

ВЛИЯНИЕ ТАЙФУНОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ДИАТОМЕЙ В ОСАДКАХ АМУРСКОГО ЗАЛИВА (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) ЗА ПОСЛЕДНИЕ 150 ЛЕТ

© 2019 И.А. Прушковская

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, Владивосток, Россия; e-mail: prushkovskaya@poi.dvo.ru*

Представлены результаты изучения диатомей в каждом сантиметре осадков из колонок А12-4 и А12-5, отобранных в северной впадине Амурского залива (Японское море), которые формировались последние 150 лет. Диатомовые водоросли показывают значительные изменения в количественном содержании и экологической структуре комплексов, которые отражают условия накопления осадков. Проведенные исследования показали, что в литологически однородных осадках с относительно высокими скоростями осадконакопления и отсутствием биотурбации резкие кратковременные падения концентрации диатомей совпадают с минимумами содержания брома, связанными с экстремальными наводнениями, вызванными тайфунами. Это может быть использовано при палеореконструкциях. Полученные результаты подтверждают данные об усилении интенсивности и частоты тайфунов за последние 60 лет в районе Амурского залива из-за глобального потепления.

Ключевые слова: диатомеи, тайфуны, донные осадки, Амурский залив, Японское море.

ВВЕДЕНИЕ

Побережье Амурского залива, являющееся самым заселенным районом тихоокеанской России, находится в зоне влияния различных природных явлений, таких как тропические циклоны или 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 и отражается в донных отложениях. При субмиллиметровом исследовании осадков Амурского залива с использованием рентгено-спектрального сканирования были выявлены слои с аномально низким содержанием брома (Астахов и др., 2015; Kalugin et al., 2015). Формирование этих слоев цитируемые авторы связали с выносом осадочного материала р. Раздольной при экстремальных паводках, сопровождаемых штормами на море, которые происходят главным образом при прохождении тайфунов. Осадочный материал не содержит органическое вещество

морского происхождения, чем и объясняются очень низкие содержания брома. Этот индикатор был предложен для выявления палеотайфунов в шельфовых отложениях с однородным литологическим составом (Астахов и др., 2015). Диатомеи, являющиеся основным продуцентом экосистемы Амурского залива (Орлова и др., 2009; Рябушко, Бегун, 2015, 2016; Стоник, Орлова, 1998; Stonik, Orlova, 2002) и многочисленные в его поверхностных осадках (Цой, Моисеенко, 2013, 2014), контролируют непрерывное биогенное осадконакопление в этом районе. Резкие изменения концентрации диатомей в осадках последних 150 лет связаны, вероятно, с экстремальными событиями в этом районе (Tsoy et al., 2015). Цель настоящей статьи — проследить и описать влияние тайфунов на содержание диатомей в осадках Амурского залива за последние 150 лет.

ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И ОКЕАНОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКИ

Амурский залив — внутренний залив обширного залива Петра Великого в Японском море, глубоко вдается в сушу (рис. 1). Его дно представляет

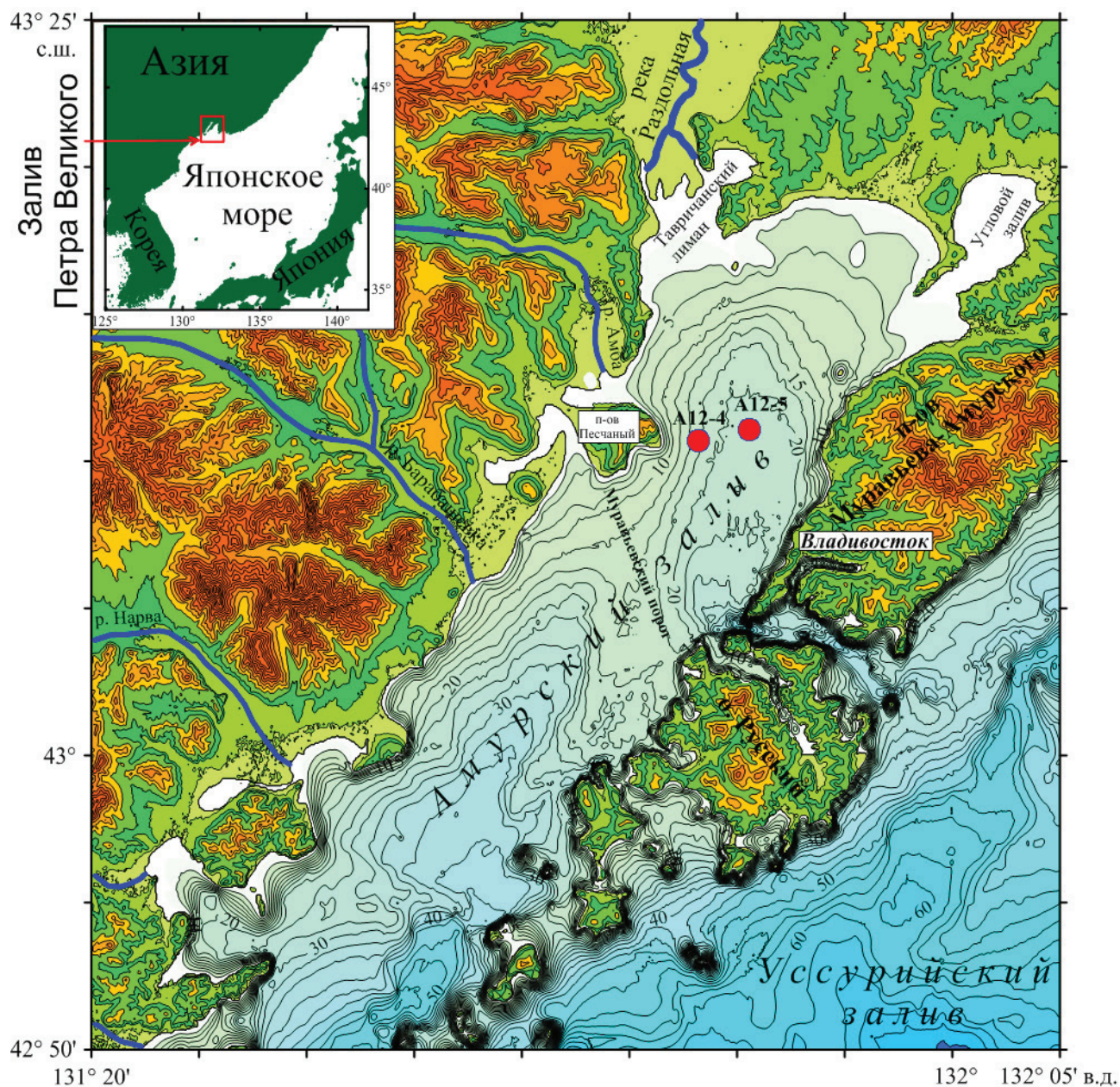


Рис. 1. Карта Амурского залива и местоположение изученных колонок А12-4 и А12-5. Топографическая основа карты построена по данным SRTM (Karnaukh et al., 2016). Изобаты проведены через 2.5 м.

Fig. 1. The map of Amur Bay and the location of the studied cores A12-4 and A12-5. The topography of the map is based on SRTM data (Karnaukh et al., 2016). Isobaths are drawn each 2.5 m.

собой затопленную морем равнину, сохранившую реликты речных долин (Васильев, Марков, 1974; Марков, 1983). В средней части по линии п-ов Песчаный — о-в Русский залив разделен подводным Муравьевским порогом на две впадины, образованные системами древних долин: северная долина рек Раздольной и Амба и южная долина рек Барабашевки и Нарвы. На юге и юго-востоке Амурский залив соединяется с открытыми водами залива Петра Великого на карте проливами, обеспечивающими водообмен залива с морем.

На севере в Амурский залив впадает одна из крупнейших рек Приморского края — р. Раздольная, эстуарий которой занимает северную

часть залива. Река Раздольная довольно сильно опресняет морские воды кутовой части залива (Ростов и др., 2007). Годовой суммарный водный сток реки достигает 2.5 км³, что составляет почти половину всего стока залива Петра Великого (Подорванова и др., 1989). Метеорологический режим в районе Амурского залива определяет устойчивая муссонная циркуляция атмосферы, часто нарушаемая циклонической деятельностью (Ростов и др., 2007). Среднегодовая температура воздуха около 6°С, температура поверхностных вод весной варьирует от 4 до 14°С, летом достигает 24–26°С, осенью понижается до 10°С, зимой вся водная масса охлаждается до 0–1.9°С. Соленость

воды также сильно варьирует в зависимости от сезона: весной минимальные значения (28‰) отмечены в кутовой части залива, летом соленость в заливе составляет около 20‰, а в целом не превышает 32.5‰, зимой соленость воды на всей акватории залива близка к 34‰ (Подорванова и др., 1989). Воды Амурского залива сильно эвтрофированы из-за высокого содержания нитратов и нитритов, привносимых терригенным стоком, а также сточными водами (Stonik, Orlova, 2002).

Поверхностные осадки на большей части залива представлены пелитовыми илами, в прибрежной части — мелкозернистым песком (Дударев и др., 2002). Для Амурского залива характерны высокие скорости осадконакопления (до 7.2 мм/год) (Аксентов, Астахов, 2009), большая мощность голоценовых осадков, залегающих горизонтально и без видимых перерывов и изменений скоростей осадконакопления (Karnaukh et al., 2016) и сезонные аноксидные обстановки (Тищенко и др., 2011), препятствующие развитию бентосной фауны и, следовательно, биотурбации осадков (Астахов и др., 2015).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящей работе были использованы две колонки А12-4 (координаты — 131°48.202' в.д.; 43°10.692' с.ш.; глубина отбора — 16 м; выход керна — 61 см) и А12-5 (координаты — 131°50.592' в.д.; 43°11.065' с.ш.; глубина отбора — 20 м; выход керна — 78 см), отобранные гравитационной трубкой ГОИН ТГ-1.5 в 2012 г. в северной впадине Амурского залива (рис. 1). Донные осадки представлены монотонными в разрезе темно-серыми и черными пелитами или алевроитовыми пелитами.

Для диатомового анализа обработка образцов и приготовление препаратов проводились по стандартной методике (Жузе и др., 1974). Концентрация диатомей в осадках определялась на грамм воздушно-сухого осадка. Для этого навеска 1–2 г воздушно-сухого осадка заливалась дистиллированной водой на треть стакана и кипятилась 10–15 минут. Затем дезинтегрированный осадок разбавлялся водой до 100 мл и, после тщательного перемешивания, 0.25 мл взвеси отбиралось градуированной пипеткой для приготовления препарата. Для качественного анализа оставшаяся взвесь декантацией очищалась от глинистых и песчаных частиц и обогащалась центрифугированием с использованием тяжелой калиево-кадмиевой жидкости с относительной плотностью 2.6 г/мл. Для приготовления препаратов применялась высокопреломляющая синтетическая смола MOUNTNEX с толуолом с показателем преломления 1.67. На всех этапах обработки использовалась только дистилли-

рованная вода. Определение и подсчет видов проводились с помощью световых микроскопов IMAGER.A1 и MIKMED-6 при увеличении ×1300 и ×600 соответственно, фотографирование — цифровой видеокамерой AxioCam MRc.

Возраст осадков оценивался на основе скоростей осадконакопления по неравновесному ^{210}Pb , который применим для датировки временного интервала 100–150 лет и по пикам содержаний ^{137}Cs (Астахов и др., 2015). Полученные скорости осадконакопления колонок А12-4 и А12-5 составили, соответственно, 4.2 мм/год и 3.6 мм/год.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Кремнистые микроводоросли (диатомеи и силикофлагеллаты) изучались в каждом сантиметре осадка. Полные данные о составе и количестве диатомей и силикофлагеллат в колонках А12-4 и А12-5 представлены в базах данных (Tsoy, Prushkovskaya, 2019 a, 2019b). В изученных колонках обнаружена близкая по видовому составу и экологической структуре диатомовая флора (Tsoy et al., 2015).

В колонке А12-4, отобранной у п-ва Песчаный, установлено 135 видов и внутривидовых таксонов диатомей, принадлежащих 65 родам. Большинство видов — морские (85) и солоноватоводные (17), разнообразны пресноводные (33) виды, среди которых представители рода *Aulacoseira* доминируют в нижней части колонки (до 44.0%). Доминантом является бентосный эстуарный вид *Diploneis smithii* (Brébisson) Cleve (до 47%), встреченный по всей колонке. Субдоминантами являются бентосные виды *Diploneis subcineta* (Schmidt) Cleve (до 17%), *Grammatophora oceanica* (Ehrenberg) Grunow и *G. oceanica* var. *subtilissima* (Bailey) Grunow (до 32%), *Trachyneis aspera* (Ehrenberg) Cleve (до 27%), которые также встречены по всей длине колонки. В верхних 20 см колонки преобладают планктонные виды *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschowsky (до 23.2%), *T. frauenfeldii* (Grunow) Tempère & Peragallo (до 20.4%), *Rhizosolenia setigera* Brightwell (до 24.3%), *Cyclotella litoralis* Lange et Syvertsen (до 24.0%), *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg (до 10.4%), *Chaetoceros* spp. (до 32%), ниже 20 см в колонке высокой численности достигают бентосно-планктонный вид *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve (до 17%) и бентосный вид *Petronia glacialis* (Cleve) Witkowski (до 8%), характерный для ледовых сообществ (Poulin, Cardinal, 1982).

В колонке А12-5, отобранной в центральной части впадины, диатомовая флора представлена 126 видами и внутривидовыми таксонами, принадлежащих 69 родам. Морские (74 вида) и солоноватоводные (21) виды преобладают, пресноводные (31 вид) встречены преимущественно

единичными экземплярами. Доминантом, как и в предыдущей колонке, является вид *Diploneis smithii* (Brébisson) Cleve (до 30%), субдоминантами — виды *Diploneis subcincta* (Schmidt) Cleve (до 16.8%), *Grammatophora oceanica* (Ehrenberg) Grunow (до 23%) (рис. 2), которые встречаются по всей колонке. В верхних 20 см колонки доминируют планктонные виды *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky (до 14.8%), *T. frauenfeldii* (Grunow) Tempère & Peragallo (до 19.5%), *Rhizosolenia setigera* Brightwell (до 12.9%), *Cyclotella litoralis* Lange et Syvertsen (до 26.1%), *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg (до 13.7%), *Chaetoceros* spp. (до 25.7%). Ниже 20 см в колонке А12-5 высокой численностью характеризуются бентосные виды *Lyrella spectabilis* (Gregory) Mann (до 15.2%), *Petronella glacialis* (Cleve) Witkowski (до 11.3%), в некоторых интервалах высока численность вида *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve (до 11%) (рис. 2).

Кроме изменения таксономического состава по всей длине обоих кернов резко изменяется соотношение экологических групп диатомовых комплексов и концентрация диатомовых водорослей на грамм воздушно-сухого осадка (рис. 3). Несмотря на близкое расположение колонок, они сильно отличаются по количественному содержанию: в колонке А12-5 (интервал 30–60 см) очень низкая концентрация диатомей (0.16–0.91 млн экз./г), в колонке А12-4 значительно выше — до 6.2 млн экз./г. 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. В верхних частях кернов (интервал 20–0 см) содержание диатомей увеличивается в обеих колонках, а экологическая структура диатомовых комплексов становится близкой и характеризуется преобладанием морских планктонных неритических видов (рис. 3).

Диатомовые комплексы, накопившиеся за последние 150 лет, отражают изменение условий формирования осадков (Tsoy et al., 2015). По изменению экологической структуры диатомовых комплексов и содержанию диатомей в изученных осадках были выделены три этапа. В период 1860–1910 гг. осадки формировались под значительным 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. В следующий период 1910–1960 гг. отмечено ослабление влияния речного стока, связанного, вероятно, с активной вырубкой лесов на юге Приморского края и выносом большого количества пелитового материала из-за распашки земель. С 1960-х годов отмечены значительные изме-

нения в экологической структуре диатомовых комплексов в обеих колонках — значительно увеличивается роль планктонных неритических видов, среди которых доминируют тепловодные виды, пресноводные встречаются спорадически, в осадках резко увеличивается количественное содержание кремнистых микроводорослей. Такой состав диатомовых комплексов близок комплексам диатомей поверхностных осадков Амурского залива (Цой, Моисеенко, 2014). С этого времени в осадках появляются силикофлагеллаты (исключительно морские кремнистые организмы), представленные преимущественно тепловодными видами: *Dictyocha messanensis* f. *spinosa* Lemmermann, *D. fibula* Ehrenberg и др. Изменения, которые зафиксированы в осадках с 1960-х годов, отражают глобальное потепление, которое заметно усилилось в этот период и сопровождалось повышением уровня моря (Ростов и др., 2016; Tsoy et al., 2015).

По всей длине кернов наблюдаются резкие падения количества диатомей на грамм осадка (рис. 3) (Tsoy et al., 2015). Учитывая то, что голоценовые осадки залегают горизонтально, без видимых перерывов и изменений скоростей осадконакопления (Karnaukh et al., 2016), а в осадках, накопленных за последние 50 лет, не наблюдается биотурбации из-за сезонной гипоксии (Тищенко и др., 2011), резкие падения количества диатомей кажутся труднообъяснимыми.

При сопоставлении в изученных колонках минимумов содержания диатомей (Tsoy et al., 2015) с пиками минимумов содержания брома, связанных с экстремальными наводнениями, вызванных тайфунами или глубокими циклонами (Астахов и др., 2015) была установлена хорошая корреляция (рис. 4).

Изменения содержания брома в изученных колонках Амурского залива были установлены при субмиллиметровом рентгеноспектральном сканировании с синхротронным излучением (РФА СИ) (Астахов и др., 2015; Kalugin et al., 2015). Слои с минимальным содержанием брома, который является типичным океаническим элементом, так как в его круговороте в природе важная роль принадлежит живым морским организмам, концентрирующим его из морской воды, были сформированы терригенным материалом, выносимым при экстремальных паводках р. Раздольная (рис. 3) и в значительно меньшей степени р. Амба, площадь водосбора которой меньше, чем таковой р. Раздольной более чем в 50 раз (Ресурсы ..., 1977). Время формирования этих слоев совпадает с известными зафиксированными метеослужбами наводнениями в г. Владивосток и в бассейне р. Раздольная (Астахов и др., 2015). Такие события в регионе происходят, главным образом, при прохождении через территорию

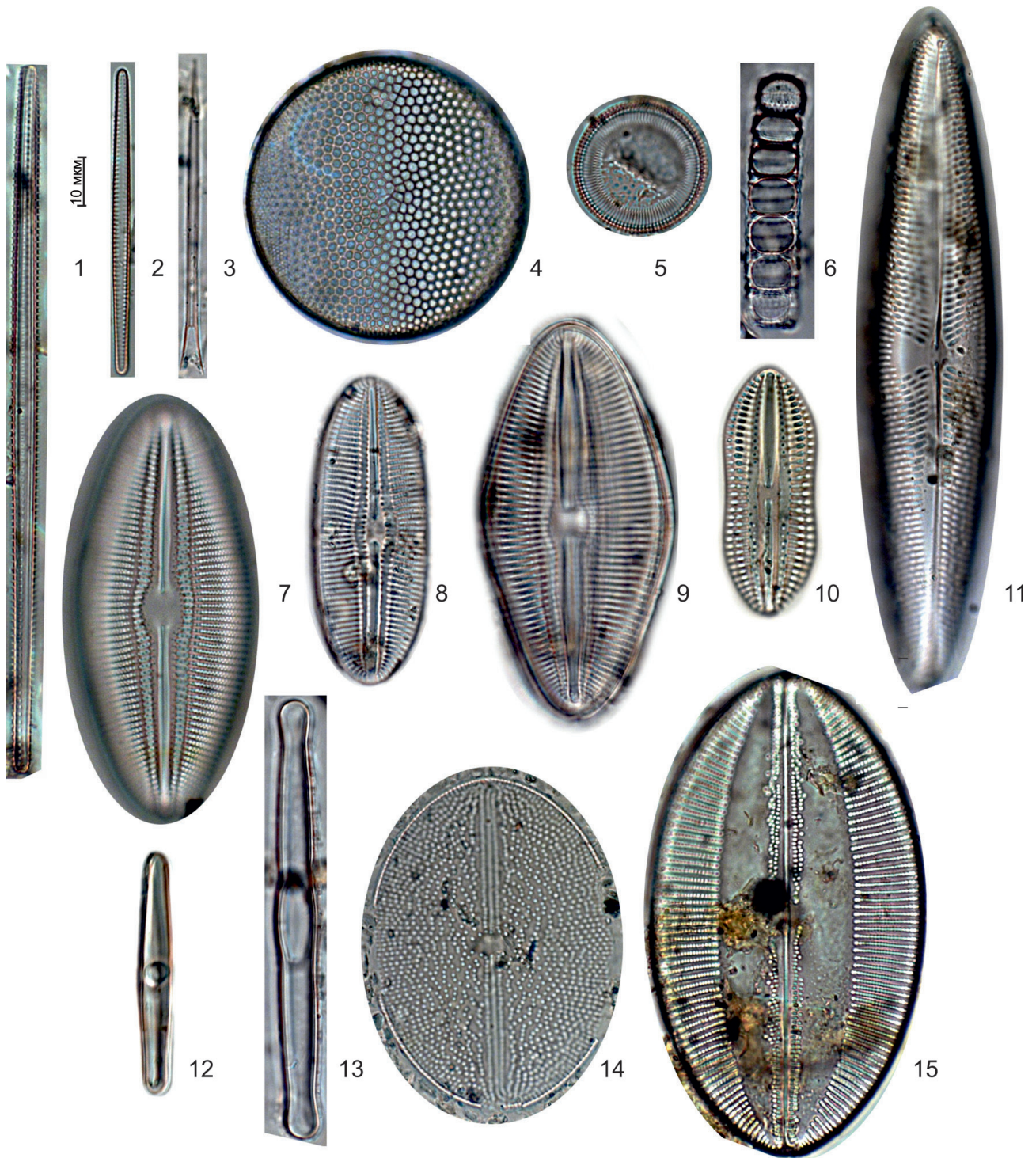


Рис. 2. Доминирующие виды диатомей из осадков Амурского залива (колонка A12-5): 1 — *Thalassionema frauenfeldii* (Grunow) Tempère & Peragallo; 2 — *T. nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky; 3 — *Rhizosolenia setigera* Brightwell; 4 — *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg; 5 — *Cyclotella litoralis* Lange et Syvertsen; 6 — *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve; 7, 8 — *Diploneis smithii* (Brébisson) Cleve; 9 — *D. smithii* var. *rhombica* (Mereschkowsky) Mereschkowsky; 10 — *D. subcincta* (Schmidt) Cleve; 11 — *Trachyneis aspera* (Ehrenberg) Cleve; 12 — *Grammatophora oceanica* (Ehrenberg) Grunow; 13 — *G. oceanica* var. *subtilissima* (Bailey) Grunow; 14 — *Petroneis glacialis* (Cleve) Witkowski; 15 — *Lyrella spectabilis* (Gregory) Mann. 1-3 (инт. 6-7 см); 4, 5 (инт. 10-11 см); 6 (инт. 35-36 см); 7-10 (инт. 16-17 см); 11 (инт. 20-21 см); 12-15 (инт. 21-22 см). 1-5 — планктонные виды, 6 — бентосно-планктонный вид, 7-15 — бентосные виды.

Fig. 2. Dominant species of diatoms in sediments from Amur Bay (Core A12-5): 1-3 (int. 6-7 cm); 4, 5 (int. 10-11 cm); 6 (int. 35-36 cm); 7-10 (int. 16-17 cm); 11 (int. 20-21 cm); 12-15 (int. 21-22 cm). 1-5 — planktonic species, 6 — benthic-planktonic species, 7-15 — benthic species. Scale bar 10 μ .

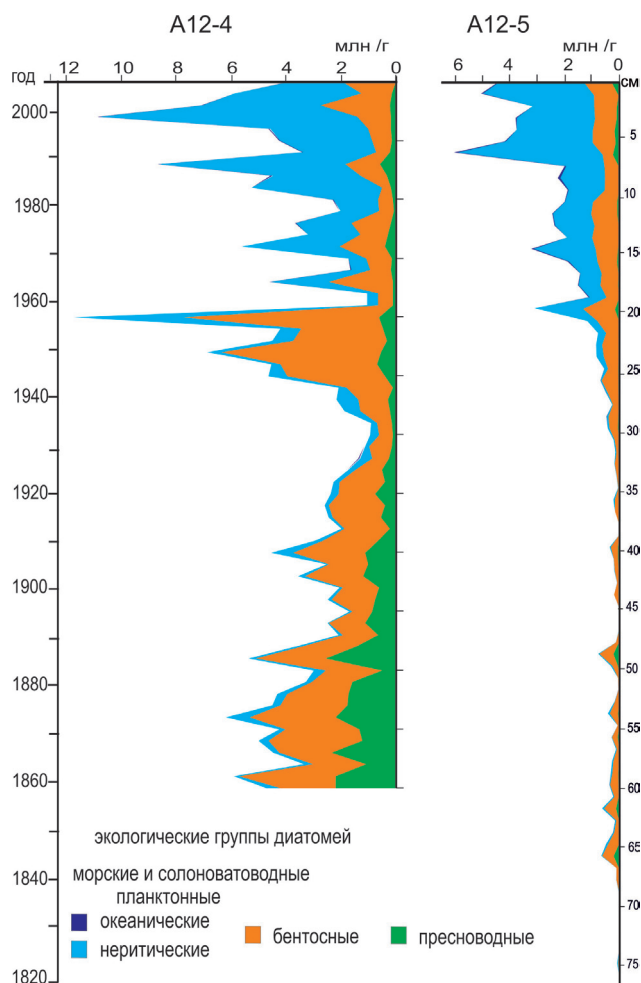


Рис. 3. Соотношение экологических диатомовых групп и изменение количественного содержания диатомовых водорослей в колонках A12-4 и A12-5 Амурского залива (Tsoy et al., 2015).

Fig. 3. The ratio between ecological diatom groups and the change in the quantitative content of diatom algae in the cores A12-4 and A12-5 from Amur Bay (Tsoy et al., 2015).

водосбора тропических циклонов (тайфунов). При этом в центральную часть залива выносятся большое количество терригенного материала, обычно накапливающегося в эстуарии реки или на мелководном приустьевом шельфе. Этот материал не содержит органическое вещество морского происхождения, что определяет очень низкие содержания брома. Среди 17 тайфунов последних 60 лет зафиксированы самые разрушительные за всю историю Приморья с начала метеорологических наблюдений (<https://primgazeta.ru/news/five-of-the-most-devastating-typhoons-in-the-history-of-primorye>). Это тайфуны Эмма, Ирвинг, Джуди и Мелисса, которые отличались огромной скоростью ветра (до 166 км/час) и мощными и продолжительными осадками (до 345 мм), привели к обширным наводнениям на юге Приморского края и увеличению речного стока в Амурском заливе.

Пики минимумов содержания диатомей в период с 1850 по 1950 гг. также совпадают с крупными наводнениями и циклонами (рис. 4). 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 12, с интервалом от 1 до 10 лет, а в некоторые годы отмечено более одного тайфуна в год. Возможно, это связано с ограниченными данными в первый период, так как несмотря на создание Владивостокской метеорологической обсерватории в 1875 г., фактически она начала систематические наблюдения только с 1913 г. (http://www.primgidromet.ru/about/istoriya_organizacii/). Но есть независимые данные, основанные на измерении ширины годовых колец деревьев (Altman et al., 2018), доказывающие рост интенсивности и частоты тайфунов в XX в. из-за смещения тайфунов в северном направлении. Смещение траектории движения тайфунов к северу характерно для теплых климатических периодов голоцена (Liu et al., 2001). Глобальное потепление климата, резко усилившееся с середины XX в. (Изменение ..., 2014; Mann, Jones, 2003), в районе Амурского залива выражено стабильным ростом температуры воды и воздуха с 1960 г. (Гайко, 2013), а наиболее заметно с 2000 г. (Ростов и др., 2016). По данным метеорологических наблюдений на станциях, расположенных на территории Приморского края, акватория Японского моря и прилегающие территории с 1951 по 2010 гг. подвергалась воздействию тропических циклонов около 150 раз (http://www.primgidromet.ru/news/tajfuny_ne_vyehodili_na_primorskij_kraj_uzhe_7_let/).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное сравнение изменения содержания диатомей и брома в изученных колонках A12-4 и A12-5 Амурского залива показало положительную корреляцию. В литологически однородных осадках с относительно высокими скоростями осадконакопления и отсутствием биотурбации резкие падения содержания диатомей наблюдаются в интервалах с низким содержанием брома, которые связаны с экстремальными наводнениями, вызванными тропическими циклонами или тайфунами. Во внутренних заливах эстуарного типа, каким является Амурский залив, резкие падения содержания диатомей в осадках могут свидетельствовать о влиянии экстремальных природных явлений, таких как тайфуны, циклоны и наводнения, и использоваться для распознавания подобных явлений при палеореконструкциях.

Полученные наблюдения также подтверждают данные об усилении интенсивности и частоты тайфунов в последние 60 лет в районе

ВЛИЯНИЕ ТАЙФУНОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ДИАТОМЕЙ

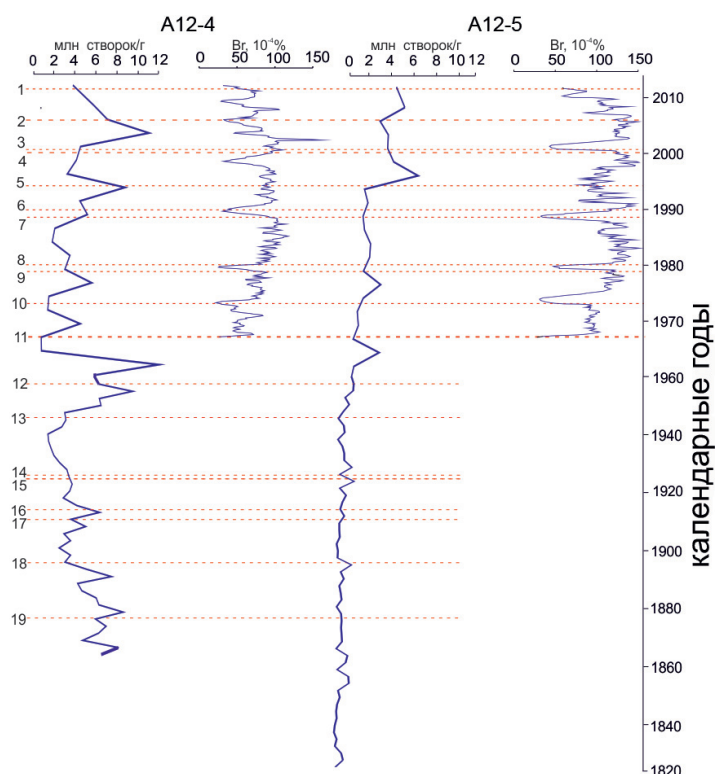


Рис. 4. Корреляция изменения содержания диатомей (створок на грамм) в колонках A12-4 и A12-5 и содержания брома в бокс-корерах A12-4 и A12-5 на временной шкале с экстремальными наводнениями, вызванными тайфунами или глубокими циклонами: 1 — тайфун Талас, 09.2011; 2 — Ивиньяр, Ву-Конг, Сан-Сан, 2006; 3 — циклон 08.2001; 4 — тайфуном Болавен, Прэпирун, Самоэй, южный циклон 08.2000; 5 — тайфун Мелисса, 09.1994; 6 — тайфун Робин, 07.1990; 7 — тайфун Джуди, 07.1989; 8 — тайфун Орчид, 09.1980; 9 — тайфун Ирвинг, 08.1979; 10 — тайфун Гилда, 06.1974; 11 — циклон 09.1968; 12 — тайфун Эмма, 09.1956; 13 — циклон 08.1946; 14 — циклон 1928; 15 — циклон осень 1925; 16 — тайфун 08.1914; 17 — циклон 07.1910; 18 — циклон 08.1896; 19 — наводнение на р. Суйфун (р. Раздольная), 1877 (1, 3, 5–11 (Астахов и др., 2015); 2, 4, 12–19 — <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-stikhii>).

Fig. 4. Correlation between changes in the content of diatoms (valves per gram) in the Cores A12-4 and A12-5 and the content of bromine in the box cores A12-4 and A12-5 on the timescale with extreme floods caused by typhoons or deep cyclones: 1 — Typhoon Talas, 09.2011; 2 — Evinger, Wu-Kong, San-San, 2006; 3 — Cyclone 08.2001; 4 — Typhoon Bolaven, Prapirun, Samoei, southern Cyclone 08.2000; 5 — Typhoon Melissa, 09.1994; 6 — Typhoon Robin, 07.1990; 7 — Typhoon Judy, 07.1989; 8 — Typhoon Orchid, 09.1980; 9 — Typhoon Irving, 08.1979; 10 — Typhoon Gilda, 06.1974; 11 — Cyclone 09.1968; 12 — Typhoon Emma, 09.1956; 13 — Cyclone 08.1946; 14 — Cyclone 1928; 15 — Cyclone, autumn 1925; 16 — Typhoon 08.1914; 17 — Cyclone 07.1910; 18 — Cyclone 08.1896; 19 — flood on the Suifun River (Razdolnaya River), 1877 (1, 3, 5–11 — Astakhov et al., 2015; 2, 4, 12–19 — <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-stikhii>).

Амурского залива из-за глобального потепления, в результате которого происходит смещение траекторий тайфунов на север.

Автор выражает благодарность И.Б. Цой за обсуждение при подготовке рукописи, критические и ценные указания, А.С. Астахову за прочтение рукописи, К.И. Аксентову за предоставление материалов, Н.К. Вагиной за техническую редакцию рукописи, Л.В. Осиповой за химико-техническую обработку образцов, а также анонимным рецензентам за конструктивные замечания, рекомендации и полезные предложения, которые помогли улучшить рукопись.

Работа выполнена по программе ФНИ ТОИ ДВО РАН (тема № АААА-А17-117030110033-0).

Список литературы [References]

Аксентов К.И., Астахов А.С. Антропогенное загрязнение ртутью донных осадков залива Петра Великого // Вестник ДВО РАН. 2009. № 4. С. 115–121 [Aksentov K.I., Astakhov A.S. Anthropogenic pollution with mercury of bottom sediments of Peter the Great

Bay // Vestnik DVO RAN. 2009. № 4. P. 115–121 (in Russian)].

Астахов А.С., Калугин И.А., Аксентов К.И., Дарьин А.В. Геохимические индикаторы палеотайфунов в шельфовых отложениях // Геохимия. 2015. № 4. С. 387–392. <https://doi.org/10.7868/S0016752515040020> [Astakhov A.S., Aksentov K.I., Kalugin I.A., Darin A.V. Geochemical indicators of paleo-typhoons in shelf sediments // Geochemistry International. 2015. V. 53. № 4. P. 383–388. <https://doi.org/10.1134/S0016702915040023>].

Васильев Б.И., Марков Ю.Д. Рельеф и донные отложения Амурского залива // Вопросы геологии и геофизики окраинных морей северо-западной части Тихого океана. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1974. С. 98–113 [Vasiliev B.I., Markov Yu.D. Relief and bottom sediments of the Amur Bay // The Problems of Geological and Geophysics of the marginal seas of north-western part of the Pacific Ocean. Vladivostok: USSR Academy of FESC, 1974. P. 98–113 (in Russian)].

Гайко Л.А. Многолетняя изменчивость температуры воды и воздуха у российского побережья Японского моря по данным гидрометеорологических станций // Океанологические исследования дальневосточных морей и северо-западной части

- Тихого океана / Под ред. В.А. Акуличева; ТОИ ДВО РАН. Владивосток: Дальнаука, 2013. Кн. 1. С. 64–78 [Gayko L.A. Variability of air temperature and water in the coastal zone of the north-western part of the Japan Sea according to the coastal stations // Oceanological studies of the Far Eastern seas and the North-Western Pacific / Under ed. by V.A. Akulichyev; POI FEB RAS. Vladivostok: Dalnauka, 2013. Book 1. P. 64–78 (in Russian)].
- Гидрометеорология и гидрохимия морей. Японское море. Гидрометеорологические условия / Под ред. Ф.С. Терзиев. СПб.: Гидрометеиздат, 2003. Т. VIII. Вып. 1. 398 с. [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas. Sea of Japan. Hydrometeorological conditions / Under ed. by F.S. Terziev. St. Petersburg: Hydrometeoizdat, 2003. V. VIII. 398 p. Iss. 1. (in Russian)].
- Дударев О.В., Боцул А.И., Чаркин А.Н. и др. Современная геоэкологическая обстановка зал. Петра Великого (Японское море) // Известия ТИНРО. 2002. Т. 131. С. 132–140 [Dudarev O.V., Botsul A.I., Charkin A.N. et al. Recent geoeological situation in Peter the Great Bay (the Japan Sea) // Izvestiya TINRO. 2002. V. 131. P. 132–140 (in Russian)].
- Жузе А.П., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова-Порецкая В.С. Методика исследования // Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. Л.: Наука, 1974. С. 50–79 [Jouse A.P., Proshkina-Lavrenko A.I., Sheshukova-Poretskaya V.S. Research methodology // Diatom algae of the USSR. Fossil and recent. Leningrad: Nauka, 1974. P. 50–79 (in Russian)].
- Изменение климата. Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Под ред. К. Пачаури и Л.А. Мейер. МГЭИК, Женева, Швейцария. 2014. 163 с. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_ru.pdf [Climate change. Synthesis report. Contribution of Working groups I, II and III to the Fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change / Under ed. by R.K. Pachauri and L.A. Meyer. IPCC, Geneva, Switzerland. 2014. 163 p. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_ru.pdf].
- Короткий А.М. Колебания уровня Японского моря и ландшафты прибрежной зоны (этапы развития и тенденции) // Вестник ДВО РАН. 1994. № 3. С. 29–42 [Korotkiy A.M. Fluctuations of the Sea of Japan level and landscapes of coastal zone (development stages and tendencies) // Vestnik DVO RAN. 1994. № 3. P. 29–42 (in Russian)].
- Марков Ю.Д. Южноприморский шельф Японского моря в позднем плейстоцене и голоцене. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. 128 с. [Markov Yu.D. Shelf of the southern Primorye of the Sea of Japan in the late Pleistocene and Holocene. Vladivostok: USSR Academy of FESC, 1983. 128 p. (in Russian)].
- Орлова Т.Ю., Стоник И.В., Шевченко О.Г. Флора микроводорослей планктона Амурского залива Японского моря // Биология моря. 2009. Т. 35. № 1. С. 48–61 [Orlova T.Yu., Stonik I.V., Shevchenko O.G. Flora of planktonic microalgae of Amursky Bay, Sea of Japan // Russian Journal of Marine Biology. V. 35. № 1. 2009. P. 60–78. <https://doi.org/10.1134/S106307400901009X>].
- Подорванова Н.Ф., Ивашишникова Т.С., Петренко В.С., Хомичук Л.С. Основные черты гидрохимии залива Петра Великого (Японское море). Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 201 с. [Podorvanova N.F., Ivashinnikova T.S., Petrenko V.S., Khomichuk L.S. Osnovnye cherty gidrokhimii zaliva Petra Velikogo (Yaponskoe more) (Main Hydrochemical Features of Peter the Great Bay, Sea of Japan). Dal. Vest. Otd. Akad. Nauk SSSR. 1989. Vladivostok. 201 p. (in Russian)].
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Дальний Восток. Приморье. Л.: Гидрометеиздат, 1977. Т. 18. Вып. 3. 245 с. [Surface water resources of the USSR. Basic hydrological characteristics. Far East. Primorye. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. V. 18. Issue 3. 245 p. (in Russian)].
- Ростов И.Д., Рудых Н.И., Ростов В.И., Воронцов А.А. Проявления глобальных климатических изменений в прибрежных водах северной части Японского моря // Вестник ДВО РАН. 2016. № 5. С. 100–112 [Rostov I.D., Rudykh N.I., Rostov V.I., Vorontsov A.A. Expressions of global climatic changes in coastal waters of the Northern part of the Sea of Japan // Vestnik DVO RAN. 2016. № 5. P. 100–112 (in Russian)].
- Ростов И.Д., Юрасов Г.И., Рудых Н.И. и др. Атлас по океанографии Берингова, Охотского и Японского морей. Информационные ресурсы ТОИ. Океанография. Т. 2. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2007. [pacificinfo.ru/data/cdrom/2/html/4_00.htm](http://www.pacificinfo.ru/data/cdrom/2/html/4_00.htm) [Rostov I.D., Yurasov G.I., Rudykh N.I. et al. An Atlas of Oceanography of the Bering Sea, the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan. Informational Resources of the Pacific Oceanological Institute. Oceanography. V. 2. Vladivostok: TOI DVO RAN. 2007. http://www.pacificinfo.ru/data/cdrom/2/html/4_00.htm].
- Рябушко Л.И., Бегун А.А. Диатомовые водоросли микрофитобентоса Японского моря: в 2 томах. Симферополь: Н.Орианда, 2015. Т. 1. 288 с. [Ryabushko L.I., Begun A.A. Diatoms of the Microphytobenthos of the Sea of Japan: in 1–2 volumes. Simferopol: N.Orianda, 2015. V. 1. 288 p. (in Russian)].
- Рябушко Л.И., Бегун А.А. Диатомовые водоросли микрофитобентоса Японского моря (Синописис и Атлас). Севастополь: ПК «КИА», 2016. Т. 2. 324 с. [Ryabushko L.I., Begun A.A. Diatoms of the Microphytobenthos of the Sea of Japan. Sevastopol: PK «KIA», 2016. V. 2. 324 p. (in Russian)].
- Стихийные явления в Приморье. 2007. https://primopogoda.ru/articles/prosto_o_pogode/stihijnye_yavleniya_v_primore [Spontaneous phenomena in Primorye. 2007. https://primopogoda.ru/articles/prosto_o_pogode/stihijnye_yavleniya_v_primore].
- Стоник И.В., Орлова Т.Ю. Летне-осенний фитопланктон в Амурском заливе Японского моря // Биология моря. 1998. Т. 24. № 4. С. 205–211 [Stonik I.V., Orlova T.Yu. Summer-autumn phytoplankton in Amurskii Bay, Sea of Japan // Russian Journal of Marine Biology. 1998. V. 24. № 4. P. 207–213].
- Тищенко П.П., Тищенко П.Я., Звалинский В.И., Сергеев А.Ф. Карбонатная система Амурского залива

- (Японское море) в условиях гипоксии // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 2. С. 246–257 [Tishchenko P.P., Tishchenko P.Ya., Zvalinskii V.I., Sergeev A.F. The carbonate system of Amur Bay (Sea of Japan) under conditions of Hypoxia // *Oceanology*. 2011. V. 51. № 2. P. 235–246. <https://doi.org/10.1134/S0001437011020172>].
- Цой И.Б., Моисеенко И.А. Кремнистые микроводоросли в поверхностных осадках залива Петра Великого и прилегающей части Японской котловины // *Вестник ДВО РАН*. 2013. № 6. С. 180–188 [Tsoy I.B., Moiseenko I.A. Siliceous microalgae from surface sediments of the Peter the Great Bay and the adjacent Japan Basin // *Vestnik DVO RAN*. 2013. № 6. P. 180–188 (in Russian)].
- Цой И.Б., Моисеенко 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. V. 40. № 1. P. 10–23. <https://doi.org/10.1134/S106307401401009X>].
- Altman J., Ukhvatkinac O.N., Omelko A.M. et al. Poleward migration of the destructive effects of tropical cyclones during the 20th century // *PNAS*. 2018. V. 115. № 45. P. 11543–11548. <https://doi.org/10.1073/pnas.1808979115/-/DCSupplemental>.
- Kalugin I.A., Astakhov A.S., Darin A.V., Aksentov K.I. Anomalies of bromine in the estuarine sediments as a signal of floods associated with typhoons // *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. 2015. V. 33. № 6. P. 1489–1495.
- Karnaukh V.N., Astakhov A.S., Vereshchagina O.F. et al. Formation of subsurface shallow gas accumulations in Amurskiy Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan) as a result of postglacial sea-level change, paleoceanographic conditions and hydrological activity // *Marine Geology*. 2016. V. 372. P. 31–52.
- Liu K.-B., Shen C., Louie K.-S. A 1,000-Year History of Typhoon Landfalls in Guangdong, Southern China, Reconstructed from Chinese Historical Documentary Records // *Annals of the Association of American Geographers*. 2001. V. 91. № 3. P. 453–464.
- Mann M.E., Jones P.D. Global surface temperatures over the past two millennia // *Geophys. Res. Lett.* 2003. V. 30. № 15. P. 1820.
- Poulin M., Cardinal A. Sea ice diatoms from Manitousuk Sound, southeastern Hudson Bay (Quebec, Canada), 11. Naviculaceae, Genus *Navicula* // *Canadian Journal of Botany*. 1982. V. 60. P. 2825–2845.
- Stonik I.V., Orlova T.Yu. Phytoplankton of the coastal waters off Vladivostok (the Northwestern part of the East Sea) under eutrophic conditions // *Ocean and Polar Research*. 2002. V. 24. № 4. P. 354–365.
- Tsoy I.B., Prushkovskaya I.A., Aksentov K.I., Astakhov A.S. Environmental changes in the Amur Bay (Japan/East Sea) in the past 150 years on the basis of diatoms and silicoflagellates // *Ocean Science Journal*. 2015. V. 50. № 2. P. 433–444. <https://dx.doi.org/10.1007/s12601-015-0039-8>.
- Tsoy I.B., Prushkovskaya I.A. Diatoms and silicoflagellates abundances in the sediment core A12-4 from Amur Bay (Japan Sea). PANGAEA, 2019a. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.898638>.
- Tsoy I.B., Prushkovskaya I.A. Diatoms and silicoflagellates abundances in the sediment core A12-5 from Amur Bay (Japan Sea). PANGAEA, 2019b. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.898650>.

THE IMPACT OF TYPHOONS ON THE CONTENT OF DIATOMS IN SEDIMENTS FROM AMUR BAY (SEA OF JAPAN) OVER THE LAST 150 YEARS

I.A. Prushkovskaya

V.I. Ilyichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, 690041, Vladivostok, Russia

This paper presents the results of study of diatoms in each centimeter of sediments in cores A12-4 and A12-5 from Amur Bay (Sea of Japan) that have formed over the last 150 years. Diatom algae show significant changes in the quantitative content and ecological structure of the assemblages, which reveal the conditions of sediments accumulation. The study showed that in lithologically homogeneous sediments, with relatively high sedimentation rates and the absence of bioturbation, sharp short-term diatoms concentration declines coincide with the minimum bromine content associated with extreme floods caused by typhoons, which can be used in paleoreconstructions. The results confirm the data on the increase in the intensity and frequency of typhoons over the past 60 years in the study area due to global warming.

Keywords: diatoms, typhoons, sediments, Amur Bay, Sea of Japan.