

## **Диатомовая летопись изменений среды северо-западной части Японского моря в период последней дегляциации**

## **Diatom record of environmental changes in the northwest Japan Sea during the last deglaciation**

**Черепанова М.В.**

**Marina V. Cherepanova**

*ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (Владивосток, Россия)*

Анализ изменений диатомовых данных позволил реконструировать состояние среды в северо-западной части Японского моря за последние 21,0 тыс. лет. Незначительное увеличение количества сублиторальных бентосных видов указывает на понижение уровня моря с 21,0 до 16,6 тыс.л.н., которое соответствует последнему ледниковому максимуму. Низкое стояние моря определило иные, по сравнению с современными, закономерности морской циркуляции и векторов вдольбереговых течений. Высокий процент сублиторальных планктонных диатомей во время бёллинга и раннего дриаса отражает постепенное повышение уровня моря. Увеличение доли океанических диатомей в голоцене указывает на приток тихоокеанских вод, как через пролив Цусима, так и через пролив Цугару. Во время потеплений отмечался рост участия относительно тепловодных океанических видов. Исследования продемонстрировали четкую реакцию диатомей на изменения палеоклимата и уровня моря в течение позднего плейстоцена и голоцена.

**Ключевые слова:** диатомеи; донные осадки; плейстоцен; голоцен; Японское море

Позднее глобальное потепление (дегляциация), начавшееся с последнего ледникового максимума (LGM), характеризовалось наиболее фундаментальными за последние 100 тыс. лет изменениями климата в течение ледниково-межледникового цикла и, следовательно, является ключевым для понимания механизмов трансформации среды от ледниковых к межледниковым условиям (Zhang et al., 2014). Результатом этих изменений стали значительные преобразования, как в наземных, так и в морских экосистемах.

Японское море относится к полузамкнутым окраинным морям, так как соединяется с другими дальневосточными морями и Тихим океаном мелководными (не более 135 м) проливами. Эта особенность делает данное море более чувствительным к глобальным изменениям климата и связанными с ними колебаниям уровня моря. Особенно это проявилось во время LGM, когда уровень моря опускался примерно на 130 м ниже современного (Ishiwatari et al., 2001).

Диатомеи были изучены из колонка LV 53-29 (41°51,6005' с.ш., 132°21,8618' в.д., общая длина – 785 см), поднятой в северо-западной части Японского моря с глубины 1956 м во время российско-китайского рейса 53 на НИС «Академик Лаврентьев»

в 2010 г. В данной работе представлены исследования верхней части керна длиной 150 см, которая, согласно возрастной модели (Evstigneeva et al., 2021), формировалась в течение 21 тыс. лет. Образцы для анализа (всего 62) отбирались через каждые 2 см с толщиной образца ~1 см и обрабатывались согласно стандартной методике (Глезер и др., 1974). Для более корректной интерпретации диатомовых данных, вслед за А.П. Жузе (1962), в комплекс *Thalassiosira eccentrica* были объединены виды, створки которых по своей морфологии сходны с *Thalassiosira eccentrica*, и которые порою трудно диагностировать до вида в световом микроскопе.

Установленные изменения диатомовых палеосообществ за последние 21 тыс. лет зафиксировали ледниковые, послеледниковые (дегляциация) и голоценовые условия в северо-западной части Японского моря.

На основе данных диатомового анализа было выделено 7 зон (ДЗ). Особенностью ДЗ 1 (20,9–18,2 тыс.л.н.) является относительно высокое содержание неритической *Thalassionema nitzschioides*, доминирующей в современном зимнем и весеннем планктоне прибрежных вод Японских о-вов (Takano, 1990). Диатомовые данные свидетельствуют о довольно холодных условиях с преобладающими температурами поверхностных вод, близкими к современным весенним температурам в этом регионе. Преобладание же неритического комплекса *Thalassiosira eccentrica* указывает на более высокое содержание солей в поверхностных водах во время LGM, по сравнению с южной и западной частями моря (Oba et al., 1991; Minoura et al., 2012). Оно было обусловлено активным конвективным перемешиванием зимой, характерным для района отбора колонки и в настоящее время. ДЗ 2 (18,2–15,8 тыс. л.н.) характеризуется высоким участием покоящихся спор представителей рода *Chaetoceros*. Активное размножение видов этого рода в Японском море отмечается для современного зимне-весеннего фитопланктона (Захарков и др., 2012). Увеличение содержания представителей этого рода, а также океанических таксонов отражает начавшийся подъем уровня моря и приток вод из Тихого океана, причём не только через Цусимский пролив, но и впадающую в это время через пролив Цугару ветвь течения Оясио (Oba et al., 1991). В палеосообществах встречены также таксоны, которые характеризуют сезонную сукцессию – *Thalassiosira antarctica* → *Chaetoceros* ssp. → *Rhizosolenia hebetata* (Tsukazaki et al., 2013), что может свидетельствовать о более выраженных промежуточных сезонах года (весна, осень). Температура поверхностных вод по-прежнему оставалась ниже современной, а солёность несколько понизилась по сравнению с предыдущим периодом. ДЗ 3 (15,8–13,2 тыс.л.н.) отмечена самыми высокими показателями холодноводной пелагической *R. hebetata*. Скорее всего, хотя температура поверхностных вод была низкой, их солёность несколько увеличилась по сравнению с предыдущим временным интервалом. Отличительной особенностью ДЗ 4 (13,2–11,3 тыс.л.н.) является высокая доля участия сублиторальной *Paralia sulcata*, а также сублиторальных бентосных таксонов (*Cocconeis scutellum*, *Diploneis smithii* и др.) и пресноводных диатомей. Морские воды постепенно затапливали участки шельфа, осушенные во время LGM, увеличивая площади мелководий в заливе Петра Великого, где активно стали развиваться сублиторальные диатомей. Во время молодого дриаса (YD) усилилось влияние зимнего муссона, ветры которого стали выносить в глубоководную часть моря прибрежные льды с прикреплёнными к нижней их поверхности створками сублиторальных видов. В ДЗ 5 (11,3–10,1 тыс.л.н.) несколько увеличивается содержание термофильных неритических *Thalassionema frauenfeldii* и океанического *Coscinodiscus radiatus*. Эти данные отражают незначительное повышение температуры поверхностных вод, которое последовало за холодным YD. Для ДЗ 6 (10,1–5,8 тыс.л.н.) характерно резкое снижение содержания *P. sulcata* и увеличение *R. hebetata* (около 8,2 тыс.л.н.). Эти особенности, а также рост доли комплекса *Thalassiosira eccentrica* и *Chaetoceros* ssp. можно рассматривать, как свидетельство постепенного повышения температуры и солёности поверхностных вод и приближение их к современным значениям. Для ДЗ 7 (5,8–0 тыс.л.н.) отмечено

увеличение участия океанических *Neodenticula seminae*, *C. radiatus* и др. С 4,8 тыс.л.н. устанавливается океанографический режим, характерный для современного Японского моря (Takei et al., 2002).

Диатомовые записи колонки LV53-29 представляют лишь косвенную информацию об изменении климата, отражая, прежде всего, изменения в океанографии моря, но, несомненно, вызванные глобальными палеоклиматическими колебаниями. Расположение места отбора колонки в северной части моря, отличающейся активным влиянием зимних муссонов, (Park et al., 2004), где холодные плотные воды формируют глубокую конвекцию (Talley et al., 2003), определяет сейчас и определяло в прошлом холодноводный характер диатомовой флоры. Как во время похолоданий, так и в периоды потеплений здесь преобладали холодноводные диатомеи; поэтому даже небольшое увеличение доли и видового разнообразия тепловодных диатомей можно рассматривать, как признак улучшения климата.

Работа выполнена в рамках госзадания ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (№124012200182-1).

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

### Список литературы

1. Глезер З.И., Жузе А.П., Макарова И.В., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова-Порецкая В.С. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т.1. – Л.: Наука, 1974. – 403 с.
2. Жузе А.П. Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана. – М: Изд-во Академии наук СССР, 1962. – 260 с.
3. Захарков С.П., Лобанов В.Б., Гордейчук Т.Н., Морозова Т.В., Штрайхерт Е.А. Пространственная изменчивость хлорофилла «а» и видовой состав фитопланктона в северо-западной части Японского моря в зимний период // Океанология. 2012. Т.52, №3. С. 381–391.
4. Evstigneeva T.A., Cherepanova M.V., Gorbarenko S.A., Shi X., Bosin A.A., Utkin I.V. Millennial-scale environmental changes in the northwestern Japan Sea during the last glacial cycle // Boreas. 2021. V.50, №4. P. 967–982. DOI: <https://doi.org/10.1111/bor.12484>
5. Ishiwatari R., Houtatsu M., Okada H. Alkenone-sea surface temperatures in the Japan Sea over the past 36 kyr: warm temperatures at the last glacial maximum // Organic Geochemistry. 2001. V.32. P. 57–67. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00151-0](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00151-0)
6. Minoura K., Akaki K., Nemoto N., Tsukawaki S., Nakamura T. Origin of deep water in the Japan Sea over the last 145 kyr. // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2012. V.339–341. P. 25–38.
7. Oba T., Kato M., Kitazato H., Koizumi I., Omura A., Sakai T., Takayama T. Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. // Paleoceanography and Paleoclimatology. 1991. V.6. P. 499–518.
8. Park K.-A., Chung J.Y., Kim K. Sea surface temperature fronts in the East (Japan) Sea and temporal variations // Geophysical Research Letters. 2004. V.31. ID L07304. DOI: <https://doi.org/10.1029/2004GL019424>
9. Takano H. Bacillariophyceae // Fukuyo Ya (ed.). Red Tides Organisms in Japan – An Illustrated Taxonomic Guide. – Tokyo: Uchida Rokakuho, 1990. – P. 180–181.
10. Takei T., Minoura K., Tsukawaki S., Nakamura T. Intrusion of a branch of the Oyashio Current into the Japan Sea during the Holocene // Paleoceanography. 2002. V.17, №3. P. 11-1–11-10. DOI: <https://doi.org/10.1029/2001PA000666>
11. Talley L.D., Lobanov V., Ponomarev V., Salyuk A., Tishchenko P., Zhabin I. Deep convection and brine rejection in the Japan Sea // Geophysical Research Letters. 2003. V.30, №4. ID 1159. DOI: <https://doi.org/10.1029/2002GL016451>
12. Tsukazaki C., Ishii K.-I., Saito R., Matsuno K., Yamaguchi A., Imai I. Distribution of viable diatom resting stage cells in bottom sediments of the eastern Bering Sea shelf // Deep-Sea Research II. 2013. V.94. P. 22–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.03.020>
13. Zhang W., Wu J., Wang Y., Wang Y., Cheng H., Kong X., Duan F. A detailed East Asian monsoon history surrounding the ‘Mystery Interval’ derived from three Chinese speleothem records // Quaternary Research. 2014. V.82. P. 154–163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2014.01.010>

Статья поступила в редакцию 18.06.2025; поступила после доработки 19.08.2025; принята к публикации 28.08.2025

### Сведения об авторе

Черепанова Марина Валерьевна – к.г.-м.н., с.н.с., ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Россия, Владивосток (FSC of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Russia, Vladivostok); cherepanova@biosoil.ru; ORCID – <https://orcid.org/0000-0002-6530-0093>; SPIN-код 4854-6190.

Корреспондентский адрес: Россия, 690022, Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, д. 159, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, тел. (423) 2-310-410.

## Diatom record of environmental changes in the northwest Japan Sea during the last deglaciation

Marina V. Cherepanova

*FSC of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS (Russia, Vladivostok)*

The environmental changes in the northwestern Japan Sea during the 21,0 ka were reconstructed from diatom data. A slight increase in the percentage of sublittoral benthic species indicates a decrease in sea level from 21,0 to 16,6 ka, which corresponds to the Last Glacial Maximum. The low sea level resulted in different patterns of marine circulation and coastal currents directions, compared to modern conditions. The high percentage of sublittoral planktonic diatoms reflects the gradual rise in sea level during the Bølling and Younger Dryas. The increase in oceanic diatom proportions during the Holocene indicates an influx of Pacific waters through both the Tsushima and Tsugaru Straits. During warming periods, an increase in relatively warm-water oceanic diatoms was observed. These studies have demonstrated a clear response of diatoms to climate and sea level changes during the Late Pleistocene and Holocene.

**Key words:** Diatoms; bottom sediments; Pleistocene; Holocene; Japan Sea

### References

1. Glezer Z.I., Zhuse A.P., Makarova I.V., Proshkina-Lavrenko A.I., Sheshukova-Poretskaya V.S. Diatoms of the USSR (fossil and modern). V.1. Nauka, Leningrad, 1974. 403 p. (In Russ.)
2. Zhuse A.P. Stratigraphic and paleogeographic studies in the Northwestern Pacific Ocean. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1962. 260 p. (In Russ.)
3. Zakharkov S.P., Lobanov V.B., Gordeichuk T.N., Shtraikhert E.A., Morozova T.V. Spatial variability of the chlorophyll a and the specific structure of the phytoplankton in the northwestern part of the Sea of Japan during the winter period. *Oceanology*. 2012. T.52. №3. P. 354–363. (In Russ.)
4. Evstigneeva T.A., Cherepanova M.V., Gorbarenko S.A., Shi X., Bosin A.A., Utkin I.V. Millennial-scale environmental changes in the northwestern Japan Sea during the last glacial cycle. *Boreas*. 2021. V.50, №4. P. 967–982. DOI: <https://doi.org/10.1111/bor.12484>
5. Ishiwatari R., Houtatsu M., Okada H. Alkenone-sea surface temperatures in the Japan Sea over the past 36 kyr: warm temperatures at the last glacial maximum. *Organic Geochemistry*. 2001. V.32. P. 57–67. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00151-0](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00151-0)
6. Minoura K., Akaki K., Nemoto N., Tsukawaki S., Nakamura T. Origin of deep water in the Japan Sea over the last 145 kyr. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2012. V.339–341. P. 25–38.
7. Oba T., Kato M., Kitazato H., Koizumi I., Omura A., Sakai T., Takayama T. Paleoenviromental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. *Paleoceanography and Paleoclimatology*. 1991. V.6. P. 499–518.
8. Park K.-A., Chung J.Y., Kim K. Sea surface temperature fronts in the East (Japan) Sea and temporal variations. *Geophysical Research Letters*. 2004. V.31. ID L07304. DOI: <https://doi.org/10.1029/2004GL019424>
9. Takano H. Bacillariophyceae. In: ukuyo Ya (Ed.). Red Tides Organisms in Japan – An Illustrated Taxonomic Guide. Uchida Rokakuho, Tokyo, 1990. P. 180–181.

10. Takei T., Minoura K., Tsukawaki S., Nakamura T. Intrusion of a branch of the Oyashio Current into the Japan Sea during the Holocene. *Paleoceanography*. 2002. V.17, №3. P. 11-1–11-10. DOI: <https://doi.org/10.1029/2001PA000666>. DOI:10.1029/2001PA000666
11. Talley L.D., Lobanov V., Ponomarev V., Salyuk A., Tishchenko P., Zhabin I. Deep convection and brine rejection in the Japan Sea // *Geophysical Research Letters*. 2003. V.30, №4. ID 1159. DOI: <https://doi.org/10.1029/2002GL016451>
12. Tsukazaki C., Ishii K.-I., Saito R., Matsuno K., Yamaguchi A., Imai I. Distribution of viable diatom resting stage cells in bottom sediments of the eastern Bering Sea shelf. *Deep-Sea Research II*. 2013. V.94. P. 22–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.03.020>
13. Zhang W., Wu J., Wang Y., Wang Y., Cheng H., Kong X., Duan F. A detailed East Asian monsoon history surrounding the ‘Mystery Interval’ derived from three Chinese speleothem records. *Quaternary Research*. 2014. V.82. P. 154–163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2014.01.010>

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ:

**Черепанова М.В. Диатомовая летопись изменений среды северо-западной части Японского моря в период последней дегляциации // Вопросы современной альгологии. 2025. № 1 (37). P. 337–341. URL: <http://algology.ru/2166>**

**Cherepanova M.V. Diatom record of environmental changes in the northwest Japan Sea during the last deglaciation. *Voprosy sovremennoi algologii (Issues of modern algology)*. 2025. № 1 (37). P. 337–341. URL: <http://algology.ru/2166>**

**DOI – [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1\(37\)-337-341](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2025-1(37)-337-341); EDN – GMGGXZ**