

На правах рукописи



ПРУШКОВСКАЯ Ирина Александровна

**ИЗМЕНЕНИЕ ПАЛЕОСРЕДЫ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО
ЯПОНСКОГО МОРЯ В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ
(НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ КРЕМНИСТЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ)**

Специальность 1.6.17 – Океанология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Владивосток–2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Тихоокеанском океанологическом институте им. В.И. Ильичёва Дальневосточного отделения Российской академии наук

Научный руководитель:

Цой Ира Борисовна – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геологических формаций ФГБУН ТОИ ДВО РАН

Официальные оппоненты:

Разжигаева Надежда Глебовна – доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории палеогеографии геоморфологии ФГБУН ТИГ ДВО РАН

Черепанова Марина Валерьевна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории палеоботаники ФГБУН ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН

Ведущая организация:

ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

Защита состоится «25» февраля 2022 г. в 13:00 на заседании диссертационного совета 24.1.214.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Тихоокеанском океанологическом институте им. В. И. Ильичёва Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН) по адресу: ул. Балтийская, д. 43, г. Владивосток, 690041.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТОИ ДВО РАН и на сайте института: <https://www.poi.dvo.ru/ru/node/1641>

Автореферат разослан «20» января 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

кандидат географических наук



Храпченков Фёдор Фомич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. В настоящее время актуальным является исследование быстрых глобальных климатических изменений последних десятилетий и связанные с ними аномалии температуры (https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf; Доклад ..., 2017, 2021). Для четкого понимания естественных циклов и вариаций климата необходимы детальные исследования изменений среды на шкалах высокого разрешения (тысячелетних и столетних) в позднем плейстоцене-голоцене. Подобные исследования актуальны для оценки скорости и амплитуды этих изменений, а также выявления признаков катастрофических событий прошлого (палеотайфуны и палеонаводнения, цунами, грязевулканические выбросы). Появившиеся новые методы высокого разрешения датирования осадков позволяют проводить детальные микропалеонтологические исследования и сопоставлять полученные результаты с имеющимися историческими и инструментальными данными.

Одним из наиболее острых вопросов является связь экстремальных погодных явлений в различных регионах с глобальным изменением климата (Доклад ..., 2017, 2021). Побережье залива Петра Великого находится в зоне влияния таких природных явлений, как тропические циклоны (тайфуны), наводнения, ливневые дожди (Гидрометеорология ..., 2003) и даже смерчи (Стихийные ..., 2007). Эти явления часто приводят к катастрофическим последствиям на побережьях, абразии берегов, резкому увеличению твердого стока в морские бассейны (Гидрометеорология ..., 2003), что влияет на осадконакопление.

Цель работы – восстановить условия палеосреды залива Петра Великого (Японское море) в позднем голоцене на основе изучения кремнистых микроводорослей.

Для достижения цели были определены следующие задачи:

- изучить качественный и количественный состав диатомовых водорослей и силикофлагеллат в поверхностных осадках залива Петра Великого и выявить особенности их комплексов;
- провести детальное исследование качественного и количественного состава диатомей и силикофлагеллат в донных осадках Амурского залива и выявить особенности их комплексов во времени;
- на основе изменения видового состава, экологической структуры диатомовых комплексов и количественного содержания проследить изменения палеосреды в позднеголоценовых отложениях.

Научная новизна

В поверхностных осадках залива Петра Великого и прилегающей части глубоководной Японской котловины выделены характерные комплексы кремнистых микроводорослей, отражающие условия их формирования различных морфоструктур от устья реки до глубоководной котловины.

На основе комплексов микроводорослей с использованием кластерного анализа (PAST) восстановлены условия формирования осадков в Амурском заливе за последние 5000 лет на возрастной модели высокого разрешения.

Установлено, что в литологически однородных осадках с относительно высокими скоростями осадконакопления и отсутствием биотурбации резкие кратковременные сокращения концентрации диатомей связаны с тайфунами, наводнениями и другими экстремальными природными явлениями.

Теоретическое и практическое значение работы. Выявленные диатомовые комплексы поверхностных осадков, являющиеся индикаторами современных условий осадконакопления, могут быть использованы для реконструкции палеообстановок.

Полученные данные могут служить основой для дальнейшего изучения палеоклиматических и палеоокеанологических изменений природной среды других районов Японского моря и смежных морей. Полученные данные реконструкции

палеосреды в различные климатические стадии позднего голоцена могут быть использованы для прогностических моделей возможных климатических изменений в будущем.

Весь изученный микропалеонтологический материал представлен в электронных таблицах и является основой для базы данных. Данные по таксономическому составу и обилию диатомей и силикофлагеллат по колонкам A12-4 и A12-5 представлены в базе данных во Всемирном центре обработки данных PANGAEA в открытом доступе (Tsoy, Prushkovskaya, 2019a, b). Создана коллекция постоянных препаратов диатомовых водорослей и силикофлагеллат донных осадков северо-западной части Японского моря, которая может быть использована для образовательных и научных целей.

Защищаемые положения:

Комплексы кремнистых микроводорослей поверхностных осадков различных морфоструктур (внутренний шельф, внешний шельф, материковый склон, глубоководная котловина) северо-западной части Японского моря различаются по таксономическому составу, видовому богатству, экологической структуре, концентрации кремнистых микроводорослей и отражают современную гидрологию водных масс в районе этих структур.

Комплексы кремнистых микроводорослей в осадках Амурского залива за последние 5000 лет отражают глобальные и региональные изменения климата, последствия которых отразились на жизнедеятельности людей прилегающей суши.

Резкие кратковременные падения концентрации диатомей в литологически однородных осадках с относительно высокими скоростями осадконакопления и отсутствием биотурбации связаны с экстремальными природными явлениями (тайфунами, циклонами, наводнениями, цунами).

Фактический материал и личный вклад автора. Автор участвовал в отборе и обработке проб донных осадков северо-западной части Японского моря, идентификации и фотографировании диатомей и силикофлагеллат, интерпретации полученных данных и анализе опубликованных материалов исследований по диатомовой флоре и силикофлагеллатам исследуемого региона с последующим их сопоставлением. Всего изучено для настоящей работы 315 образцов (630 постоянных препаратов). Результаты, изложенные в диссертации, получены автором лично, либо на равных правах с соавторами.

Достоверность результатов. Для выделения диатомей использовались стандартные методики, принятые в микропалеонтологических лабораториях России и других стран, что позволяет сравнивать полученные результаты. Коллекция постоянных препаратов диатомей донных осадков северо-западной части Японского моря, которая хранится в лаборатории геологических формаций ТОИ ДВО РАН, и микропалеонтологический материал, полностью представленный в электронных таблицах, позволяет проверить результаты исследований на любой стадии. Данные, полученные на основе изучения кремнистых микроводорослей, сопоставимы с данными, полученными по другим группам микроископаемых и геохимическими методами. Таксономический состав и количество диатомовых водорослей колонок A12-4 и A12-5 представлены в открытой базе данных во Всемирном центре обработки данных PANGAEA, который является членом Всемирной информационной системы ICSU.

Апробация работы. Результаты исследований, положенные в основу диссертации, были представлены и обсуждались на многочисленных научных совещаниях: VIII Международной научной конференции студентов, аспирантов, молодых ученых «География, геоэкология, геология: опыт научных исследований в контексте международного сотрудничества и интеграций», Днепропетровск (Украина), 2011 г.; 5, 6, 7, 8-ой конференциях молодых ученых «Океанологические исследования», Владивосток, 2011, 2013, 2016, 2018 гг.; I Дальневосточной междисциплинарной молодежной научной конференции «Современные методы научных исследований», Владивосток, 2011 г.; XII

Международной научной конференции диатомологов «Диатомовые водоросли: морфология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия», Звенигород, 2011 г.; X молодежной конференции-конкурсе «Географические и геоэкологические исследования на Дальнем Востоке», Владивосток, 2011 г.; XI Международном форуме студентов, аспирантов и молодых ученых стран Азиатско-Тихоокеанского региона, Владивосток, 2012 г.; II Российско-Китайском симпозиуме по морским наукам, Владивосток, 2012 г.; X Региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о Земле», Петропавловск-Камчатский, 2012 г.; Второй научной конференции «Океанография залива Петра Великого и прилегающей части Японского моря», Владивосток, 2013 г.; XIII Международной научной конференции альгологов (XIII Диатомовая школа) «Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследований», Борок, 2013 г.; 9-ом Международном научном симпозиуме WESTPAC «A Healthy Ocean for Prosperity in the Western Pacific: scientific challenges and possible solutions», Нячанг (Вьетнам), 2014 г.; XIV Международной научной конференции диатомологов «Диатомовые водоросли: успехи, проблемы и перспективы исследований», Звенигород, 2015 г.; 3-ем Международном симпозиуме Бентологического общества Азии, Владивосток, 2016 г.; III научной конференции молодых учёных «Комплексные исследования Мирового океана», Санкт-Петербург 2018 г.; XVI Международной научной конференции диатомологов «Диатомовые водоросли: морфология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия», Звенигород, 2019; XVII Международной научной конференции «Диатомовые водоросли: морфология, биология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия», Минск (Беларусь), 2021 г.

Публикации. Основные результаты изложены в 32 работах: 1 – в коллективной монографии; 2 – в базах данных; 8 – в статьях в рецензируемых журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (ВАК), Scopus, WoS, RSCI, РИНЦ; 21 – в материалах Всероссийских и Международных конференций и симпозиумов.

Структура и объем работы

Диссертация общим объемом 269 стр. состоит из Введения, 5 глав, Заключение, списка литературы из 323 наименования (140 отечественных и 183 зарубежных изданий) и приложений, включающих каталог образцов поверхностных осадков северо-западной части Японского моря и донных осадков Амурского залива, таксономические ссылки, 17 фототаблиц с характерными видами диатомей и силикофлагеллат и 4 таблиц с полным таксономическим составом кремнистых микроводорослей изученных образцов.

Исследования проводились по программам фундаментальных научных исследований ТОИ ДВО РАН (гостемы № АААА-А17-117030110033-0, № 121021700342-9), интеграционным проектам ДВО и СО РАН (№ 09-П-СО-08-001, 06-П-СО-07-027), частично по грантам РФФИ № 18-77-10017 и № 19-77-10030, были поддержаны грантами ДВО РАН.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность и признательность своему научному руководителю – Ире Борисовне Цой. Автор благодарит А.С. Астахова, К.И. Аксентова, В.Н. Карнауку, О.Ф. Верещагину, за предоставление материалов и обсуждение результатов; В.Н. Карнауха за предоставление батиметрической основы залива Петра Великого и консультации по построению карт; В. Цоя и В.И. Ковтуна за отбор материала; Л.В. Осипову за химико-техническую обработку образцов для диатомового анализа и весь коллектив лаб. геологических формаций ТОИ ДВО РАН за помощь, консультации и всестороннее содействие; А.А. Босина, М.С. Обрезкову, Ю.П. Василенко, Л.Н. Василенко, А.С. Теличко и всем коллегам за поддержку и помощь на всех этапах подготовки работы; своим преподавателям – Г.М. Вовне, Л.Г. Бондаренко, В.С. Пушкарю. Отдельную благодарность автор выражает начальникам морских экспедиций – В.Н. Карнауху и А.Ф. Сергееву за предоставленную возможность отбора материалов и получения опыта работы в морских экспедициях.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертации, определены цели и задачи, отражена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, сформулированы защищаемые положения, выносимые на защиту.

Глава 1. Физико-географическая, геологическая и гидрологическая характеристика северо-западной части Японского моря

На основе опубликованных данных представлен обзор геоморфологического строения, геолого-геофизической характеристики, условий осадконакопления, гидрологического режима и климатических особенностей северо-западной части Японского моря (залив Петра Великого и Амурский залив).

Глава 2. История изучения кремнистых микроводорослей в Японском море

Проведен литературный анализ исследования кремнистых микроводорослей (диатомей и силикофлагеллаты) в поверхностных осадках Японского моря (Skvortzow, 1932; Забелина, 1953; Беляева, 1961; Жузе, 1962; Жузе и др., 1969; Tanimura 1981; Гребенникова, 1982; Гребенникова, Плетнев, 1988; Цой и др. 2009; Цой, 2011 и др.) и донных отложениях Амурского залива (Пушкар, 1979). Изучение диатомовых водорослей проводилось, в основном, в открытых частях Японского моря. Сведения о распространении силикофлагеллат в поверхностных осадках Японского моря ограничены. Изучение кремнистых микроводорослей в поверхностных осадках морей, отражающих прижизненные условия, необходимо для выяснения условий осадконакопления в геологическом прошлом и прогнозирования изменений природных обстановок в будущем.

Глава 3. Материалы и методика

Материалом для изучения послужили пробы поверхностных и донных осадков залива Петра Великого и Амурского залива, полученные в морских экспедициях ТОИ ДВО РАН за период с 2009 по 2014 гг. (Рисунок 1).

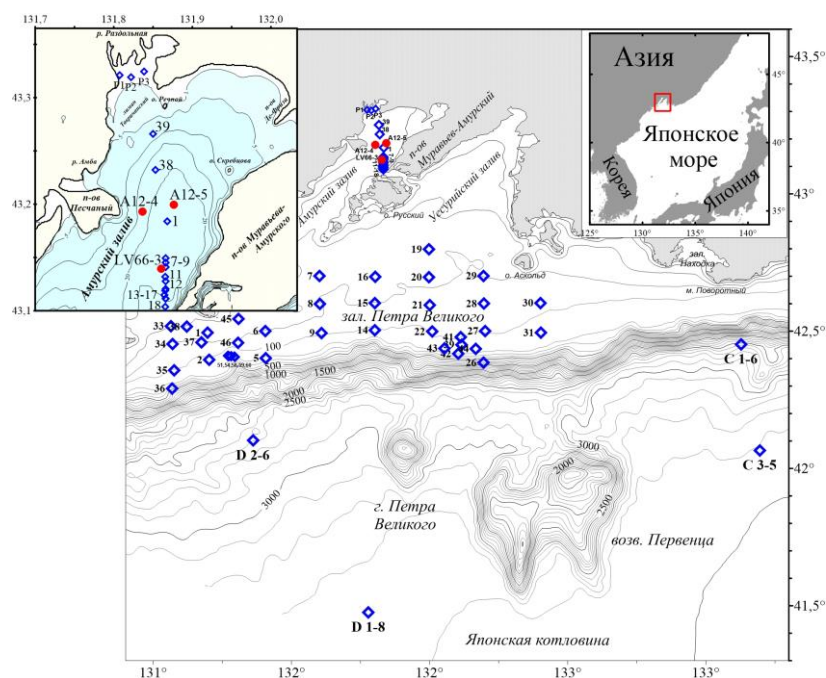


Рисунок 1 – Карта фактического материала (♦ – поверхностные осадки; ● – колонки)

В Амурском заливе отбор проб в приповерхностном грунте выполнен с помощью дночерпателя Van Veen, пробы донных отложений были получены с помощью грунтовой трубки ГОИН ТГ-1,5. Пробы донных осадков в заливе Петра Великого отбирались дночерпателем «Океан» грейферного типа, пробы осадков материкового подножья и

абиссальной равнины Японской глубоководной впадины отбирались мультикорером MUC-800. Образцы в устье р. Раздольной были отобраны прямоточной трубкой со льда.

Всего было изучено 315 образцов (630 препаратов), из которых 59 образцов поверхностных осадков залива Петра Великого и прилегающей части Японской котловины. В кернах осадков из Амурского залива колонок A12-4 (61 см) и A12-5 (78 см) образцы отбирались с частотой 1 см, а в колонке LV66-3 (470 см) – через каждые 3 см.

Выделение кремнистых микроводорослей из донных осадков проводилось по химико-технической методике с использованием тяжелой калиево-кадмиевой жидкости, разработанной в Институте океанологии АН СССР (Жузе, 1962). Для приготовления препаратов использовали синтетическую смолу NORLAND с показателем преломления 1,56. Определение и подсчет диатомей и силикофлагеллат проводился с помощью световых микроскопов IMAGER.A1 и Микмед-6 при увеличении $\times 1000$ и $\times 400$, соответственно. Для микрофотографирования использовались цифровые видеокамеры DCM130 и AxioCam MRc. Для идентификации видового состава кремнистых микроводорослей и уточнения экологии таксонов использовались определители и монографии отечественных и зарубежных авторов, многочисленные статьи, ссылки на которые даны в таксономических ссылках. Для уточнения номенклатуры видов и внутривидовых таксонов, определенных в данной работе, использовалась онлайн база – Algaebase (Guiry, Guiry, 2021).

Методология диатомового анализа, а также подходы к палеореконструкциям приняты по хорошо известным работам А.П. Жузе (1962); В.С. Пушкаря, М.В. Черепановой (2001).

Возраст осадков для колонок A12-4 и A12-5 оценивался на основе скоростей осадконакопления по неравновесному ^{210}Pb , который применим для датировки временного интервала 100–150 лет (Appleby, Oldfield, 1978; Купцов, 1986) и по пикам содержаний ^{137}Cs . Полученные скорости осадконакопления для колонок A12-4, A12-5 составили, соответственно, 4.2, 3.6 мм/год, что соответствует полученной ранее скорости осадконакопления в колонке I08-3, где она составила 4.1 мм/год и была подтверждена распределением ^{137}Cs (Астахов и др., 2015).

Для колонки LV66-3 применялись радиоуглеродные датировки раковин моллюсков методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS) и тефрохронологические данные (Акуличев и др., 2016). Калибровка ^{14}C дат для получения календарного возраста исследуемых проб была выполнена с помощью программы Calib с использованием калибровочной кривой Marine 13 (Астахов и др., 2019). Средняя скорость осадконакопления колонки LV66-3 составила 1 мм/год, а для верхних 10 см колонки LV66-3 скорость составила 1.6 мм/год. Установлено, что осадки накапливались последние 5000 лет.

Многочисленные виды диатомей, идентифицированные в осадках залива Петра Великого, представляют собой большой массив данных. Упрощение, систематизация и анализ сведений были проведены посредством многокомпонентного статистического анализа (STATISTICA и PAST 3.26).

Глава 4. Кремнистые микроводоросли поверхностных осадков залива Петра Великого и прилегающей глубоководной Японской котловины

В настоящей главе представлены результаты изучения кремнистых микроводорослей в поверхностных осадках устья реки Раздольная, Амурского залива, залива Петра Великого, континентального склона и прилегающей части Японской глубоководной котловины.

4.1 Распределение кремнистых микроводорослей в поверхностных осадках залива Петра Великого

В изученных осадках устья р. Раздольной (ст. P1, P2, P3, глубины до 2-х м, соленость 26,3‰) диатомовая флора представлена 137 видовыми и внутривидовыми таксонами, принадлежащих 61 роду. Основной состав диатомовой флоры представлен пресноводными видами, как по видовому богатству (86 видов), так и по численности

(70.33 %). Часто встречающиеся виды среди пресноводных: *Ulnaria ulna* (9 %), *Epithemia adnata* (~ 5 %), *Fragilaria* spp. (~ 4 %); морских – *Odontella turgida* (8 %); солоноватоводных – *Petroneis marina* (3-4 %); вымерший в неогене пресноводный вид – *Aulacoseira praegranulata* var. *praeislandica* (7 %). Содержание диатомей в осадках устья р. Раздольной колебалось от 4.5 до 7.2 млн створок/г осадка (Рисунок 2).

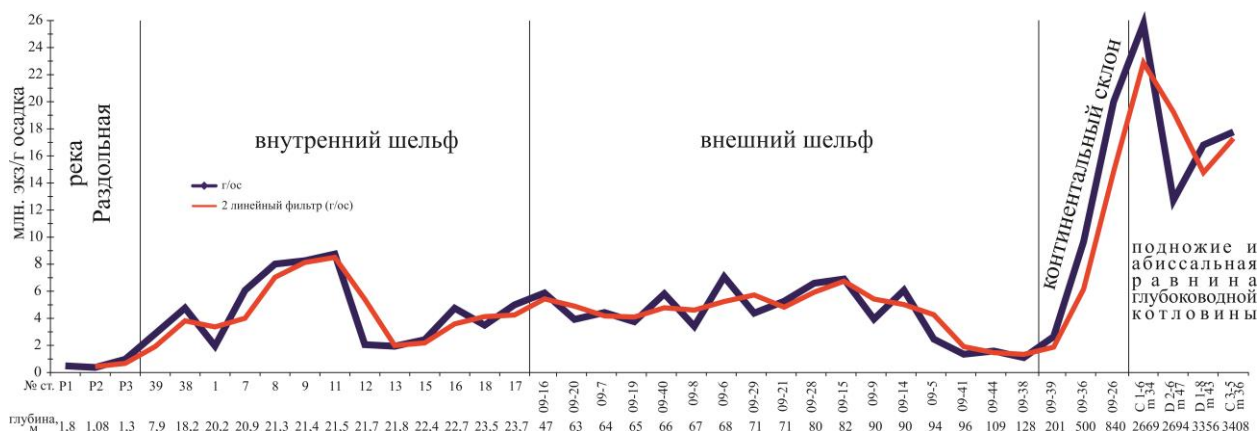


Рисунок 2 – Количество кремнистых микроводорослей (створок/г) в поверхностных осадках устья р. Раздольная, внутреннего и внешнего шельфа залива Петра Великого, верхней части материкового склона и глубоководной котловины в районе залива Петра Великого

Диатомовая флора поверхностных осадков *Амурского залива* (ст. 1, 7-9, 11-18, 38, 39; глубины 8-23 м, соленость до 32.5‰) состоит из 221 вида и внутривидового таксона, принадлежащих 83 родам. По числу видов преобладают морские (160) виды, солоноватоводные (32) по численности субдоминируют (Цой, Моисеенко, 2014). По количеству среди морских и солоноватоводных диатомей большую часть составляют бентосные виды (121 вид), 55 видов – планктонные неритические и 16 видов – океанические (Рисунок 3). По численности видов этих экологических групп в диатомовой флоре доминируют неритические (66.4 %), субдоминируют бентосные (31.2 %), океанические составляют незначительное количество (2.4 %). В осадках большинства станций наблюдается высокая численность спор представителей рода *Chaetoceros* (8-15.9 %) и бентосный эстуарный вид *Diploneis smithii* (7-21 %). В осадках отдельных станций высока численность планктонных неритических видов *Rhizosolenia setigera* (9-13.7 %), *Thalassionema frauenfeldii* (9-11 %), *Th. nitzschii* (12-15 %), доминирующих в современном фитопланктоне, *Cyclotella littoralis* (7.7-10.2 %), *Coscinodiscus radiatus* (8-9 %), *Odontella aurita* (7.1-9.3 %), *Thalassiosira nordenskioeldii* (8.2 %), *Actinopteryx senarius* (7.8-11.7 %). Большинство вышеупомянутых видов являются эвригалинными, обычными в эстуариях рек. Среди пресноводных отмечено 27 видов, но встречены они обычно единичными экземплярами. Заметное количество пресноводных (7.5 %), представленных в основном видами рода *Aulacoseira*, отмечено лишь в осадках около устья реки. Раздольной (ст. 39).

Силикофлагеллаты в Амурском заливе разнообразны и многочисленны (определено 9 видов), характеризуются резким преобладанием тепловодных диктиох (75 %), обычных в тропических и субтропических водах (*Dictyocha calida*, *D. messanensis* f. *spinosa*, *D. fibula*, *Octactis octonaria* и др.). Холодноводные (18.2 %) представлены видами *Distephanopsis octangularis*, *Distephanus boliviensis*, *Octactis speculum*. На станциях с повышенным содержанием метана обнаружены абберантные формы некоторых видов силикофлагеллат. В изученных образцах Амурского залива содержание диатомей и силикофлагеллат колебалось от 1.9 до 8.7 млн створок/г (Рисунок 2).

В изученных образцах *шельфовой равнины залива Петра Великого* (1,2; 5-9; 14-16; 19-22; 27-31; 33-35; 37-39; 41; 44-46; 58; глубины 40-128 м; соленость – 32-34‰) и самой

верхней части *континентального склона* (42, глубина 186 м; 43, глубина 160 м; 59, глубина 200 м; соленость 32-34‰), наблюдается уменьшение видового богатства диатомей (Цой, Моисеенко, 2013). Определено 140 видов, принадлежащих 55 родам. Резко снизилось видовое богатство (48) и количество (4.4 %) бентосных видов, уменьшилось число неритических видов (42), но их процентное содержание (65.9 %) увеличилось (Рисунок 3). Увеличилось также число (23 вида) и количество (29.5 %) океанических видов. Видовое богатство пресноводных видов почти не изменилось (26), но доля их в диатомовой флоре из-за низкой встречаемости невелика (0.2 %). Доминирует неритический вид *Thalassionema nitzschioides* (20.8 %), часто встречаются ледово-неритический вид *Thalassiosira nordenskioeldii* (11.5 %) и споры представителей рода *Chaetoceros* (13 %), океанический холодноводный вид *Actinocyclus curvatulus* (7.9 %).

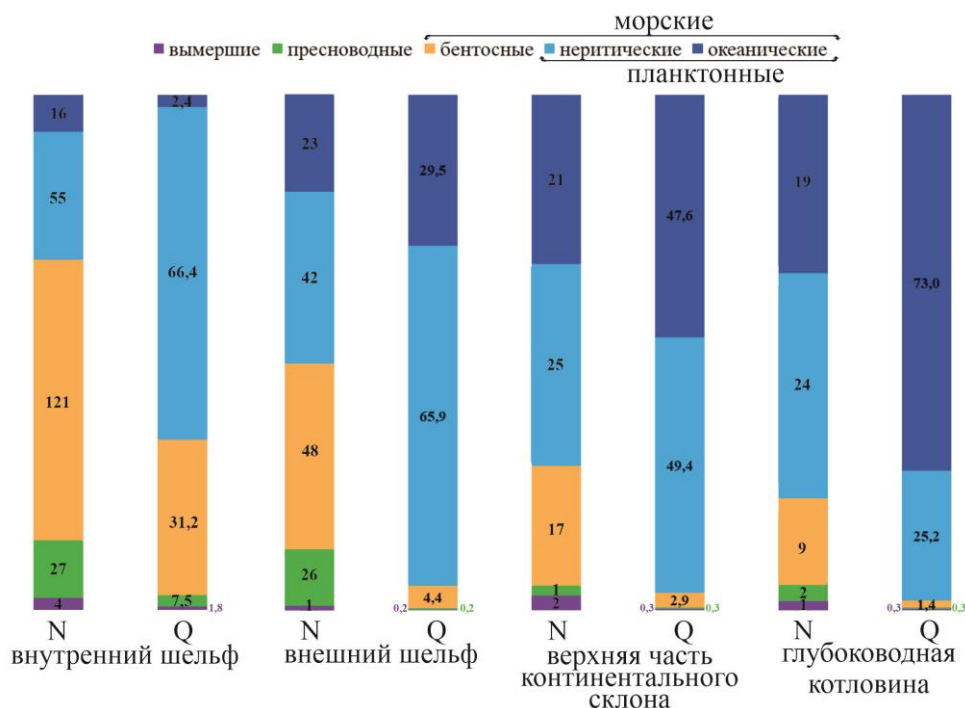


Рисунок 3 – Соотношение экологических групп в поверхностных осадках различных морфоструктур залива Петра Великого: N – по числу видов, Q – с учетом численности видов (%) (Цой, Моисеенко, 2013, с доработками)

Силикофлагеллаты представлены тепловодными (*Dictyocha fibula*, *Octactis octonaria*) и холодноводными (*Distephanus boliviensis*, *D. quinquangellus*, *D. speculum* var. *regularis*, *Octactis speculum*) видами, но встречаются они преимущественно единичными экземплярами, за исключением *Octactis speculum*. Этот холодноводный вид отмечен почти во всех образцах поверхностных осадков внешнего шельфа залива Петра Великого, достигая в некоторых (обр. 37, глубина 72 м) значительного количества (28). Количество диатомей и силикофлагеллат в осадках шельфовой равнины залива Петра Великого колебалось от 1.10 до 7.06 млн створок/г осадка (Рисунок 2).

4.2 Распределение кремнистых микроводорослей в поверхностных осадках континентального склона и прилегающей части глубоководной Японской котловины

Осадки *континентального склона* (26; 36; 51; 54; 60; глубины 350-840 м; соленость 32-34‰) характеризуются значительным сокращением видового разнообразия диатомовой флоры (определено 66 видов, принадлежащих 32 родам). Диатомеи представлены планктонными неритическими (25), и океаническими (21) видами, а также бентосными (17) видами (Рисунок 3). Отмечены переотложенные вымершие неогеновые виды (2) и 1 пресноводный. По численности группы неритических (47.6 %) и океанических (49.4 %) видов составляют приблизительно равное количество (Рисунок 3), что характерно для

осадков верхней части континентального склона (Жузе, 1962; Цой и др., 2009). В диатомовой флоре усиливается роль океанических видов *Actinocyclus curvatulus* (11.8 %), *Coscinodiscus asteromphalus* (11.5 %), *Neodenticula seminae* (4.9 %). Резко снизилась роль вида *Thalassionema nitzschioides* (7.1 %).

Силикофлагеллаты представлены как тепловодными (*Dictyocha epiodon*, *D. fibula*, *Octactis octonaria*), так и холодноводными (*Distephanopsis octangulatus*, *Distephanus boliviensis*, *Octactis speculum*) видами, но постоянно встречен лишь вид *Octactis speculum*. Количество кремнистых микроводорослей в верхней части континентального склона резко возрастают с 2.65 до 20 млн створок/г (Рисунок 2).

В осадках континентального подножья и абиссальной равнины (станции D1-8; D2-6; C1-6; C3-5; глубины 2700-3400 м, соленость 34‰), прилегающей к заливу Петра Великого, обнаружено 55 видов диатомей, принадлежащих 28 родам. Большинство из них – морские планктонные неритические (24) и океанические (19) виды, но отмечены также прибрежные бентосные (9), пресноводные (2) виды и 1 вымерший вид, транспортированные в глубоководную часть придонными течениями или гравитационными потоками (Цой, Моисеенко, 2013). Но численно доминируют холодноводные океанические виды (Рисунок 3): *Neodenticula seminae* (22.9 %), *Actinocyclus curvatulus* (13.2 %), *Coscinodiscus asteromphalus* (8.6 %).

Силикофлагеллаты представлены тепловодными (*Dictyocha fibula*, *D. messanensis* f. *messanensis*) и холодноводными (*Distephanopsis octangulatus*, *Distephanus minutus*, *Octactis speculum*) видами, но встречены они спорадически, за исключением последнего вида, который встречается постоянно. Количество кремнистых микроводорослей, представленных преимущественно диатомовыми, в поверхностных осадках глубоководной Японской котловины достигает максимальных значений 25.74 млн створок/г (Рисунок 2).

4.3 Распределение диатомовых комплексов в поверхностных осадках залива Петра Великого и прилегающей глубоководной котловины (на основе кластерного анализа)

Проведенный кластерный анализ распределения диатомовых водорослей в поверхностных осадках залива Петра Великого позволил выделить 6 диатомовых комплексов (Рисунок 4).

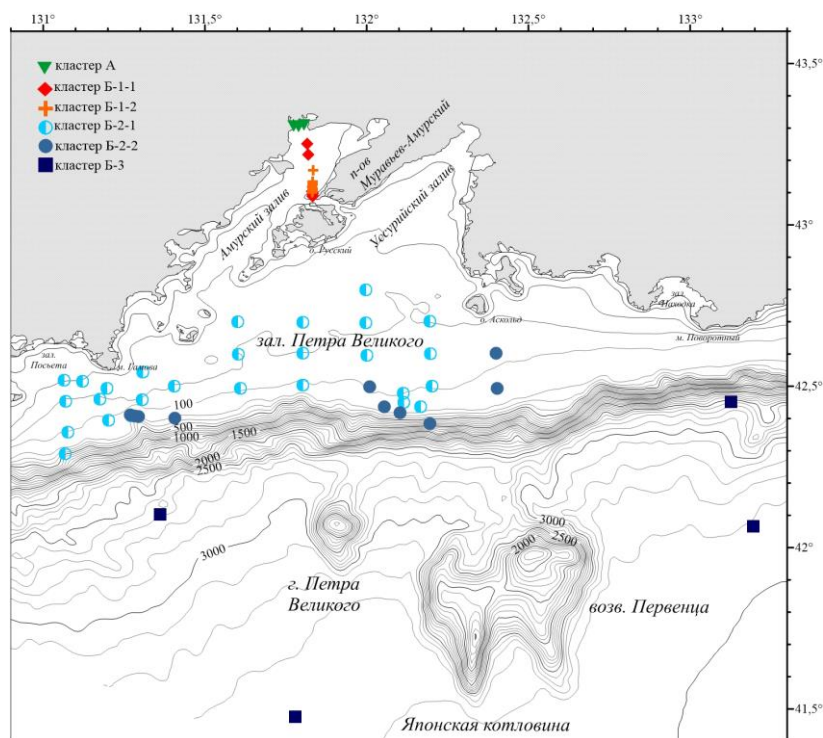


Рисунок 4 – Кластеры, выделенные на основе изучения диатомей в поверхностных осадках залива Петра Великого

Выделенные комплексы характерны для эстуария р. Раздольной (кластер А – **эстуарный комплекс**, *Aulacoseira* – *Odontella*); внутреннего Амурского залива (кластер Б1-1 – **прибрежный комплекс**, *Diploneis smithii*); кластер Б1-2 – **комплекс северной впадины**, *Chaetoceros* spp.); обширного залива Петра Великого (кластер Б2-1 – **комплекс равнинного шельфа**, *Thalassionema nitzschioides*); кластер Б2-2 – **комплекс бровки шельфа – континентального склона**, *Actinocyclus curvatulus*) и **комплекс континентального подножия – глубоководной Японской котловины** – кластер Б-3, *Neodenticula seminae*. Распределение выделенных комплексов зависит от гидрологических особенностей: температуры и солености вод, глубины, влияния речного стока, близости береговой линии, разбавления осадков терригенным материалом. Знание факторов формирования современных комплексов позволит более достоверно интерпретировать условия формирования осадков геологического прошлого, определять близкие природные обстановки и на основе этого проводить палеореконструкции.

Глава 5. Условия формирования позднеголоценовых осадков в Амурском заливе и влияние окружающей среды на диатомовые водоросли

5.1 Таксономический состав и экологическая структура диатомовых комплексов

На основе изменения видового состава диатомей, смене доминирующих видов, экологических групп, численности диатомей на 1 грамм воздушно-сухого осадка в изученных колонках выделены интервалы, характеризующиеся определенными диатомовыми комплексами.

В колонке **A12-4** (длина 61 см, глубина 16 м), отобранной у п-ва Песчаный, установлено 133 вида и внутривидовых таксонов диатомей, принадлежащих 64 родам. Основная часть диатомовой флоры, как по количеству, так и по численности, представлена морскими (85) и солоноватоводными (17) видами, разнообразны пресноводные (33).

Интервал I (1864-1910 гг., 61-41 см) характеризуется высокой концентрацией диатомей (2.03-6.2 млн створок/г). Доминируют пресноводные планктонные виды *Aulacoseira granulata* (7-35 %), *A. praegrnulata* var. *praeislandica* (3-27.5 %), указывающие на значительное влияние речного стока, и солоноватоводные бентосные *Grammatophora oceanica* + *G. oceanica* var. *subtilissima* (3-32 %), *Diploneis smithii* (3-18 %), характерные для эстуариев рек. Количество вида *Petroneis glacialis*, распространенного в обрастаниях и осадках зал. Петра Великого (Рябушко, Бегун, 2016б) и обычного для ледовых сообществ (Poulin, Cardinal, 1982) и осадков морей Арктики (Цой, Обрезкова, 2017), достигает 8 %. Комплекс диатомей этого интервала наиболее близок к пресноводно-солоноватоводному комплексу поверхностных осадков устья р. Раздольной (кластер А), но отличается более мористым характером.

Интервал II (1910-1960 гг.; 41-20 см) характеризуется сокращением количества кремнистых микроводорослей (среднее содержание 3 млн створок/г). Доминируют *Diploneis smithii* (11-47 %), виды рода *Grammatophora* (1.5-31 %), *Trachineis aspera* (2-27 %); споры рода *Chaetoceros* (0.5-26 %), бентосно-планктонный вид *Paralia sulcata* (1-17 %), распространенный в эпифитоне водорослей-макрофитов (Рябушко, Бегун, 2016); *Cyclotella litoralis* (1-8.5 %); *Aulacoseira granulata* (1-20 %). Отмечено появление единичных силикофлагеллат, представленных тепловодными видами *Dictyocha fibula* и *D. messanensis* f. *spinosa*. В поверхностных осадках наиболее близкий комплекс диатомей содержится в образцах кластера Б1-1 (прибрежный).

Интервал III (1960-2012 гг.; 20-0 см) характеризуется резким увеличением количества кремнистых микроводорослей на грамм осадка (до 11 млн створок/г). Доминируют планктонные неритические виды: *Rhizosolenia setigera* (0.5- 24.3 %), *Cyclotella litoralis* (3.6-24 %), *Thalassionema nitzschioides* (0.5-23.3 %), *Th. frauenfeldii* (0.5-20.4 %), споры рода *Chaetoceros* (5.6-21.2 %); *Diploneis smithii* (2-31 %), *Trachineis aspera* (0.4-14.4 %). Такой состав диатомовых комплексов близок комплексам диатомей поверхностных осадков северной впадины Амурского залива (кластер Б1-2).

Силикофлагеллаты представлены тепловодными (*Dictyocha calida*, *D. fibula*, *D. messanensis* f. *spinosa*, *Octactis octonaria*) и холодноводными (*Octactis speculum*, *Stephanocha speculum* var. *minuta*) видами.

В колонке A12-5 (длина 78 см, глубина 20 м), отобранной в центральной части северной впадины Амурского залива, диатомовая флора представлена 124 видами и внутривидовыми таксонами, принадлежащими 68 родам. Морские (75) и солоноватоводные (18) виды преобладают, пресноводные (29 видов) встречаются преимущественно единичными экземплярами.

Интервал I (1820-1910; 77-42 см) характеризуется очень низким содержанием диатомовых водорослей (0.16-0.81 млн створок/г). Доминирующие виды: *Diploneis smithii* (1-30 %), *Grammatophora oceanica* (1-22 %), *Lyrella spectabilis* (1-15.2 %), *Petroneis glacialis* (0.7-15 %), характерный для ледовых сообществ вид (Poulin, Cardinal, 1982); споры рода *Chaetoceros* (1-12 %), *Paralia sulcata* (1-11 %) и представители пресноводного рода *Aulacoseira*: *A. granulata* (1-20 %), а также вымершие *Aulacoseira praegrnulata* var. *praeislandica*, *A. elliptica*, *A. hibschiei*, *A. ovata*, *Miosira jouseana*. Близкий комплекс установлен в интервале I колонки A12-4 и характеризует эстуарный комплекс поверхностных осадков устья р. Раздольной (кластер А) и прибрежный (кластер Б1-1).

В интервале II (1910-1960; 41-22 см) содержание диатомей несколько увеличивается (0.32-0.91 млн створок/г). Доминируют *Diploneis smithii* (1-28.7 %), *D. subcineta* (1-22 %), *Grammatophora oceanica* (1-23 %); споры рода *Chaetoceros* (1-10.1 %); *Aulacoseira granulata* (1-10 %). Спорадически отмечены силикофлагеллаты (e.g. *Dictyocha messanensis* f. *spinosa*). Диатомовые комплексы этого интервала близки по экологической структуре комплексам интервала II колонки A12-4 и прибрежному комплексу диатомей поверхностных осадков (кластер Б1-1).

Интервал III (1960-2012; 22-0 см) характеризуется увеличением содержания диатомей (до 6.3 млн створок/г). Доминируют планктонные неритические виды: *Cyclotella litoralis* (2-26.1 %), споры рода *Chaetoceros* (3.7-25.7 %), *Thalassionema frauenfeldii* (0.7-16.7 %), *Rhizosolenia setigera* (0.7-14.1 %); высоко содержание бентосных *Diploneis smithii* (8.4-29.8 %), *D. subcineta* (0.4-13.2 %), *Grammatophora oceanica* (1.3-11.9 %). Такой состав диатомовых комплексов близок комплексам диатомей поверхностных осадков северной впадины Амурского залива (кластер Б1-2).

Для этого интервала характерно разнообразие силикофлагеллат, которые представлены тепловодными (*Dictyocha calida*, *D. messanensis* f. *spinosa*, *Octactis octonaria*), холодноводными (*Octactis speculum*, *Stephanocha speculum* var. *minuta*) и умеренными (*Dictyocha crux*) видами. Были встречены абберантные формы *Dictyocha messanensis* f. *spinosa*.

Колонка LV66-3 (длина 470 см; глубина 33 м), отобранная на значительно удаленном расстоянии от устья р. Раздольная. Определено 175 видов и внутривидовых таксонов диатомей, принадлежащих 72 родам. Большинство видов морские (86) и солоноватоводные (50), разнообразны пресноводные виды (39).

Интервал I (2900 лет до н.э. – 250 лет н.э.; 470-200 см) – характеризуется высоким количественным содержанием диатомей, которое отличается резкими и значительными колебаниями (0,23-3,2 млн. створок/г). Доминируют солоноватоводные бентосные виды: *Diploneis smithii* и *D. subcineta* (4-41 %), *Grammatophora oceanica* и *G. oceanica* var. *subtilissima* (1-20 %); планктонные неритические: представители рода *Chaetoceros* (1-27 %), *Rhizosolenia setigera* (1-25 %). Диатомовые комплексы данного интервала близки в целом прибрежным комплексам (кластер Б1-1).

Интервал II (250-1950 гг. н. э.; 193-13 см) – характеризуется резким падением концентрации диатомей на грамм осадка, которая остается довольно стабильной (0.2-0.6 млн. створок/г) на протяжении всего интервала. Доминируют бентосные солоноватоводные виды *Diploneis smithii* и *D. subcineta* (1-38.5 %), *Lyrella spectabilis* (0.5-17.5 %), *Grammatophora oceanica* var. *subtilissima* и *Gr. oceanica* (2-16.5 %), *Trachyneis*

aspera (1-16 %). Планктонные неритические виды субдоминируют: *Rhizosolenia setigera* (0.5-19 %), *Thalassionema frauenfeldii* и *Th. nitzschoides* (0.3-19 %). Количество (до 21 %) и разнообразие пресноводных видов значительно увеличивается (36-80 см; 1300-1750 гг. н.э.).

Интервал III (1950-2014 гг. н.э.; 10-0 см) – характеризуется повышением концентрации диатомовых водорослей (до 2 млн. экз./г). Доминантами являются планктонные неритические виды, обитающие в широком диапазоне солености: *Thalassionema nitzschoides* и *Th. frauenfeldii* (5-16.5 %), *Cyclotella litoralis* (3-11.3 %) и представители рода *Chaetoceros* (2.8-11.3 %). Снижается количество бентосных видов *Diploneis smithii* (8-17 %), *D. subcincta* (3-10 %). Отмечен вымерший пресноводный вид *Aulacoseira praegranulata* var. *praeislandica* (3.04 %). Такой состав диатомовой флоры близок флоре интервала III колонок A12-4 и A12-5 и диатомовым комплексам северной впадины поверхностных осадков Амурского залива (кластер B1-2).

5.2 Распределение диатомовых комплексов в колонках донных осадков Амурского залива (на основе кластерного анализа)

В данной главе представлены результаты кластерного анализа распределения диатомей в осадочных колонках (A12-4 и LV66-3), который позволил объективизировать и детализировать данные.

Проведенный кластерный анализ в донных осадках, накапливавшихся последние 150 лет (колонка A12-4, кластеры выделялись по доминирующим видам), позволил выделить 3 кластера, для которых характерен свой диатомовый комплекс: **пресноводно-солонатоводный комплекс** – *Aulacoseira-Grammatophora* (кластер А); **солонатоводный комплекс** – *Diploneis smithii* (кластер Б); **солонатоводно-морской комплекс** – *Diploneis-Chaetoceros* (кластер В). Кластеры выделены по доминирующим видам.

С помощью кластерного анализа в донных осадках, накапливавшихся последние 5000 лет (колонка LV66-3, кластеры выделялись по субдоминирующим видам), выделено 2 основных кластера – **кластер А** и **кластер Б**. Для подгрупп **кластера А** характерно, в основном, преобладание планктонных видов: ***Chaetoceros-Grammatophora*** (кластер А-1), ***Grammatophora-Diploneis*** (кластер А-2), ***Chaetoceros-Cyclotella*** (кластер А-3-1), ***Chaetoceros-Rhizosolenia*** (кластер А-3-2), ***Rhizosolenia-Diploneis*** (кластер А-3-3). В подгруппах **кластера Б** доминируют, как правило, солонатоводные бентосные или пресноводные виды: ***Rhizosolenia-Trachyneis*** (кластер Б-1), ***Trachyneis-Arachnoidiscus*** (кластер Б-2-1), ***Trachyneis-Lyrella*** (кластер Б-2-2), ***Aulacoseira*** (кластер Б-3-1), ***Diploneis-Aulacoseira*** (кластер Б-3-2), ***Diploneis*** (кластер Б-4-1), ***Cyclotella-Thalassionema*** (кластер Б-4-2).

5.3 Изменение условий среды Амурского залива за последние 5000 лет

На основе изменения концентрации диатомей в осадках, видового разнообразия и экологической структуры диатомовых комплексов были выделены этапы изменения среды Амурского залива за последние 5000 лет, отражающие влияние глобальных процессов и окружающей среды (Рисунок 6). Важным фактором при накоплении осадков является восточноазиатский муссон – компонент глобальной климатической системы, который непосредственно влияет на климат Восточной Азии (Wang et al., 2005; Steinke et al., 2011; Ge et al., 2017; Chen et al., 2020). Морские отложения содержат непрерывные и относительно полные записи эволюции палеоклимата и палеоэкологии с высоким разрешением, что позволяет их использовать для выводов об изменении климата (Chen et al., 2020; Zhang et al., 2020; Gorbarenko et al., 2021; Lee et al., 2021).

Колонки A12-4 и A12-5

Этап I (1860-1910 гг.). Осадки этого периода накапливались под существенным влиянием речного стока р. Раздольной, которая в то время была полноводной судоходной рекой, и в меньшей степени р. Амба, устье которой расположено близко к изученным колонкам (Прушковская, 2019). В тоже время формирование осадков происходило во

время завершения малого ледникового периода, когда условия были более холодные, чем современные, а наличие высокой численности пресноводных видов, вероятно, связано с близостью береговой линии (Микишин, Гвоздева, 2014; Разжигаева и др., 2020). Данный период времени характеризуется слабой интенсивностью зимнего восточноазиатского муссона (Zhang et al., 2020).

Несмотря на близкое расположение колонок, они сильно отличаются по количественному содержанию (Рисунок 5). Возможно, это связано с изменением твердого стока р. Раздольная или с тем, что в центральной части залива происходит перемещение наносов на глубины свыше 15-20 м (Короткий, 1994), что приводит к терригенному разбавлению биогенной составляющей.

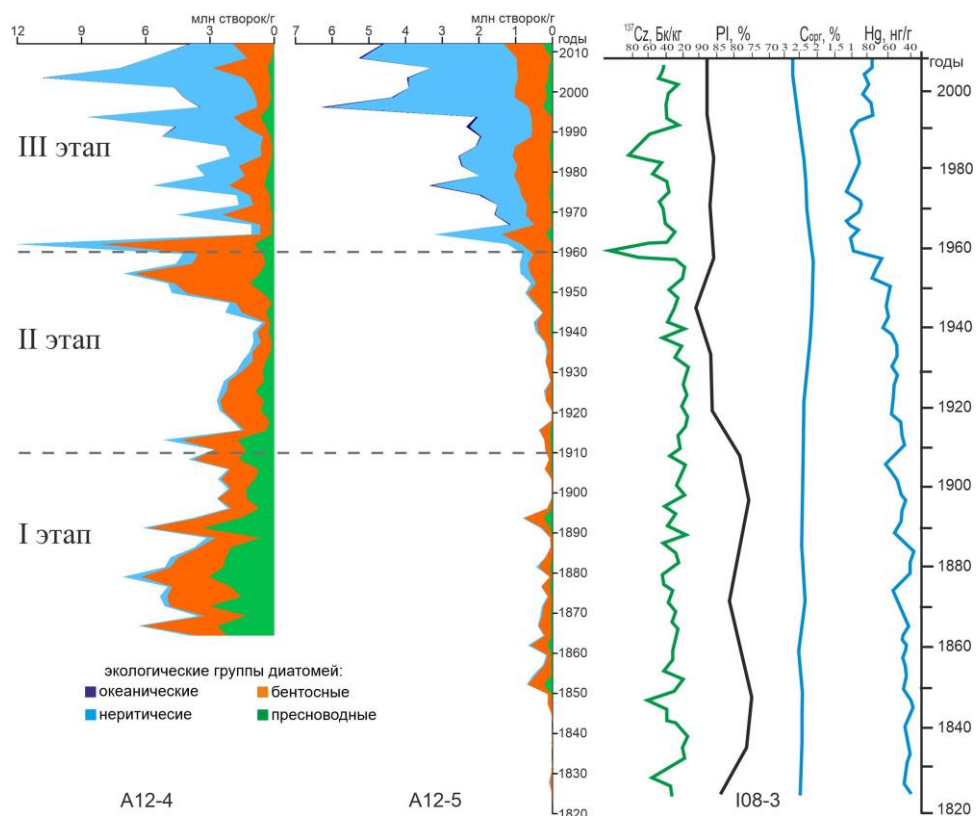


Рисунок 5 – Изменение содержания диатомей в осадках, соотношения диатомовых экологических групп в колонках A12-4 и A12-5 и геохимических показателей в колонке I08-3 (Аксентов, 2013; Tsoy, Prushkovskaya et al., 2015)

Этап II (1910-1960 гг.). В этот период в крае идет интенсивная вырубка лесов и распашка земель, что приводило к увеличению выноса реками взвеси в морскую акваторию и накоплением его в морских осадках (Наумов, 2006). С увеличением темпов переселения в это же время, получает развитие земледелие, где уже тогда использовались органические удобрения. Активно развивается возделывание риса, сопровождавшееся применением пестицидов, которые также с речным стоком попадали в залив. В результате чего происходило увеличение выноса пелитового материала с суши (Рисунок 5), питательных веществ, которые накапливались в осадках и создавали благоприятные условия для роста и жизнедеятельности морских, преимущественно бентосных диатомей, в результате чего их численность становится выше пресноводных. В этот период наблюдается постепенное увеличение концентрации ртути, что соответствует периоду интенсивного развития Южного Приморья (Рисунок 5) (Аксентов, 2013). В это время происходит интенсивное влияние зимних восточноазиатских муссонов (Zhang et al., 2020).

Этап III (1960-2010 гг.). С 1960 г. в регионе началось активное развитие промышленности и интенсивная химизация сельского хозяйства, что отразилось в

экологической структуре диатомовых комплексов Амурского залива заметными изменениями. Происходят значительные изменения условий осадконакопления, а именно – увеличение продуктивности и потепление поверхностных вод. На повышение продуктивности вод указывает увеличение содержания Сорг. в осадках (Рисунок 5).

С этого времени наблюдается понижение кислорода в придонных водах и образование сезонной гипоксии в придонном слое воды Амурского залива, которое связывается с высокой продуктивностью поверхностных вод в результате цветения диатомовых водорослей (Тищенко, 2011). Общая тенденция изменения батиметрического диатомового индекса (Bd), отражающего изменение уровня моря (Пушкар, Черепанова, 2001), показывает на увеличение глубины бассейна осадконакопления и соответствует тренду изменений температуры воды и воздуха, зафиксированные Гидрометеорологической станцией Владивостока в этом районе (Гайко, 2005). О потеплении с начала 60-х годов подтверждает появление и высокая численность силикофлагеллат в осадках этого времени, которые представлены преимущественно тепловодными диктиохами (*Dictyocha messanensis* f. *spinosa*, *D. cf. calida*, *D. fibula*, *Octactis speculum*, *O. octonaria*). Изменения, зафиксированные в осадках с 1960-х годов, отражают глобальное потепление, которое заметно усилилось в этот период и сопровождалось повышением уровня Японского моря (Ростов и др., 2016; Tsoy et al., 2015).

Таким образом, изменения экологической структуры диатомовых комплексов в Амурском заливе за последние 150 лет связаны со значительным влиянием речного стока и влияния условий малого ледникового периода; активным развитием земледелия, вырубки лесов, хозяйственной деятельности и постепенном потеплении; повышением уровня моря в результате глобального потепления с 60-х годов прошлого века; влиянием интенсивности восточноазиатских муссонов.

Колонка LV66-3

Этап I (2900 г. до н.э. – 250 г. н.э.). Этот этап включает период позднего суббореала, раннего и среднего субатлантика и подразделяется на меньшие интервалы, характеризующиеся похолоданиями и потеплениями, отразившиеся в таксономическом составе и количестве диатомей. Короткоамплитудные разнонаправленные флуктуации климата в этот период подтверждаются данными спорово-пыльцевого анализа по разрезам на островах залива Петра Великого (Лящевская, 2016).

На фоне изменения климата в период суббореал-субатлантика происходили значительные изменения культурной адаптации населения Приморья, когда исчезали одни культурные традиции и появлялись новые (Вострецов, 2010, 2018). Две культурные адаптации населения Приморья суббореала: приморская – бойсманская и раннеземельская – зайсановская. На рубеже позднего суббореала-раннего субатлантика сосуществовали две другие культурные группы населения: в континентальной части – кроуновские поселения, в прибрежных районах обитало население янковской культуры (Вострецов, 2010, 2018).

Периоды похолодания (2900-2800 гг. до н.э.; 2500-2400 гг. до н.э.; ~ 1700-1600 гг. до н.э.; ~ 1400-900 гг. до н.э.) в осадках Амурского залива характеризуются очень низким количеством диатомей, представленным в основном бентосными, незначительным количеством планктонных неритических и единичными пресноводными видами (Рисунок 6). Похолодание климата сопровождалось понижением уровня Японского моря (Короткий, 1994; Микишин и др., 2008; Борисова, 2014; Park et al., 2019). Климат в период ~ 2900-2800 гг. до н.э. был теплее современного (Микишин, Гвоздева, 2014). Температурный фон похолодания ~ 1700-1600 гг. до н.э. приближается к современным параметрам (Микишин, Гвоздева, 2014; Разжигаета и др., 2016; Базарова и др., 2018; Разжигаета и др., 2019). В период похолодания ~ 1400-900 гг. до н.э. на побережье Приморья климат был с более низким температурным фоном относительно современного, особенно при максимуме похолодания; сопровождался снижением увлажненности; происходит понижение уровня моря (Микишин и др., 2008). Похолодание имело

глобальный характер и хорошо проявилось на территории Дальневосточного региона (Микишин, Гвоздева, 2014; Разжигаева и др., 2016; Лящевская и др., 2017; Базарова и др., 2018; Разжигаева и др., 2019; Razjigaeva et al., 2020). Резкие и значительные колебания содержания кремнистых микроводорослей, с одной стороны, можно объяснить резким иссушением климата во время похолоданий (Park et al., 2019) (Рисунок 6). С другой стороны, происходило влияние восточноазиатских муссонов (Ge et al., 2017; Yamada et al., 2019).

Во время холодных периодов суббореала климатические изменения были более сильными и катастрофичными, но протекали медленно (Вострецов, 2010). В раннесубатлантическое время изменения были не такими значительными, но происходили очень быстро, что заставляло население искать адаптивные решения, оставляя меньше времени для поиска и выбора (Вострецов, 2010, 2018). Похолодание приводило к упадку морских систем жизнеобеспечения, уменьшению населения прибрежных районов и дальнейшему их расселению в благоприятные районы вдоль побережья Приморья (Вострецов, 2018). В тоже время на фоне негативных для земледельцев факторов среды и сложностью адаптации в этих условиях в пределах континентальных районов в поисках более надежных агроклиматических условий происходила миграция земледельцев на побережье залива Петра Великого (Вострецов, 2018).

Периоды потепления (2800-2500 гг. до н.э.; ~ 2400-1700 гг. до н.э.; ~ 1600-1400 гг. до н.э.; ~ 900 гг. до н.э. по 250 гг. н.э.) в осадках Амурского залива характеризуются повышением количества планктонных неритических видов, которое иногда становится равным количеству бентосных видов, и появлением океанических видов. Отмеченные в осадках пресноводные виды, вероятно, связаны с влиянием тайфунов, интенсивность которых обычно усиливается в теплые периоды (Liu et al., 2001). Во время потепления ~ 2800 гг. до н.э. климатические условия приближались к современным, но были несколько теплее со среднегодовой температурой до +6°C и количеством осадков до 1000-1200 мм (Микишин и др., 2008; Микишин, Гвоздева, 2014). Благоприятные климатические условия (~ 2400-1700 гг. до н.э.) сопровождалось повышением уровня моря (Короткий, 1994; Лящевская, 2016); были намного теплее современных и приближены к наиболее теплым отрезкам среднего-позднего атлантика (Микишин и др., 2008; Микишин, Гвоздева, 2014). Это потепление имело глобальный характер (Короткий и др., 2004; Микишин, Гвоздева, 2014;), которое отразилось и в других районах страны (Борисова, 2014; Палеогеография..., 2019; Razjigaeva et al., 2020). В потепление ~ 1600-1400 гг. до н.э. климатические условия более теплые, чем современные, но более влажные (Микишин и др., 2008; Микишин, Гвоздева, 2014; Разжигаева и др., 2016). В период потепления ~ 900 гг. до н.э. по 250 гг. н.э. кривая изменения содержания диатомовых водорослей представляет пилообразную форму с резким понижением и повышением количества, что отражает нестабильные условия осадконакопления (Рисунок 6). В период с 800 по 100 гг. до н.э. проходили муссоны с периодичностью 100-200 лет (Рисунок 6), что было результатом влияния солнечной активности (Yamada et al., 2019). Климатические условия по своим характеристикам схожи с современными, но лишь немного были теплее и влажнее, что привело к очередной трансгрессии Японского моря (Короткий, 1994; Микишин и др., 2008; Микишин, Гвоздева, 2014, Разжигаева и др., 2016а, б). В конце раннего субатлантика начавшееся похолодание климата, которое носило глобальный характер, приводит к регрессии Японского моря, когда его уровень относительно современного становится ниже на 0,8-1,2 м (Борисова, 2014; Лящевская, 2016; Разжигаева и др., 2016; Базарова и др., 2018). По данным диатомового анализа это событие происходит в I в. н. э., где содержание диатомей снижается до 0,5 млн. экз./г и на этом уровне остается до 1950-1960-х гг. прошлого столетия, а с этого времени их количество начинает увеличиваться (Tsoy et al., 2015).

Фаза потепления климата характеризуется установлением максимально благоприятных условий для жизни человека как на побережье, так и в континентальных районах, где

происходит увеличение количества и размера поселений, площади жилищ и свидетельств земледелия (Вострецов, 2010, 2018). На смену населению с морской адаптацией в континентальную и прибрежную территорию Приморья стало проникать население, в хозяйстве которого, наряду с собирательством и охотой, всё большую роль играло земледелие. Система жизнеобеспечения янковской культуры базировалась на широкой эксплуатации морских ресурсов, а численность и плотность населения достигала максимума в прибрежной зоне (Вострецов, 2010). В то же время земледелие, охота и собирательство играли определенную роль у населения, обитавшего на небольшом удалении от побережья, или на тех участках побережий, где влияние моря было не таким выраженным (Вострецов, 2010). Стоянка янковской культуры на побережье бухты Муравьиная возникла в климатических условиях теплее современных, а за время существования поселения произошло похолодание, которое сопровождалось падением уровня моря, что ухудшило условия проживания людей (Лящевская и др., 2017).

Смена периодов потепления и похолодания приводила к ландшафтным изменениям, которые разрушали привычную ресурсную базу для приморских охотников и рыболовов, в тоже время прибрежная зона становилась более привлекательной для земледельцев, так как повышенная влажность на побережье сглаживала негативное влияние засухи, но при этом отрицательные для человека природные изменения в береговой зоне происходили раньше и были более ощутимее, чем в континентальной, что способствовало вытеснению избыточной части земледельцев из континентальной части в прибрежную (Вострецов, 2010, 2018).

На протяжении среднего и позднего суббореального и раннего субатлантического периодов климат и уровень моря колебались чаще, чем в предшествующий и последующий периоды. После завершения активной фазы потепления установились климат, уровень моря и ландшафт близкие к современным (Вострецов, 2010, 2018).

Этап II (250 – 1860 гг. н.э.) характеризуется низким, но довольно ровным без резких перепадов количественным содержанием диатомовых водорослей (среднее содержание 0,5 млн. створок на грамм), что, вероятно, отражает более стабильные природные обстановки. Преобладают бентосные виды, содержание планктонных неритических резко сокращается, в теплые периоды появляются океанические диатомеи.

В период ~ 250-1200 гг. н.э. накопление осадков происходило в условиях похолодания и иссушения климата не больше первых сотен лет, которые были суше современных, но близки к ним по температуре (Микишин и др., 2008, Микишин, Гвоздева, 2014). Далее климатические условия становятся относительно теплее, повышается влажность (Разжигаета и др., 2020). К VII-VIII и до X-XII вв. климат становится теплее (Микишин и др., 2007). Происходит небольшой подъем уровня моря (до 0.5 м) (Короткий, 1994; Разжигаета и др., 2014).

Наступившее потепление соответствовало малому климатическому оптимуму голоцена (VIII-XIII века) или историческому «потеплению VIII-X века» (Микишин, Гвоздева, 2014; Лящевская, 2016; Базарова и др., 2018), в период которого происходит возникновение и усиление государства Бохай (Пискарева и др., 2019). После возникает чжурчжэньское государство, которое к XIII веку было разгромлено монгольским игом, и территория превратилась в заброшенный край (Плохих, Ковалева, 2002). В целом, малый климатический оптимум на территории Приморья не был ярко проявлен (Лящевская и др., 2017; Разжигаета и др., 2019; Разжигаета и др., 2020), но выделяют его по увеличению количества пыльцы дуба, липы, пихты (Разжигаета и др., 2014; Лящевская и др., 2017; Разжигаета и др., 2019; Разжигаета и др., 2020). Среднегодовая температура повысилась на 1-1,3°C, за счет более теплых зим (Разжигаета и др., 2014). Более ярко потепление проявилось на островах залива Петра Великого, Шкотовском плато и в конце XII века в Китае (Клименко, 2009; Микишин, Гвоздева, 2014; Разжигаета и др., 2016; Лящевская, 2016).

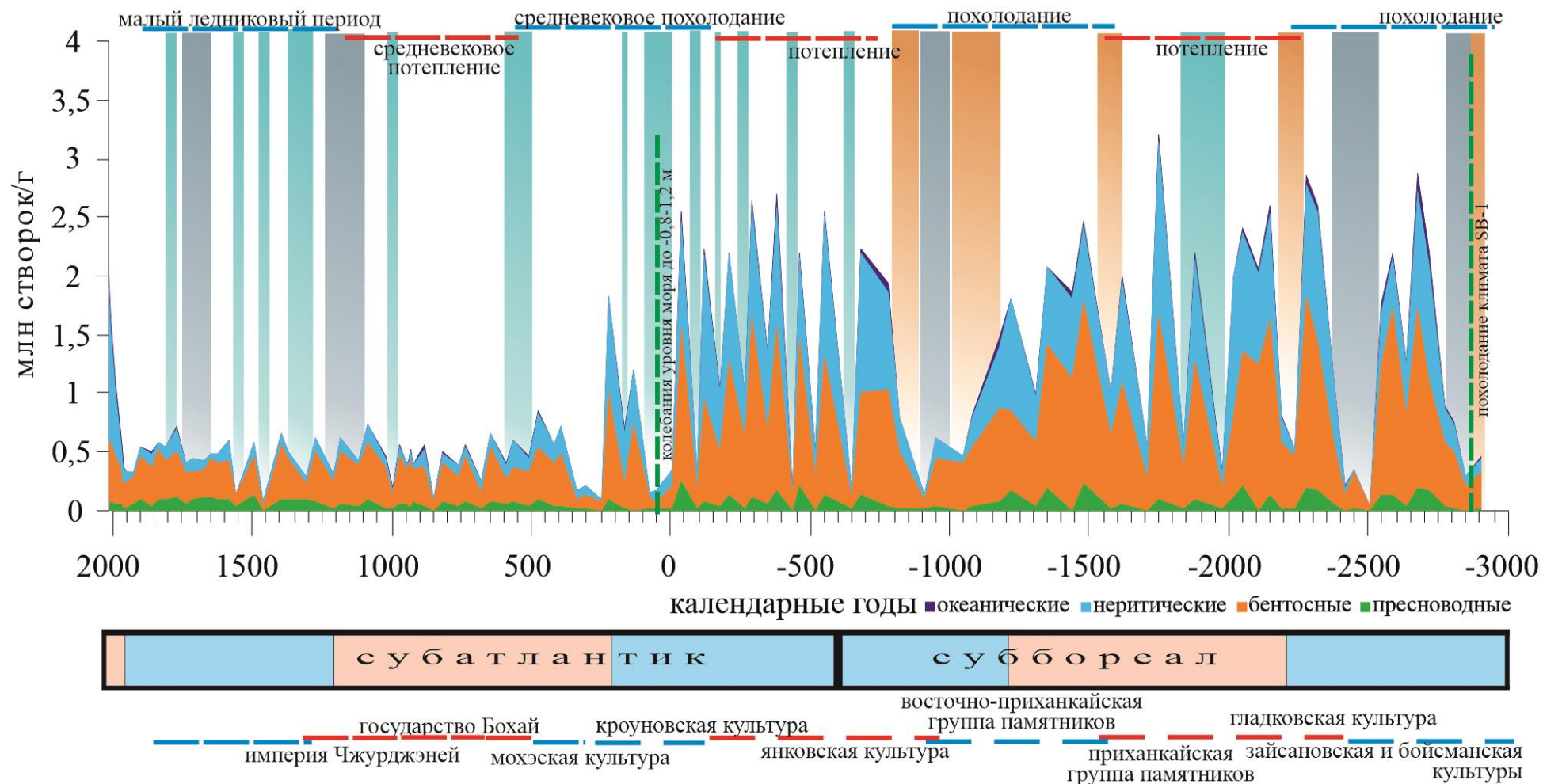


Рисунок 6 – Соотношение содержания диатомовых водорослей с глобальными изменениями, археологическими и историческими данными в колонке LV66-3 (красные горизонтальные пунктирные линии – теплые периоды, синие – холодные; оранжевые вертикальные линии – периоды засухи (Park et al., 2019); серые вертикальные линии – зимние восточноазиатские муссоны (Yamada et al., 2019), голубые – летние (Ge et al., 2017). Культуры и группы памятников по: Вострецов, 2010; 2018; Кузьмин и др., 2005; Пискарева и др., 2019; Плохих, Ковалева, 2002

В осадках Амурского залива в интервале 930-950 гг. н.э. были обнаружены прослой криптотефры извержения вулкана Байтоушань (Чанбайшань, Пектусан) в X в.н.э. (Акуличев и др., 2016). В результате изучения диатомовых водорослей ~1000 гг. н.э. выявлено понижение их количественного содержания (Рисунок 8), что, вероятно, связано с разбавлением микроводорослей с большим количеством выброшенной пирокластики, находки которой отмечены в разрезах торфяников (Ганзей и др., 2015; Разжигаета и др., 2019). Возможно, вулканическая активность могла быть одним из факторов, повлиявшим на упадок экономики государства Бохай и ослабления его военного потенциала, что привело к падению государства (Акуличев и др., 2016).

Осадки позднего субатлантика (~ 1300-1860 гг. н.э.) накапливались под влиянием малого ледникового периода (XIII-XIX вв.). Температура лета и зимы была ниже на 1-2°C (Лящевская, 2017). Климатические условия более холодные, чем современные (Микишин, Гвоздева, 2014). Период похолодания, в котором случаются кратковременные фазы потепления, был отмечен как в прибрежной полосе, так и в континентальной части Приморья (Микишин, Гвоздева, 2014; Лящевская, 2016; Разжигаета и др., 2016; Лящевская и др., 2017; Базарова и др., 2018; Разжигаета и др., 2019; Разжигаета и др., 2020).

Этап III (1860 – 2014 гг.). События III этапа колонки LV66-3 сопоставимы с данными по колонкам A12-4 и A12-5.

Таким образом, диатомовые комплексы, накопившиеся за последние 5000 лет, отражают глобальные изменения климата, а также региональное влияние окружающей среды и воздействие антропогенного фактора на их формирование. Кроме того, на накопление осадков Амурского залива влияли восточноазиатские муссоны, интенсивность которых менялась в зависимости от периода потепления и похолодания (Wang et al., 2005; Steinke et al., 2011; Chen et al., 2020; Zhang et al., 2020; Lee et al., 2021). Интенсивность зимнего восточноазиатского муссона увеличивалась в периоды похолодания, и уменьшалась во время межледниковья, в то время как, интенсивность летнего восточноазиатского муссона увеличивалась в теплые фазы (Ge et al., 2017).

5.4 Влияние катастрофических природных явлений (наводнений) на содержание диатомовых водорослей в позднеголоценовых осадках Амурского залива

В осадках Амурского залива в изученных колонках (A12-4, A12-5, LV66-3) отмечены резкие значительные сокращения содержания диатомей, совпадающие с экстремальными природными явлениями, таких как тайфуны, циклоны и наводнения (Прушковская, 2019; Прушковская, Цой, 2019).

При сопоставлении в изученных колонках минимального содержания диатомей (Tsoy et al., 2015) с минимумами содержания брома для колонок A12-4 и A12-5 (Прушковская, 2019) и максимумами $\Delta Rb/Br$ в колонке LV66-3 для последних 2000 лет (Прушковская, Цой, 2019), связанных с экстремальными наводнениями, вызванных тайфунами или глубокими циклонами (Астахов и др., 2015; 2019) была установлена положительная корреляция. Минимальные содержания диатомей в период с 1850 по 1950 гг. совпадают с крупными наводнениями и циклонами (Рисунок 7). За 100 лет насчитывается 7 событий, с периодичностью от 3 до 20 лет. В то время как за последние 60 лет (1956-2012 гг.) их насчитывается 14, с интервалом от 1 до 10 лет, а в некоторые годы отмечено более одного тайфуна в год.

Для выделения сигналов наводнений в колонке LV66-3 использовалось обратное нормирование содержания брома по рубидию ($\Delta Rb/Br$), в результате чего отрицательные относительно тренда пики брома были преобразованы в положительные пики $\Delta Rb/Br$ (Астахов и др., 2019). В колонке LV66-3 отражены преимущественно наводнения, сформировавшиеся во время наиболее интенсивных тайфунов, поскольку станция удалена от устья р. Раздольная, являющейся основным поставщиком взвешенного вещества с суши в залив. Полученная последовательность сигналов наводнений $\Delta Rb/Br$ для последних 2000 лет коррелируется с минимальными содержаниями диатомей в осадках (Рисунок 8). Стоит

отметить, что большее количество и частота минимальных содержаний диатомей выявлены в теплые фазы субатлантика – малый оптимум голоцена и теплые периоды малого ледникового периода.

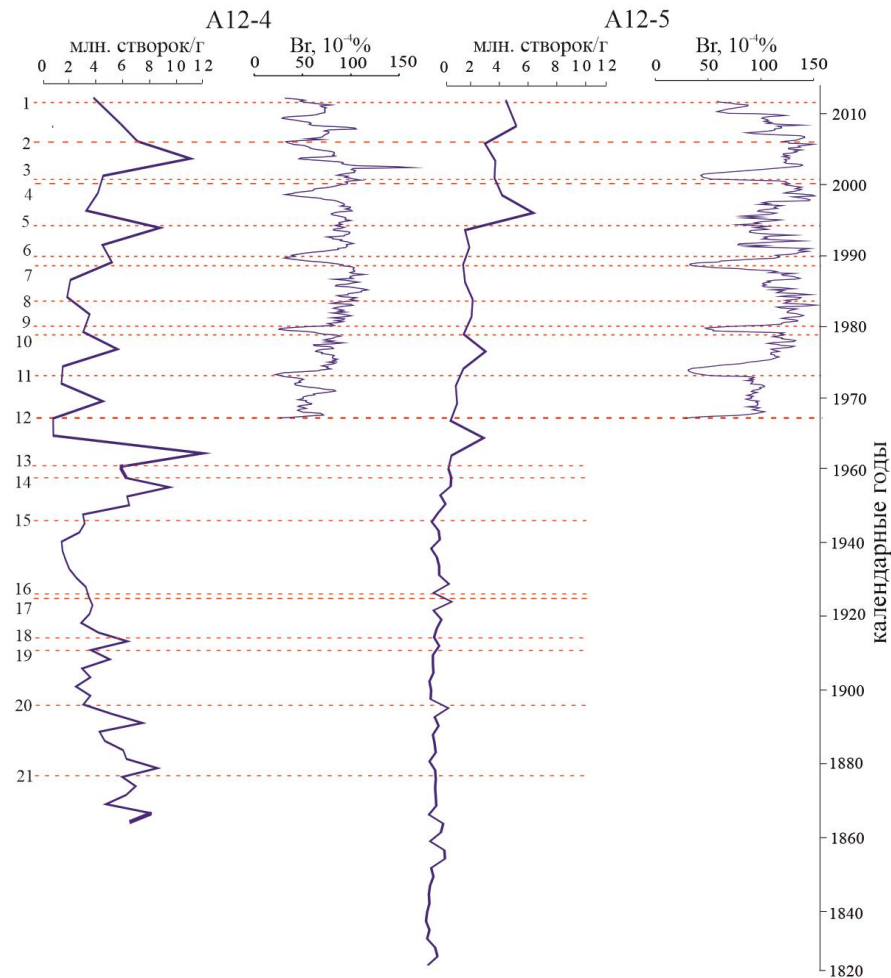


Рисунок 7 – Корреляция изменения содержания диатомей в колонках A12-4 и A12-5 и содержания брома в бокс-корерах A12-4 и A12-5 на временной шкале с экстремальными наводнениями, вызванными тайфунами или глубокими циклонами: 1 – тайфун Талас, 09.2011; 2 – Ивиньяр, Ву-Конг, Сан-Сан, 2006; 3 – циклон 08.2001; 4 – тайфуном Болавен, Прэпирун, Самозэй, южный циклон 08.2000; 5 – тайфун Мелисса, 09.1994; 6 – тайфун Робин, 07.1990; 7 – тайфун Джуди, 07.1989; 8 – тайфун 1983 г.; 9 – тайфун Орчид, 09.1980; 10 – тайфун Ирвинг, 08.1979; 11 – тайфун Гилда, 06.1974; 12 – циклон 09.1968; 13 – тайфун 1961 г.; 14 – тайфун Эмма, 09.1956; 15 – циклон 08.1946; 16 – циклон 1928; 17 – циклон осень 1925; 18 – тайфун 08.1914; 19 – циклон 07.1910; 20 – циклон 08.1896; 21 – наводнение на р. Суйфун (р. Раздольная), 1877 (1, 3, 5-7; 9-11 – Астахов и др., 2015; 2, 4, 12; 14-19 – <https://maglipogoda.ru/istoriya-tayfunov-i-moshhnykh-ciklonov-na/>, http://www.otvprim.ru/society/primorskij-kraj_26.10.2015_29602_stranitsy-istorii-samoe-strashnoe-navodnenie-primorja.html, <http://www.kommunar.info/sobytiya/aktualno/1176-istoriya-gubitelnoj-stikhi>; 8, 11, 13, 14 – Zang et al., 2020).

В осадках Амурского залива большая частота влияния экстремальных наводнений отмечено в интервале ~1400-800 к.л.н., следующие 200 лет – сильных паводков не наблюдается. С 1400-1600 гг. отмечено усиление частоты наводнений, а с 1600 года начинаются более стабильные условия формирования осадков, что подтверждается летописью речных паводков в предгорьях Сихотэ-Алиня (Разжигаета и др., 2019 б) и по другим работам, проведенным по спорово-пыльцевому анализу (Лящевская, 2016; Базарова и др., 2018). Сильные наводнения начались ~200 л.н. в условиях тренда на потепление, что подтверждает полученные данные по колонкам A12-4 и A12-5 и по разрезам высокой поймы р. Раздольная (Разжигаета и др., 2020). Активизация тайфунов на юге Японских островов зафиксирована в период середины XVII до конца XIX века

(Woodruff et al., 2009). По-видимому, тайфуны, бушевавшие на Японских островах в этот период, проходили и по территории Приморского края.

О высокой паводковой активности в климатический оптимум голоцена или средневековую фазу потепления свидетельствуют археологические данные периода государства Бохай – городище Кокшаровка-1 и погребение в окрестностях Краскинского городища, которые в результате природных катастрофических наводнений были подтоплены, размыты и разрушены (Бессонова и др., 2012; Гельман и др., 2016).

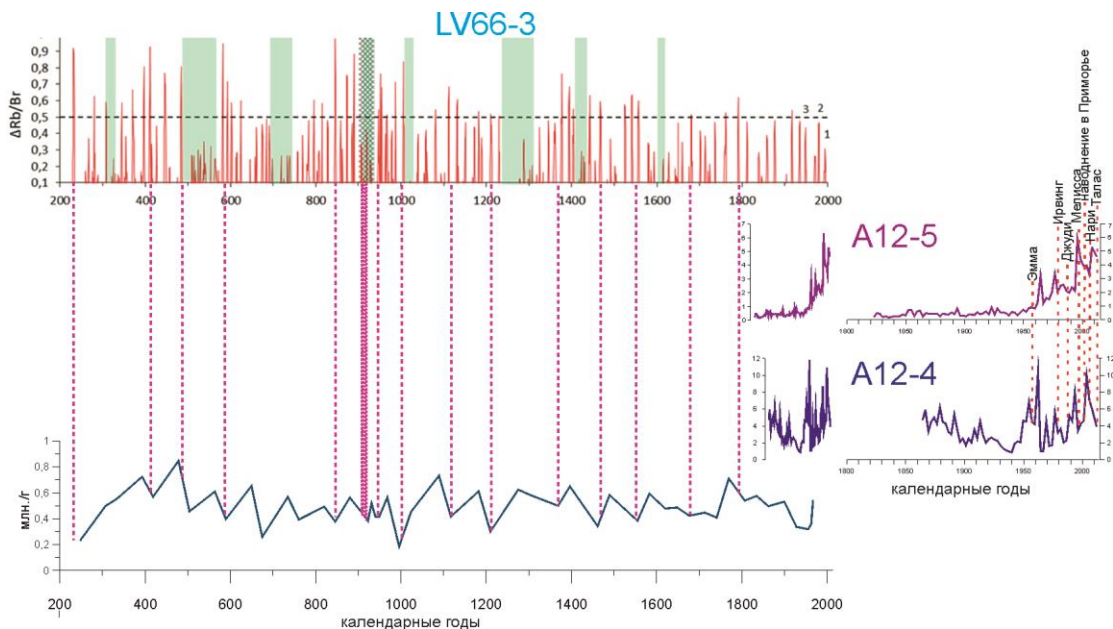


Рисунок 8 – Сопоставление изменения содержания диатомей (створок на грамм) в колонке LV66-3 с последовательностью сигналов наводнений $\Delta Rb/Bg$ для последних 2000 лет

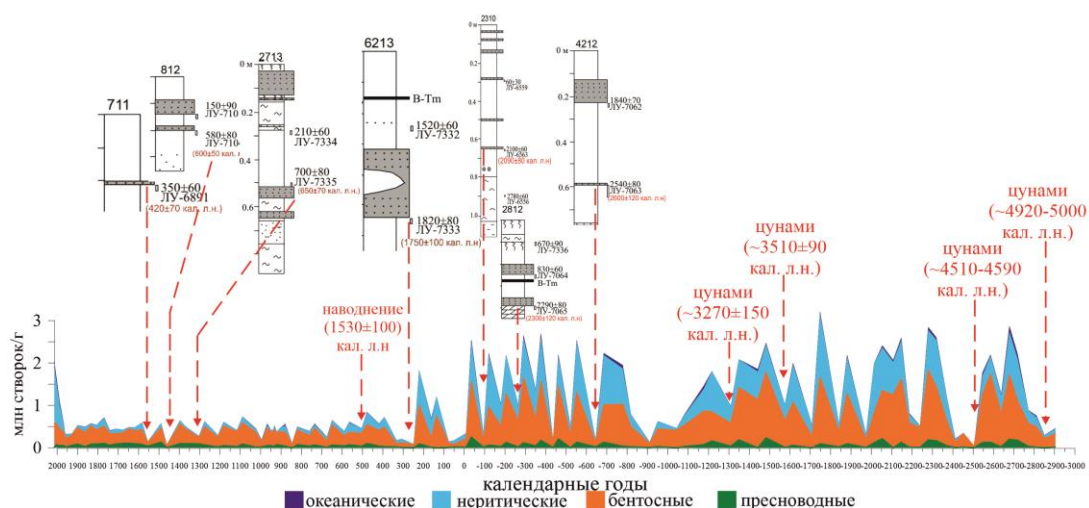


Рисунок 9 – Сопоставление минимального содержания диатомей на грамм осадка и исторических палеоцунами и наводнений на побережье Восточного Приморья (Ганзей и др., 2015) и б. Красная (о. Русский) (Гребенникова, Корнюшенко, 2021)

Еще одно катастрофическое явление, которому подвергается побережье Японского моря – это цунами. У побережья Приморья в XX в. произошло 4 крупных цунами: в 1907, 1940, 1983 и 1993 гг. (Полякова, 2008), которые имели катастрофический характер и отразились в осадках Амурского залива понижением количества диатомей. Идентифицированные палеоцунами и наводнения на побережье Восточного Приморья (Ганзей и др., 2015), в лагунном озере на побережье бухты Красная (о. Русский) и на

побережье бух. Триозерье (Корнюшенко, Гребенникова, 2021), для которых определен возраст событий, высота заплеска волн и дальность затопления побережья, были сопоставлены с содержанием диатомей в осадках Амурского залива за последние 5000 лет (Рисунок 9). Выяснилось, что цунами совпадают с пиками минимумов диатомей в осадках, и, вероятно, исторические и позднеголоценовые палеоцунами были более масштабнее, чем известные цунами XX века (Ганзей и др., 2015).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение кремнистых микроводорослей в поверхностных осадках залива Петра Великого и прилегающей части Японской глубоководной котловины в интервале глубин от 2 до 3400 м с использованием кластерного анализа позволило установить комплексы, отражающие условия накопления осадков различных морфоструктур. Выделены диатомовые комплексы, характерные для эстуария р. Раздольной (эстуарный комплекс), внутреннего Амурского залива (прибрежный комплекс и комплекс северной впадины), обширного залива Петра Великого (комплекс равнинного шельфа), бровки шельфа-континентального склона и континентального подножия – глубоководной Японской котловины. Распределение выделенных комплексов зависит от гидрологических особенностей: температуры и солености вод, глубины, влияния речного стока, близости береговой линии.

При использовании возрастной модели высокого разрешения удалось детально восстановить условия формирования осадков в Амурском заливе за последние 5000 лет и выделить этапы развития природной среды. Этап I (2900 г. до н.э. – 250 г. н.э.) включает период позднего суббореала, раннего и среднего субатлантика и подразделяется на меньшие интервалы, характеризующиеся похолоданиями и потеплениями. В периоды похолодания (2900-2800 гг. до н.э.; 2500-2400 гг. до н.э.; ~ 1700-1600 гг. до н.э.; ~ 1400-900 гг. до н.э.) климат характеризовался более низкими температурами относительно современного и сопровождалось понижением уровня Японского. В периоды потепления (2800-2500 гг. до н.э.; ~ 2400-1700 гг. до н.э.; ~ 1600-1400 гг. до н.э.; ~ 900 гг. до н.э. по 250 гг. н.э.) климатические условия приближались к современным или были несколько теплее. Этап II (250-1860 гг. н.э.) характеризуется относительными стабильными условиями осадконакопления. В этот период происходит потепление, которое соответствовало малому климатическому оптимуму голоцена. Малый климатический оптимум сменяется на малый ледниковый период, в котором климатические условия были более холодные, чем современные. Этап III (1860-2014 гг.) в формирование осадков происходило во время завершения малого ледникового периода и под значительным влиянием речного стока; активным развитием земледелия, вырубки лесов, хозяйственной деятельности и постепенном потеплении; повышением уровня моря в результате глобального потепления с 60-х годов прошлого века; влиянием интенсивности восточноазиатских муссонов.

Выявленная смена периодов потепления и похолодания приводила к ландшафтным изменениям, которые отражались на жизнедеятельности людей, прилегающей территории.

В литологически однородных осадках с относительно высокими скоростями осадконакопления и отсутствием биотурбации резкие кратковременные сокращения концентрации диатомей совпадают с минимумами содержания брома, связанными с экстремальными природными явлениями, вызванными тайфунами, циклонами, наводнениями и цунами, которые своей разрушительной силой выносят огромное количество терригенного материала, разбавляя морские осадки. Влияние усиления интенсивности и частоты экстремальных природных явлений на акваторию Приморья приходится на теплые периоды, а снижение активности наводнений, как правило, происходили в периоды похолодания.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в изданиях из перечня ВАК, в журналах Scopus, WoS, RSCI:

Цой И.Б., Моисеенко И.А. (Прушковская И.А.) Кремнистые микроводоросли в поверхностных осадках залива Петра Великого и прилегающей части Японской котловины // Вестник ДВО РАН. 2013. № 6. С. 180-188.

Цой И.Б., Моисеенко И.А. (Прушковская И.А.) Диатомеи поверхностных осадков Амурского залива Японского моря // Биология моря. 2014. Т. 40. № 1. С. 20-25. (Tsoy I.B., Moiseenko I.A. Diatoms from Surface Sediments of Amurskiy Bay, Sea of Japan // Russian Journal of Marine Biology. 2014. Vol. 40. № 1. P. 10–23. doi: 10.1134/S106307401401009X)

Tsoy I., Prushkovskaya I., Aksentov K., Astakhov A. Environmental Changes in the Amur Bay (Japan/East Sea) during the last 150 Years Revealed by Examination of Diatoms and Silicoflagellates // Ocean Science Journal. 2015. V. 50. № 2. P. 433-444. <http://dx.doi.org/10.1007/s12601-015-0039-8>

Karnaukh V.N., Astakhov A.S., Vereschchagina O.F., Tsoy I.B., Kosmach D.A., Sagalaev S.G., Volkova T.I., Dubina V.A., Prushkovskaya I.A. Formations of subsurface shallow gas accumulations in Amurskiy Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan) as results of postglacial sea-level change, paleoceanographic conditions and hydrological activity // Marine Geology. 2016. V. 372. № 2. P 31-52. DOI: 10.1016/j.margeo.2015.12.004

Прушковская И.А. Изменение палеосреды Амурского залива Японского моря в позднеголоценовых осадках на основе диатомовых комплексов // Процессы в геосредах. Спец. выпуск. №3 (17). 2018. С. 179-180.

Прушковская И.А. Влияние тайфунов на содержание диатомей в осадках Амурского залива (Японское море) за последние 150 лет // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2019. № 2. Вып. 42. С. 111-119. DOI: 10.31431/1816-5524-2019-2-42-1-9.

Публикации в других журналах:

Прушковская И.А., Цой И.Б. Реакция комплексов диатомей на изменение окружающей среды за последние 150 лет в Амурском заливе (Японское море) // Вопросы современной альгологии. 2015. № 3 (10). URL: <http://algology.ru/831>

Прушковская И.А., Цой И.Б. Диатомовые водоросли в осадках Амурского залива (Японское море) и влияние тайфунов на их аккумуляцию за последние 2000 лет // Вопросы современной альгологии. 2019. № 2 (20). С. 252–256. URL: <http://algology.ru/1538>. DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-2\(20\)-252-256](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-2(20)-252-256)

Глава в монографии:

Цой И.Б., Обрезкова М.С., Моисеенко И.А. (Прушковская И.А.), Артемова А.В. Диатомеи в поверхностных осадках дальневосточных морей и северо-запада Тихого океана и диатомовый батиметрический индекс // Океанологические исследования дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана: в 2 кн. / гл. ред. В.А. Акуличев. Кн. 2. – Владивосток: Дальнаука, 2013. С. 99-111.

Публикации в материалах конференции:

Tsoy I.B., Moiseenko I.A. (Prushkovskaya I.A.), Aksentov K.I. Environmental changes in the Amur Bay in the past 150 years (on the basis of diatoms and silicoflagellates) // IOC/WESTPAC 9th International Scientific Symposium “A Healthy Ocean for Prosperity in the Western Pacific: Scientific Challenges and Possible Solutions”, 22-25 April, 2014, Nha Trang, Vietnam. – Joint Stock Printing Company of Science and Technology (Viet Nam Academy of Science and Technology), 2014. P. 147-148.

Прушковская И.А., Цой И.Б. Реакция комплексов диатомей на изменение окружающей среды за последние 150 лет в Амурском заливе (Японское море) // Материалы XIV Международной научной конференции диатомологов "Диатомовые водоросли: успехи, проблемы и перспективы исследований", посвященная 160-летию со дня рождения К.С. Мережковского, Москва, 24 - 29 августа 2015 г. С. 131-134.

Прушковская И.А. Диатомовая флора позднего голоцена Амурского залива Японского моря // Океанологические исследования: материалы VII конференции молодых ученых, 19-20 мая 2016 г., Владивосток, Россия. – Владивосток: Дальнаука, 2016. С. 114-116.

Prushkovskaya I.A. Ecological structure of diatom assemblages from the surface sediments of Amurskiy Bay (Sea of Japan) // 3rd International Symposium of Benthological Society of Asia. Vladivostok, Russian Federation. August 24-27, 2016: Abstract Book. Vladivostok: Dalnauka, 2016. P. 99.

Прушковская И.А. Изменения среды Амурского залива (Японское море) в позднем голоцене на основе диатомовых водорослей // Океанография залива Петра Великого и прилегающей части Японского моря: тезисы докладов Третьей научной конференции, 26-28 апреля 2017 г., Владивосток. – Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2017. – 47с.

Прушковская И.А. Диатомовые данные о позднеголоценовых изменениях палеосреды в Амурском заливе (Японское море) // Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследования: Материалы XV Международной конференции (пос. Борок, Россия, 24-27 августа 2017 г.). – Ярославль: Филигрань, 2017. С. 55-56.

Прушковская И.А. Изменение окружающей среды и условий седиментации в Амурском заливе Японского моря за последние тысячелетия (на основе диатомовых водорослей) // Океанологические исследования: Материалы VIII научной конференции молодых ученых, 6-9 июня 2018 г., Владивосток, Россия. – Владивосток: Дальнаука, 2018, С. 99.

Прушковская И.А., Цой И.Б., Аксентов К.И. Влияние катастрофических природных событий на накопление диатомей в осадках Амурского залива (Японское море) за последние тысячелетия // Геология морей и океанов: Материалы XXIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. I – М.: ИО РАН, 2019 г. – 247 с. DOI:10.29006/978-5-9901449-0-3.ICMG-2019-1.

Prushkovskaya I.A., Tsoy I.B. Impact of catastrophic natural events on accumulation of diatoms in sediments of Amur Bay, Sea of Japan // JpGU – AGU Joint Meeting 2020-05-28. MIS08-10 (<https://confit.atlas.jp/guide/event/jpgu2020/subject/MIS08-10/advanced>).

Прушковская И.А., Цой И.Б. Восстановление палеоусловий окружающей среды Амурского залива (Японское море) за последние тысячелетия // Диатомовые водоросли: морфология, биология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия : материалы XVII Междунар. науч. конф. (Минск, 23-28 авг. 2021 г.) / Национальная академия наук Беларуси [и др.] ; редкол. А.В. Пугачевский [и др.]. – Минск : Колоград, 2021. – С. 169-172.

Прушковская Ирина Александровна

ИЗМЕНЕНИЕ ПАЛЕОСРЕДЫ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ (НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ КРЕМНИСТЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ)

Специальность 1.6.17 – Океанология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Подписано к печати 17 декабря 2021 г.
Печать офсетная. Бумага офсетная. Формат 60х84/16.
Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 150 экз. Заказ 122.

Отпечатано в ТОИ ДВО РАН
690048, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43