при разнонаправленных изменениях температуры: при ее повышении, снижении, а также при практически постоянной температуре.

Хлорофилл *a*. В течение всего периода исследований 2011 и 2012 гг. концентрация *Ch a* на всех станциях в основном была ниже  $1$  мкг/л, сравнительно редко превышая этот уровень за исключением сравнительно высоких значений на станции 1 в 2011 г. (около  $1,5$

мкг/л) и на всех станциях в сентябре 2012 г. после продолжительных дождей (1,0–2,5 мкг/л). Сопоставление сроков нереста морских ежей и содержания *Ch a* в придонном слое показывает, что все 10 эпизодов нереста совпали по времени с повышением концентрации *Ch a*.

Таблица

Диапазоны значений температуры и концентрации хлорофилла *a* в периоды нереста морского ежа *Strongylocentrotus intermedius*

Стан- ция	2011 г.						2012 г.		
	Нерест в августе			Нерест в сентябре			Нерест в августе		
	Дата	Темпер атура	Хлоро филл <i>a</i>	Дата	Темпер атура	Хлоро филл <i>a</i>	Дата	Темпе ратура	Хлоро филл <i>a</i>
1	05.08–	16,91–	1,15–	03.09–	18,59–	1,0–	14.08–	18,34–	0,37–
	13.08	13,29	2,4	08.09	15,96	1,79	17.08	19,00	1,48
2	05.08–	19,86–	0,51–	03.09–	19,86–	0,38–	11.08–	18,32–	0,34–
	13.08	16,48	0,92–	08.09	16,48	0,92	17.08	16,54	1,0
3	13.08–	11,18–	0,27–	24.09–	17,3–	0,14–	14.08–	18,13–	0,26–
	25.08	16,89	0,99–	28.09	16,37	0,7	18.08	18,21	1,27
4	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	15.08–	18,71–	0,27–
							18.08	19,1	1,25

Примечание. Н.д. – нет данных.

Предварительный анализ данных 2013 г. показал, что первый пик нереста морских ежей на всех станциях произошел до 1 июля, что на полмесяца раньше, чем в предыдущие годы. Об этом свидетельствует значимо меньшая величина ГИ (ANOVA,  $P < 0,001$ ) и наличие от 10 до 30% полностью или частично отнерестившихся особей. Второй пик состоялся между 14 и 18 сентября. Температурный режим в бухте мало отличался от температурного режима предыдущих лет. Возможно, что столь ранний нерест 2013 года и необычно продолжительный межнерестовый период связан с динамикой поступления биогенов с терригенным стоком. Раннее и интенсивное выпадением осадков в третьей декаде июля и последующее цветение фитопланктона в бухте, возможно, послужило стимулом для нереста. Впоследствии, вплоть до середины сентября, значительных осадков не отмечалось. Концентрация хлорофилла *a* удерживалась на низком (0,12 – 0,52 мкг/л) уровне. И лишь 14 – 15 сентября концентрация хлорофилла *a* поднялась до уровня 0,9 – 1,2 мкг/л.

Апробация методического подхода, в котором видеорегистрация поведения морских ежей сочеталась с одновременной регистрацией гидрологических и гидрохимических

параметров среды по техническим причинам была ограничена периодом с 7 августа по 12 сентября. В процессе испытаний был выявлен ряд конструктивных недостатков системы видео регистрации и получен ценный опыт по постановке таких систем. В целом же система оправдала наши ожидания и после необходимой доработки ее планируется использовать как основной инструментальный компонент в дальнейших исследованиях. В период испытаний нами не было зарегистрировано нерестового поведения морских ежей, что согласуется с данными анализа гонад.

#### Выводы

Разработан и апробирован в полевых условиях новый метод исследования, сочетающий непрерывный оптический контроль над состоянием морских ежей с одновременной регистрацией гидрологических и гидрохимических параметров среды.

Впервые проведены исследования с высоким (до трех дней) временным разрешением сроков нереста с одновременным контролем гидрологических и гидрохимических параметров среды непосредственно в пределах изучаемых поселений. Показано что: 1) Нерест морских ежей в каждом поселении (станции) проходил в несколько этапов и мог быть выявлен по снижению гонадного индекса и изменению доли морских ежей со зрелыми текущими гонадами. 2) В зависимости от года наблюдений нерест в пределах сравнительно небольшой бухты мог проходить как синхронно во всех поселениях, так, и смещен во времени в одних поселениях относительно других. При этом у части особей в отдельных поселениях репродуктивный цикл не завершился нерестом. 3) Имели место значительные межгодовые вариации сроков нереста. Временной интервал между ранним и поздним пиком нереста мог достигать двух месяцев. 4) В пределах сравнительно небольшой бухты зарегистрированы значительные пространственные и временные вариации гидрологических и гидрохимических параметров. 5) При сопоставлении сроков нереста с параметрами среды не обнаружено связи между нерестом и изменением температуры, солености и содержания кислорода. Данные исследований с высокой степенью вероятности свидетельствуют о том, что природным стимулом, запускающим нерест морских ежей, служит повышение концентрации фитопланктона. 6) Тестовые испытания системы видео регистрации поведения морских ежей с одновременной регистрацией гидрологических и гидрохимических параметров среды показали, что она может быть использована как основной инструментальный компонент в дальнейших исследованиях.

## Литература

1. Levitan D.R., Petersen C. Sperm limitation in the sea // Trends. Ecol. Evol. 1995. V. 10. P. 228-231.
2. Mercier A., Hamel J.-F. Endogenous and exogenous control of gametogenesis and spawning in Echinoderms // Adv Mar Biol. 2009. V. 55. P. 1-302.
3. Жадан П.М., Ващенко М.А., Альмяшова Т.Н. Блокирование нереста морских ежей *Strongylocentrotus intermedius* в северо-западной части Японского моря // Вестник ДВО РАН. 2010. № 4. С. 31-40.
4. 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.
5. Зуенко Ю.И., Рачков В.И. Основные черты гидрологического и гидрохимического режима вод бухты Киевка (Японское море) // Известия ТИНРО. 2003. Т. 133, №. P. 303-312.

## 2.2 Характеристика морской биоты и оценка антропогенного воздействия на припортовые акватории в заливах Посъета и Находка

### Залив Посъета

Продолжены 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/м<sup>3</sup>) отмечен 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./м<sup>3</sup>), Gastropoda (9-3456 экз./м<sup>3</sup>) и Bivalvia (2-2567 экз./м<sup>3</sup>). 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 видовой 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 по 2013 гг. 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 2013 г. 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 2013 г. достигала 141 г/м<sup>2</sup>, причем полихеты *Maldane sarsi* и *Pectinaria dimai* составляли 25,7 % и 24 % от общей биомассы соответственно. Общая плотность животных насчитывала 3106 экз./м<sup>2</sup> с преобладанием многощетинковых червей *Lumbrinereis fragilis* и *Maldane sarsi* (33 и 25 % от общей плотности). От весны к осени 2013 г. 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, прехтных организациям и предприятиям, готовым осуществить эти работы (ОАО НПК «ЭКОпроект», ОАО «Горняк», ООО «ЗоРоз», порт «Посъет»).

### **Залив Находка**

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/м<sup>2</sup>, 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./м<sup>2</sup>. 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 2013 г. в районе о. Лисий и порта «Восточный» обнаружено 14 видов инфауны 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.

## 2.3 Использование молекулярных биомаркеров окислительного стресса для оценки загрязнения морской среды

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.

Настоящая работа посвящена исследованию возможности применения биохимических показателей окислительного стресса в полевых условиях для оценки комплексного влияния загрязнения на состояние морских гидробионтов. 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 Алексева (о-в Попова) с умеренным уровнем загрязнения.

В тканях мидий была определена активность основных антиоксидантных ферментов – супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ) и глутатионпероксидазы (ГП). 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).

Сравнительный анализ уровней металлов в тканях мидий, собранных в б. Горностай и б. Алексева показал, что содержание Mn и Zn значимо не различалось в тканях мидий из этих биотопов (табл. 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. Алексева. 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. Алексева по сравнению с мидиями из б. Горностай, особенно сильные различия наблюдались для жабр (табл. 1). Аналогичные результаты были получены ранее при

исследовании жабр мидий *C. grayanus*, собранных в чистых районах акватории островов Рейнеке, Большой Пелис (зал. Петра Великого) и в б. Горностай.

Таблица 2.3.1

Содержание тяжелых металлов (мкг/г сухой массы) в тканях *C. grayanus* (среднее

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

значение ± стандартное отклонение, n=3), (\*- достоверные различия: n=3, p<0.05)

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).

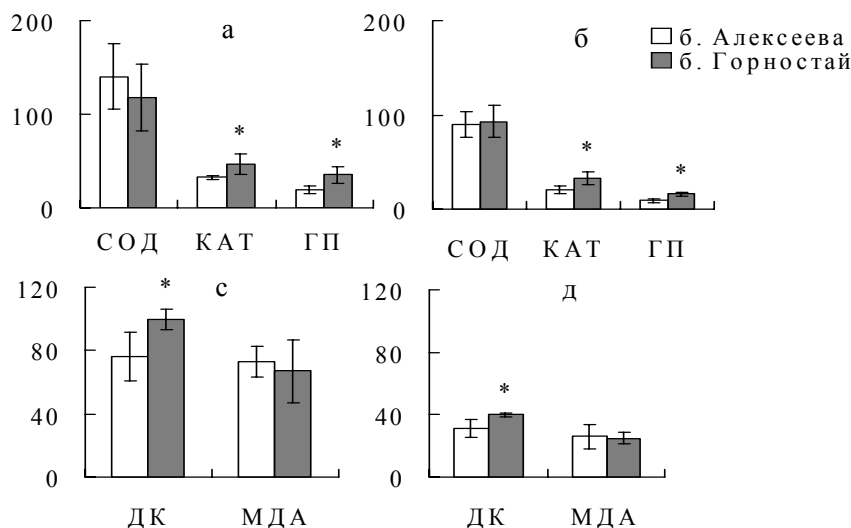


Рисунок 2.3.1 - Активность антиоксидантных ферментов и содержание продуктов перекисного окисления липидов в пищеварительной железе (а, в) и жабрах (б, д) *C. grayanus* из двух биотопов.

Обозначения: 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. Алексева и б. Горностай ( $n=4$ ,  $p<0.05$ )

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.

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. 2.3.2), что указывает на значительные повреждения в молекуле ДНК. В тоже время, у моллюсков из б. Алексева, сформировались преимущественно кометы классов С0, С1 и С2, 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 (табл. 2.3.2).

Таблица 2.3.2

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 (px)	% ДНК в "хвосте" кометы
б. Алексева	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 ± стандартное отклонение, ( $n = 15$  животных по 50 комет; С0-С4 – классы повреждения комет; px – длина хвоста в пикселях; \* – достоверное отличие ( $P \leq 0.05$ ,  $n=750$ ) по сравнению с мидиями из б. Алексева, достоверность различий оценивалась использованием непараметрического критерия Даннета

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. Алексева.

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 адаптационно-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 поллютантов 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.

## 2.4 Исследования экологии морских млекопитающих(серые киты)

Обработаны результаты береговых наблюдений распределения и миграций серых китов (*Eschrichtius robustus*) в прибрежных водах Чукотского полуострова в 1994 – 2012 гг. Полученные данные показывают, что в холодные годы, при максимальном развитии ледового покрова, как это происходило летом 1994 и в 1998 гг., период нагула серых китов в западной части Чукотского моря, сокращался до 3,5-х месяцев, а в южной до 4-х месяцев, тогда как в типичные годы киты кормятся 5 и 6,5 месяцев соответственно. Кроме того, в холодные годы лед перекрывает около 2/3 кормовых полей, в результате чего для серых китов оказывались недоступны корма в западной и в северной частях Чукотского моря, а также в проливе Лонга и крайней восточной части Восточно-Сибирского моря. Высокую смертность серых китов зимой 1998/1999 гг. можно объяснить переполненностью кормовых полей в нагульный период 1998 г., в связи с необычно высокой численностью серых китов. Это усугубилось недоступностью большей части кормовых полей Чукотского моря и сокращением продолжительности нагула из-за тяжелого ледового режима летом 1998 г. Сложившиеся условия не позволили китам накопить достаточные энергетические запасы для последующего зимнего периода. В настоящее время серые киты калифонийско-чукотской популяции заполнили все кормовые поля берингово-чукотского шельфа. Возможность увеличения численности за счет экстенсивного расширения нагульного ареала этих китов в водах Арктики исчерпана.

Несмотря на широкое распространение метода фотоидентификации, некоторые его возможности не были востребованы для изучения серых китов, в частности, для идентификации по морфологическим признакам. В 2013 г. продолжены исследования возможностей использования формы спинного горба серых китов и выраженности спино-хвостовых бугров, а также относительных расстояний между ними для фотоидентификации. Анализ фотографий 124 пар мать-детеныш выявил высокую вероятность наследования этих признаков. Сопоставление большого количества фотографий полученных за ряд лет позволил выявить неизменность этих признаков с возрастом. Наследуемость и возрастная стабильность таких морфологических признаков как форма, выраженность горба и хвостовых бугров позволяют их использовать для индивидуальной идентификации. Мониторинг состояния нагульной группировки серых китов в районе зал. Пильтун, указывает на её демографическую стабильность.

В 2013 г продолжены исследования ластоногих (*Pinnipedia*). Продолжены исследования сивуча (*Eumetopias jubatus*) на лежбищах Командорских островов. Локальная популяция сивуча Командорских островов сформировалась к началу 1990-х гг. На



формирование субпопуляции ушло около 30 лет. Численность молодых и взрослых сивучей за весь период существования субпопуляции изменялась в широких пределах (со средним уровнем  $672 \pm 57$  (95%CI) без статистически значимой положительной или отрицательной направленности. Тренд численности щенков имел выраженный отрицательный характер, обусловленный тремя резкими спадами количества приплода в 2000, 2009 и 2011 гг. В настоящее время численность молодых и взрослых сивучей командорской субпопуляции находится на уровне близком к среднемуголетнему. Для возрастной структуры сивучей Командорских о-вов характерно низкое количество средневозрастных сивучей и животных старших возрастов. Среди новорожденных преобладают самки, что, вероятно, является следствием дисбаланса возрастной структуры. Успешность размножения командорских сивучей снижена из-за высокой величины яловости самок и дисбаланса в возрастной структуре. Низкая успешность размножения, по всей видимости, является главным параметром, определяющим неблагоприятное состояние субпопуляции. Для командорских сивучей характерен высокий уровень филопатрии – 92% животных возвращаются для размножения на нательное лежбище. Почти все (96.9%) командорские сивучи размножаются внутри своей субпопуляции. Иммиграция сивучей-производителей на Командорские о-ва из других районов Тихого океана в репродуктивный период почти полностью отсутствует.

В весеннее - летний период 2013 г. состоялась экспедиция на Камчатку, Командорские о-ва, Курильские о-ва и о. Сахалин. Целью экспедиции была установка автономных фото-систем для мониторинга лежбищ сивучей и учет морских млекопитающих. В ходе экспедиции было установлено 60 автономных фото-систем. Было встречено 10 видов морских млекопитающих.

Кроме того, в мае – июле 2013 г. отследили сезонную динамику численности сивучей на репродуктивном лежбище острова Тюлений (о. Сахалин). Определили долю возврата сивучей, помеченных в прошлые годы методом горячего таврения на лежбище. В период размножения определили основные источники смертности сивучей.

Продолжали исследования содержания и уровня концентрации хлорорганических пестицидов в органах и тканях ларги Японского моря, а также содержания токсичных металлов в тканях моржей из прибрежных вод Чукотского п-ова. Установлено, что наиболее высокие уровни концентрации хлорорганических соединений достигают в жире тюленей. Ни у одного вида тюленей, обитающих в Северной Пацифике, столь высоких концентраций ХОП ранее не обнаруживали. В почках моржей зарегистрирован высокий уровень содержания кадмия. Показано, что концентрация металла возрастает по мере увеличения возраста моржей. Предложено использовать ластоногих для биоиндикации и

долговременного мониторинга стойких органических загрязнителей и тяжелых металлов в прибрежных биотопах.

### 3 Биологическая активность природных комплексов из гидробионтов и лазерного излучения

#### 3.1 Исследование гепатопротекторных свойств экстракта из бурой водоросли *Laminaria japonica*

В настоящее время в экспериментальных исследованиях на животных наиболее широко в качестве гепатотоксического агента используется четыреххлористый углерод ( $CCl_4$ ). В связи с этим целью настоящей работы явилось изучение гепатопротекторных свойств экстракта из ламинарии японской при интоксикации четыреххлористым углеродом.

В эксперименте использовали белых крыс-самцов линии Вистар массой 180-200 г, содержавшихся на стандартном рационе в условиях вивария. Животным в дорзальную шейную складку вводили 50% раствор  $CCl_4$  на оливковом масле в дозе 2 мл/кг на протяжении 4-х дней. В качестве препарата сравнения использовали коммерческий полифенольный препарат «Легалон»<sup>®</sup> (MADAUS AG, Германия). Экстракт из ламинарии вводили внутривенно 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 –  $CCl_4$ ; 3-я группа – депривация (отмена 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.

Интоксикация  $CCl_4$  сопровождалась увеличением относительной массы печени на 50%, сплошной зернистостью жировых включений, то есть проявлялась выраженная жировая инфильтрация. Активность в крови маркерного фермента печени аланинаминотрансферазы (АлАТ) увеличивалась в 7 раз, что обусловлено повышением проницаемости мембран гепатоцитов и выходом фермента в кровь. При исследовании показателей углеводного обмена после интоксикации  $CCl_4$  отмечалось снижение по сравнению с контролем содержания пирувата и окисленной формы НАД<sup>+</sup> в печени, в среднем, на 30%, при одновременном увеличении лактата на 20% (рис. 3.1.1).

Уменьшение соотношения НАД<sup>+</sup>/НАДН на 62% (244 против 645 в контроле) указывает на сдвиг баланса окислительно-восстановительной системы в сторону образования восстановленных эквивалентов, что приводит к развитию в организме тканевой гипоксии.

Количество общих липидов в печени превышало контрольный уровень в 3,5 раза, что объясняется увеличением содержания триацилглицеринов, холестерина и свободных жирных кислот (таблица). Одним из факторов повышения содержания триацилглицеринов и свободных жирных кислот 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 триацилглицерины.

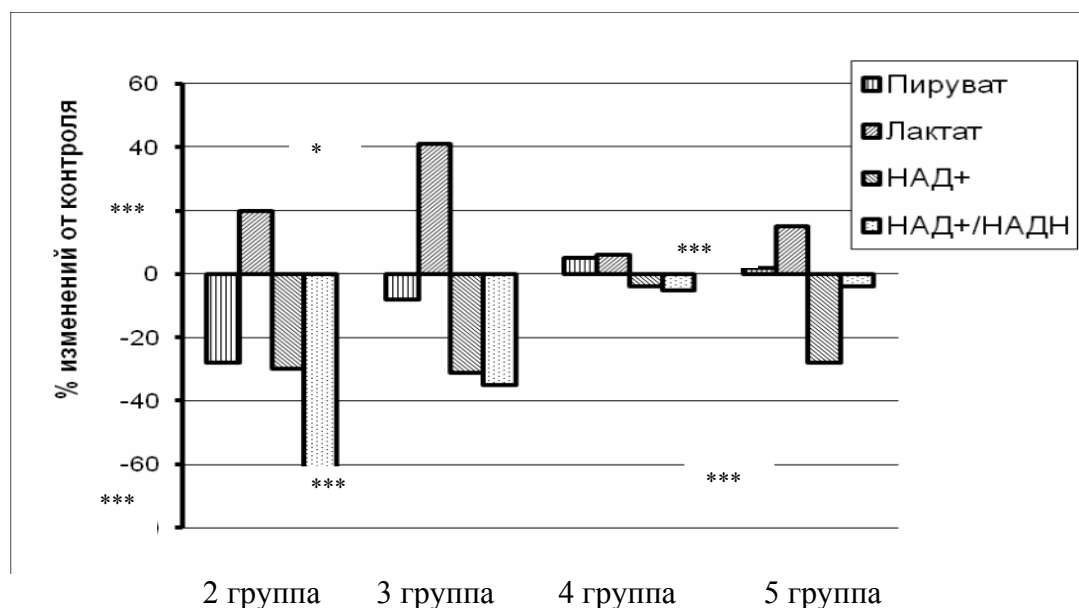


Рисунок 3.1.1 - Изменения биохимических показателей в печени крыс после интоксикации четыреххлористым углеродом и введении экстракта из ламинарии и легалона.

Примечание: 2 группа –  $CCl_4$ ; 3 группа – депривация; 4 группа – введение экстракта ламинарии в период депривации; 5 группа – введение легалона в период депривации.

Увеличение количества холестерина обусловлено угнетением митохондриального окисления Ац-КоА в цикле Кребса. Одновременно происходило снижение количества эфиров жирных кислот на 16% и эфиров холестерина на 25%. Такое соотношение липидных фракций свидетельствует о нарушении этерифицирующей функции печени.

Таблица 3.1.1

Изменения в содержании нейтральных липидов в печени крыс после интоксикации четыреххлористым углеродом ( $M \pm m$ )

Параметры	1 группа Контроль (интактные)	2 группа $CCl_4$	3 группа Депривация	4 группа Депривация +ламинария	5 группа Депривация +легалон
ТАГ	23,84 $\pm 0,33$	26,51 $\pm 0,68^b$	29,18 $\pm 0,96^b$	24,00 $\pm 1,08$	25,80 $\pm 0,79^a$
СЖК	14,26 $\pm 0,44$	16,55 $\pm 0,53^b$	17,90 $\pm 0,54^b$	14,06 $\pm 0,58$	15,15 $\pm 0,71$
ЭЖК	16,16 $\pm 0,51$	13,55 $\pm 0,52^b$	13,19 $\pm 0,62^b$	16,12 $\pm 0,90$	14,69 $\pm 0,41^a$
ХС	17,55	20,16	19,54	17,68	18,68

	±0,48	±0,40 <sup>B</sup>	±0,55 <sup>б</sup>	±0,74	±0,42
ЭХС	17,24 ±0,33	12,89 ±0,59 <sup>B</sup>	13,14 ±0,68 <sup>B</sup>	17,15 ±0,75	15,09 ±0,77 <sup>a</sup>
Остаточная фракция	10,95 ±0,23	10,34 ±0,51	7,05 ±0,89	10,99 ±0,54	10,59 ±0,82
Примечание. Различия статистически достоверны при: <sup>a</sup> p<0.05, <sup>б</sup> p<0.01, <sup>B</sup> p<0.001 по сравнению с контролем. ТАГ – триацилглицерины, СЖК – свободные жирные кислоты, ЭЖК – эфиры жирных кислот, ХС – холестерин, ЭХС – эфиры холестерина.					

Через 7 дней после отмены CCl<sub>4</sub> (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 на 31%, при вскрытии имелись зернистые включения липидов. Исследование параметров углеводного обмена в период депривации показало повышенный на 41%, относительно контроля, уровень лактата и сниженный на 31% уровень НАД<sup>+</sup>. В связи с этим коэффициент соотношения НАД<sup>+</sup>/НАДН составлял 422, что указывало на сохраняющееся состояние тканевой гипоксии и угнетение аэробных процессов.

В спектре нейтральных липидов замечен дальнейший рост содержания триацилглицеринов и свободных жирных кислот, а также сохранение высокого значения холестерина при одновременно низком уровне его эфиров и эфиров жирных кислот. Следовательно, в период депривации сохраняется низкая этерифицирующая функция печени и дальнейшее развитие жировой инфильтрации. Сохранялась высокая проницаемость мембран гепатоцитов, в пользу чего свидетельствовала повышенная на 34% активность АлАТ.

При введении животным экстракта из ламинарии в период отмены CCl<sub>4</sub> (4-я группа) отмечалось восстановление исследуемых параметров до контрольных значений. Так, относительная масса печени и количество общих липидов соответствовали контрольным показателям. Активность АлАТ в крови была на уровне контроля, что свидетельствует о мембрано-стабилизирующих свойствах исследуемого экстракта. Уменьшение уровня лактата, увеличение пирувата и содержания НАД<sup>+</sup> способствовало росту коэффициента НАД<sup>+</sup>/НАДН до 637, что предполагает снятие тканевой гипоксии.

В составе фракций нейтральных липидов следует отметить снижение количества триацилглицеринов, свободных жирных кислот, а также увеличение содержания эфиров жирных кислот и эфиров холестерина, что указывает на восстановление этерифицирующей

функции печени. То есть, препарат обладает выраженным гепатопротекторным эффектом, проявляющимся в снятии жирового перерождения печени.

При введении гепатопротекторного препарата сравнения «Легалон»<sup>®</sup> (5-я группа) отмечалась однонаправленность изменений изученных биохимических показателей относительно контроля, как и в 4-й группе, однако степень их выраженности различалась. Так, масса печени животных и содержание общих липидов превышали контрольные значения на 16% и 12%, соответственно. Также отмечался повышенный уровень лактата (на 15%) и пониженный окисленной формы НАД<sup>+</sup> (на 27%).

При анализе количественных характеристик фракций нейтральных липидов следует отметить, что в печени сохранялся повышенный уровень триацилглицеринов и пониженный эфиров холестерина и эфиров жирных кислот по сравнению с таковыми в контроле. То есть, при введении легалона нарушенные токсикантом метаболические реакции полностью не восстановились и сохранились остаточные явления жировой инфильтрации печени.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что экстракт из ламинарии проявляет выраженный защитный эффект в условиях воздействия гепатотоксического агента CCl<sub>4</sub>. Терапевтическая эффективность исследуемого препарата оказалась более выраженной, чем у эталонного гепатопротектора «Легалон»<sup>®</sup>.

### 3.2 Исследование спектра цитокиноподобных веществ голотурии *Eupentacta fraudatrix*

Ранее использование фагоцитов иглокожих, являющихся аналогами макрофагов позвоночных животных, было предложено в качестве адекватной модели механизмов врожденного иммунитета. Иммунный ответ у позвоночных реализуется в тесной взаимосвязи отдельных иммунокомпетентных клеток, осуществляемой с участием цитокинов. У ряда иглокожих обнаружены предковые формы ряда цитокинов позвоночных, в том числе и провоспалительных, таких как интерлейкин-1 $\alpha$ -подобные вещества (ИЛ-1 $\alpha$ -ПВ) и  $\gamma$ -интерферон-подобные вещества (ИФН $\gamma$ -ПВ) и рецепторы к ним. Однако у голотурий (*Echinodermata*, *Holothuroidea*) цитокиноподобные вещества не описаны. Наличие у голотурий нескольких типов иммунных клеток и их субпопуляций предполагает кооперацию этих клеток в иммунном ответе и возможное участие в них цитокиноподобных веществ.

Целью работы явилось исследование уровня различных цитокиноподобных веществ в двух фракциях фагоцитов и обогащенной фракции морулярных клеток голотурии *Eupentacta fraudatrix* и участие этих веществ во взаимодействии клеток.

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). 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. Полученные суспензии клеток инкубировали 30 мин, 24 или 48 ч для индукции синтеза цитокиноподобных веществ. В ряде случаев клетки инкубировали с дексаметазоном (100 мкМ). Определение уровня ИЛ-1 $\alpha$ -, интерферон (ИФН)-  $\alpha$  и  $\gamma$ - и фактора некроза опухолей (ФНО)- $\alpha$  - подобных веществ проводили с использованием наборов для иммуноферментного анализа («Цитокин», Санкт-Петербург). Определение белка проводили с использованием красителя Кумасси G-250 по методу, описанному Bradford. Результаты ( $M \pm m$ ) обрабатывали статистически, используя для определения достоверности различий между группами t-критерий Стьюдента.

Предварительные исследования зависимости уровня цитокиноподобных веществ от времени инкубации были проведены для уровня ИЛ-1 $\alpha$ -ПВ (рис. 3.2.1). Через 30 мин инкубации свежевыделенных фракций фагоцитов и МК наибольший уровень ИЛ-1 $\alpha$ -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. Учитывая стабильно

высокий уровень ИЛ-1 $\alpha$ -ПВ в МК, можно отметить, что эти клетки являются основными продуцентами ИЛ-1 $\alpha$ -ПВ, как это показано и для морулярных клеток асцидий.

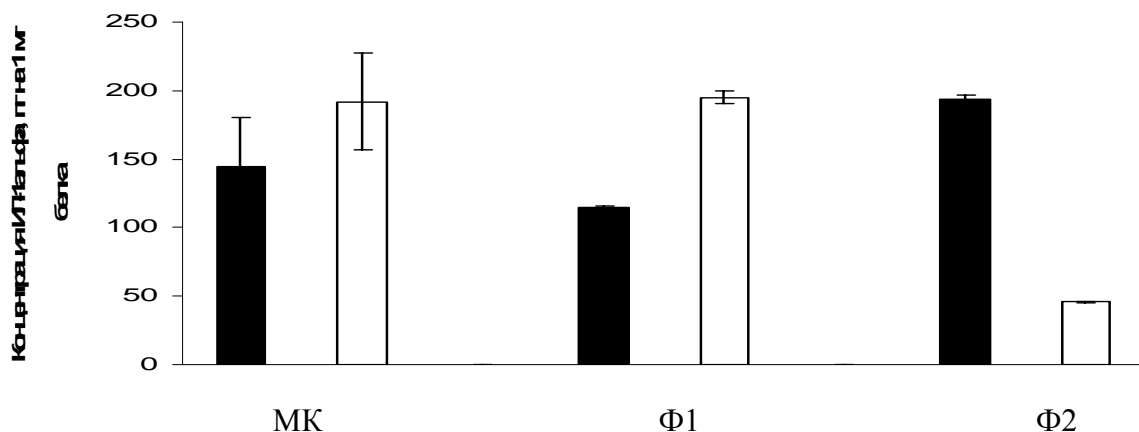


Рисунок 3.2.1 - Уровень ИЛ-1 $\alpha$ -ПВ в фагоцитах фракций 1 и 2 и морулярных клетках голотурии *E. fraudatrix* при инкубации 30 мин (черные столбики) и 24 ч (белые столбики).

Исследования уровня других цитокиноподобных веществ проводили при более длительной инкубации, до 48 ч (Табл. 3.2.1). Установлено, что ФНО $\alpha$ -ПВ практически не синтезировался в исследованных клетках, за исключением Ф1 через 48 ч, что подтверждает данные, полученные на позвоночных, о необходимости индуцирования синтеза этого цитокина антигенами. Сходным образом, ИФН $\alpha$ -ПВ практически не определялся в МК и Ф1, и лишь незначительный его уровень обнаружен в Ф2 через 24 ч. ИФН $\gamma$ -ПВ, как и ИЛ-1 $\alpha$ -ПВ, определялся во всех исследованных типах клеток, при этом имел близкие значения для Ф2 и МК, а в Ф1 через 24 ч был значительно выше, чем в остальных клетках. Впервые полученные данные свидетельствуют о том, что спектр синтезируемых цитокиноподобных веществ отличен в отдельных иммунных клетках, с преобладанием того или иного цитокина в отдельном типе клеток, что может иметь важное значение при кооперативном иммунном ответе.

Таблица 3.2.1

Уровень цитокиноподобных веществ в иммунных клетках голотурии *E. fraudatrix* при инкубации 24 и 48 ч

Наименование цитокина	Ф1		Ф2		МК	
	24 ч	48 ч	24 ч	48 ч	24 ч	48 ч
ФНО $\alpha$ альфа	0	44,6 $\pm$ 5,9	0	0	0	0
ИФН $\gamma$ гамма	-	59,6 $\pm$ 4,3	125 $\pm$ 11,6	29,7 $\pm$ 3,6*	100,6 $\pm$ 9,5	4,82 $\pm$ 0,8*



ИФНальфа	0	0	3,3±0,06	0	0	0
----------	---	---	----------	---	---	---

Примечание: P < 0,001 по сравнению с 24 ч периодом инкубации.

Кроме того, было показано, что синтетический гормон дексаметазон значительно снижал уровень ИФН $\gamma$  в Ф1, но стимулировал его рост в Ф2 (рис. 3.2.2).

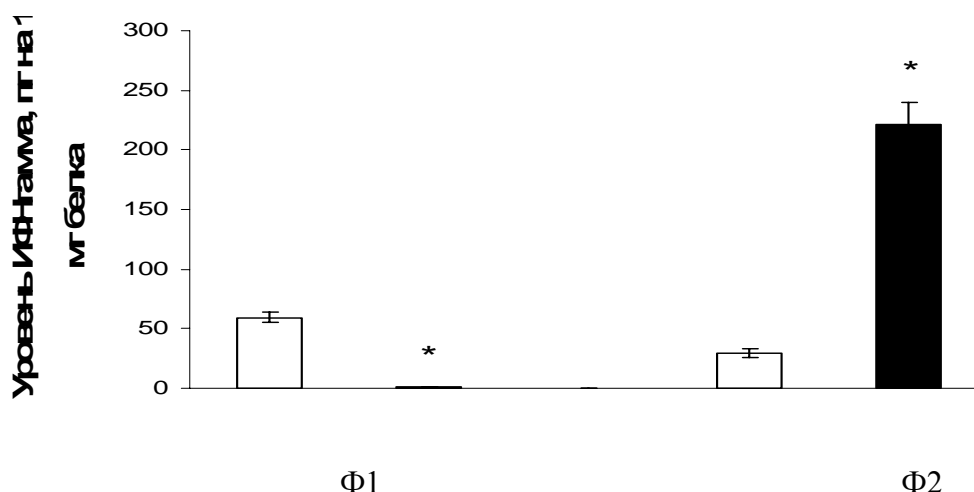


Рисунок 3.2.2 - Влияние дексаметазона (100 мкМ) на уровень ИФН гамма в фагоцитах Ф1 и Ф2 через 48 ч инкубации. Белые столбики-контроль, черные-дексаметазон, \*-P,0,001 по сравнению с контролем.

Это указывает на возможность различных путей регуляции функциональной активности в этих двух типах клеток (роли каждого из двух типов фагоцитов в иммунном ответе до сих пор не определены), а также возможность с помощью дексаметазона менять направленность иммунного ответа.

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 о гормональной модуляции синтеза цитокинов могут быть использованы при разработке технологий аквакультуры голотурий.

### **3.3 Экспериментальные и теоретические исследования лазерной деструкции биологической ткани.**

Исследования ориентированы на изучение совокупности лазероиндуцированных акусто-гидродинамических эффектов, имеющих прикладное значение в хирургии.

Лазерное излучение умеренной мощности (1-5 Вт) при контактном лазерировании чёрным оптоволоконном водонасыщенной биологической ткани приводит к появлению парогазовых пузырьков, являющихся эффективным теплоносителем. По этой причине лазерный скальпель можно использовать как генератор «горячих» пузырьков, что в свою очередь можно использовать для лечения заболеваний кровеносных сосудов, в частности, варикозно расширенных вен.

Исследования проведены на установке, представляющей из себя два соединённых пластиковой трубкой стеклянных цилиндра, один из которых выставлен вертикально вверх и имеет градуировку объёма попадающей в него жидкости. В другом, расположенном горизонтально, размещается лазерное оптоволокно, конец которого предварительно «чёрнится», покрывается слоем углерода. Волокно вводится через пробку, наглухо перекрывающую выход газозовых пузырьков из стеклянной кюветы (цилиндра). Система заполняется кровью с антикоагулянтом. В дальнейшем кровь разбавляется физраствором в различных концентрациях, для которых проводятся отдельные измерения. Включается лазерный аппарат, дистальный конец оптоволоконка разогревается, и на его торце генерируются парогазовые пузырьки. Объём пузырьков фиксируется на градуированном цилиндре, подъём мениска жидкости в котором, указывает на приращение объёма за счёт пузырьков. Вдоль рабочего (расположенного горизонтально) цилиндра установлены три термомпары, что позволяет измерять изменение температуры по мере работы лазерного генератора и сразу после его отключения.

Измерения показали, что в результате лазерного воздействия на кровь в режиме контактного лазерирования, в системе эффективно генерируются парогазовые пузырьки, объём которых на протяжении десятка секунд линейно зависит как от мощности излучения, так и от концентрации крови. В дальнейшем из-за эффекта кризиса кипения кривые выходят на плато. Показано, что через 8 секунд при мощности лазерного излучения 6 Вт температура парогазового слоя длиной в 1 см достигает значений более 60 °С. В участках приближенных к торцу оптоволоконка температура пузырьков за единицы секунд достигает значений порядка 100 °С. При мощности излучения 4 Вт эти значения температуры достигаются за 10 с, при 2 Вт за 14 с, при 1 Вт за 20 с.

Таким образом, показано, что лазерное излучение умеренной мощности может эффективно использоваться для эндовазальной (эндовенозной) лазерной коагуляции (облитерации) варикозных вен (ЭВЛК, ЭВЛО).

В отличие от традиционного (лучевого) метода облитерации, данный метод, когда теплоносителем является генерируемая пелена разогретых пузырьков, предполагает использование лазеров умеренной мощности, стоимость которых значительно ниже используемых при лучевой облитерации. Данный механизм имеет существенно меньше осложнений и противопоказаний и значительно удешевляет проведение процедур.

Ранее было показано, что действие лазерного и светодиодного излучения низкой и сверхнизкой интенсивностей на биологические объекты обладает высокой биологической активностью – как положительной, так и отрицательной. В этой связи были продолжены исследования механизма действия низкоинтенсивных излучений на биологические объекты в условиях, приближенных к естественным. В качестве объекта исследования, как и ранее, был выбран серый морской еж *Strongylocentrotus intermedius*, который обитает в Японском море, а также его гаметы: эмбрионы и сперматозоиды. Сперматозоиды, яйца, эмбрионы и личинки морских беспозвоночных животных, в первую очередь морских ежей, все чаще используют в качестве биологических тест-объектов.

Исследования проводили на МЭС о. Попова ТОИ ДВО РАН в бухте Алексеева, в аквариальной ИБМ ДВО РАН (г. Владивосток) и на биологической станции "Восток" ИБМ ДВО РАН (залив Восток залива Петра Великого Японского моря).

Наблюдение за гаметамии морского ежа осуществлялось с использованием микроскопов Carlzeiss (Germany) и Leika MZ 125 (Germany) с цифровой видеокамерой Leica DFC290 (Germany). Подсчет числа подвижных сперматозоидов и наблюдение за стадиями развития эмбрионов морского ежа производились визуально. Образцы регенерирующих игл изучали, просматривая в сканирующий электронный микроскоп EVO 40 и оптический микроскоп MC300 (MICROS, Австрия), снабженного цифровой цветной видеокамерой «Vision». Для контроля спектрального состава и мощности лазерного излучения использовались совмещенный с персональным компьютером оптоволоконный анализатор спектра USB4000 (Ocean Optics, США) с оптическим разрешением ~1.5 нм, диапазоном длин волн от 200 до 1100 нм и измеритель мощности FieldMaster с измерительной головкой LM-10HTD (Coherent, США).

Эксперименты проводились на гаметах серого морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* (*Strongylocentrotidae*, *Echinoidea*, *Echinodermata*). Морские ежи были собраны на глубине 3-5 м при температуре 17-20°C и солености 31-32‰.

Ежей содержали в ваннах, наполненных очищенной морской водой. Для экспериментов гаметы получали инъекцией около 1 мл 1 М КСІ в полость панциря готовых к нересту животных. Предварительно морские ежи помещались на стакан с морской водой. Через некоторое время (1-3 мин) после укола из гонопор, расположенных на аборальной стороне ежей выходили гаметы. Из самок – яйцеклетки, а из самцов – сперматозоиды. Концентрация сперматозоидов составляла в стакане около  $10^5 - 10^7$  шт/мл. В качестве контроля использовали суспензию спермиев в стаканах объемом 200 мл и в чашках Петри диаметром 33 мм, куда помещали 6 мл суспензии спермиев. В верхней трети стаканов спермии сохраняли подвижность в течение 36 часов, а в чашках Петри – около 20 часов. В качестве источников излучения, как и ранее, использовались различные лазерные, светодиодные аппараты и светопреобразующие экраны.

Показано, что - излучение гелий-неонового лазера (633 нм, 100 и 1200 мкВт/см<sup>2</sup>), аппарата МС-5-s-IR (780 нм, 300 мкВт/см<sup>2</sup>), излучение солнца, прошедшее через экраны «квантовые точки» и «органический» увеличивает двигательную активность сперматозоидов морского ежа, причём излучение сверхнизкой интенсивности аппарата МС-5-s-IR наиболее эффективно в сравнении с другими видами излучений. Сперматозоиды, подвергнувшиеся кратковременному (10 с) воздействию этого излучения являются наиболее жизнеспособными: у них наибольший пробег и наибольшие скорости движения.

Низкоинтенсивное излучение гелий-неонового лазера (633 нм, 250 мкВт/см<sup>2</sup>) и аппарата МС-5-s-IR (780 нм, 300 мкВт/см<sup>2</sup>) увеличивает по сравнению с контролем процент подвижных сперматозоидов. В отличие от положительного действия излучения низкой и сверхнизкой интенсивности лазерного излучения, светодиодные матрицы отрицательно влияют на сперматозоиды морского ежа.

Излучение светодиодной матрицы (650 нм) низкой (750 мкВт/см<sup>2</sup>) и сверхнизкой интенсивности (250 и ~80 мкВт/см<sup>2</sup>) в сравнении с другими видами излучений приводит к гибели сперматозоидов.

Низкоинтенсивное излучение светодиодной матрицы 650 нм, действующее в процессе оплодотворения яйцеклетки сперматозоидами приводит к аномальному развитию эмбриона.

Выяснение причин разнонаправленного действия различных видов нетеплового электромагнитного излучения видимого и ближнего ИК – диапазонов спектра требует дальнейших исследований данного феномена.

## **Основные выводы:**

1. Изучены межгодовые изменения химических параметров морской воды и концентрации хлорофилла-*a* в Японском море (на основе экспедиционных данных - температура, соленость, гидрохимические параметры и концентрации хлорофилла *a*, и данных, предоставленных Центрами океанографических данных Кореи и Японии. Спутниковая информация о концентрациях хлорофилла- *a* в поверхностном слое вод).

2. Акватория Уссурийского залива имеет низкий статус эвтрофикации (L). вследствие специфичных природных особенностей эвтрофикация обусловлена апвеллингом (природная эвтрофикация) без какого-либо выявленного тренда (LN). Обнаружена область аноксии в придонных водах Морского Заповедника, в районе острова Фуругельма. Причиной аноксии является микробиологическое разложение диатомей в отсутствии света (глубина места - 30 м) и слабой динамики вод.

3. В период дождей поведение щелочности для обоих эстуариев консервативное. В малую воду проявление неконсервативности разное для разных эстуариев. Для эстуария Амура “выпуклый” характер зависимости щелочности от солености обусловлен потоком щелочности из донных отложений. Для эстуария Раздольной неконсервативность кажущаяся и обусловлена она тем, что содержание щелочности речных вод сильно зависит от расхода реки.

4. Авторами проводится тщательная ревизия имеющейся базы данных, которая позволит по новому представить особенности современного осадочного процесса в эстуарии реки Амур как модели приконтинентального осадкообразования и трансформации вещества на границе «река - море».

5. Показано, что в летне-осенний сезон в море Лаптевых распределение параметров карбонатной системы характеризовалось значительной пространственной изменчивостью, как от поверхности ко дну, так и от внутреннего шельфа к внешнему. На профилях распределения карбонатных параметров были выявлены промежуточные экстремумы, обусловленные как взаимодействием водных масс, так и протекающими в водном столбе и на границе раздела вода - донные отложения биохимическими процессами.

6. Приведен расчет полей течений для северо-западной части Тихого океана, включая Японское и Охотское моря (сетка 20x20 км<sup>2</sup>).

7. В течение суток содержание ртути в приводной атмосфере над морем уменьшается с увеличением температуры воздуха и наоборот. На содержание ртути в приводном слое атмосферы над северо-западной частью Тихого океана и его окраинных морей оказывает влияние несколько факторов: циклические физико-химические процессы; поступление ртути

через толщу воды в составе пузырьков газа и/или в результате диффузии и турбулентного перемешивания от различных геологических объектов на дне; дальний атмосферный перенос ртути от природных источников, в частности от действующих вулканов п-ова Камчатка; дальний атмосферный перенос ртути от антропогенно-загрязненных районов, по большей части, из восточного Китая.

8. Суммарные концентрации для 13 соединений ПАУ изменялись для открытых районов северо-западной части Японского моря в диапазоне 4,0-10,2 нг/л, для залива Находка – 41,6-79,4 нг/л, в реке Амур – 63-180 нг/л и в Амурском лимане – 34-70 нг/л. На территории Приморского края и прилегающей акватории Японского моря активное выделение углеводородов происходит в районах месторождения углей и минеральных вод, а интенсивность выделения углеводородов изменяется в зависимости от сейсмической обстановки рассматриваемых районов.

9. Разработан и апробирован в полевых условиях новый метод исследования, сочетающий непрерывный оптический контроль над состоянием морских ежей с одновременной регистрацией гидрологических и гидрохимических параметров среды. Впервые проведены исследования с высоким (до трех дней) временным разрешением сроков нереста с одновременным контролем гидрологических и гидрохимических параметров среды непосредственно в пределах изучаемых поселений.

10. Показано, что 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. Рекомендовано в бухтах зал. Посьета Новгородская, Экспедиции и Рейд Паллада сохранить статус ООПТ – памятники природы, который ОАО «Порт Посьет» 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.

11. Результаты показали, что тяжелые металлы, особенно Cu и Pb, 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. Аккумуляция

ксенобиотиков в тканях мидий из б. Горностай, привела к стимуляции деструктивных процессов, превышающих адаптационно-детоксикационные возможности биохимических систем. Показатели окислительного стресса могут служить чувствительными индикаторами физиологического состояния организма, отражающими условия его обитания.

12. Сопоставление большого количества фотографий полученных за ряд лет позволило выявить неизменность некоторых индикаторных признаков с возрастом. Наследуемость и возрастная стабильность таких морфологических признаков как форма, выраженность горба и хвостовых бугров позволяют использовать их для индивидуальной идентификации. Мониторинг состояния нагульной группировки серых китов в районе зал. Пильтун указывает на её демографическую стабильность.

13. Полученные результаты свидетельствуют о том, что экстракт из ламинарии проявляет выраженный защитный эффект в условиях воздействия гепатотоксического агента СС14. Терапевтическая эффективность исследуемого препарата оказалась более выраженной, чем у эталонного гепатопротектора «Легалон»®.

14. Полученные 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 о гормональной модуляции синтеза цитокинов могут быть использованы при разработке технологий аквакультуры голотурий.

15. Продолжены исследования механизма действия низкоинтенсивных излучений на биологические объекты в условиях, приближенных к естественным. Низкоинтенсивное излучение гелий-неонового лазера (633 нм, 250 мкВт/см<sup>2</sup>) и аппарата МС-5-s-IR (780 нм, 300 мкВт/см<sup>2</sup>) увеличивает по сравнению с контролем процент подвижных сперматозоидов, тогда как светодиодные матрицы отрицательно влияют на сперматозоиды морского ежа. Низкоинтенсивное излучение светодиодной матрицы 650 нм, действующее в процессе оплодотворения яйцеклетки сперматозоидами, приводит к аномальному развитию эмбриона.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ:

Взаимосвязь гидрохимических и биологических процессов в морских экосистемах в условиях современной хозяйственной деятельности и изменения климата

1. Бельчева Н.Н., Кудряшова Ю.В., Истомина А.А., Чижова 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 оксигемилюминесценции 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 *Crenomytilus grayanus* 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 иммуноцитов 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 (*Hinnipedia*) 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 Г.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 ( $O_{16}/O_{18}$  и  $C_{12}/C_{13}$ ) 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 иммуотропных 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 Аморском 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.