

Biostratigraphy of Late Holocene bottom sediments from the Northern part of Chukchi Sea

Short communication

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Vologina E.G.^{1*}, Kulagina N.V.¹, Chernyaeva G.P.¹, Sturm M.², Kolesnik A.N.³

¹Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, 128 Lermontov street Irkutsk, 664033, Russia

²Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 133 Überlandstrasse, Dübendorf, 8600, Switzerland

³Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, 43 Baltiyskaya street, Vladivostok 690041, Russia

ABSTRACT. The research goal is the investigation of environmental processes of recent sedimentation in the Arctic Ocean area. A short core (length – 37 cm) was taken from the Northern part of the Chukchi Sea. Analytical methods included macroscopic sedimentological description by smear-slides, dating by γ -measurements of ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb, diatom and palynological analyses. Sedimentation rates at the research site have been determined to be 1 mm y⁻¹. Thus, the age of the cored sediments spans approximately 400 years, which includes the period of the Little Ice Age. Abundant cold-water diatom species and spores of terrestrial plants within the lower part of the sediment core are characteristic for cold climate conditions, which dominated the Little Ice Age. The occurrence of Jurassic, Cretaceous, and Neogene species of spores and pollen in the Holocene deposits are the evidence of coastal abrasion and the subsequent transfer of the material to the coring site by currents. Southern, subtropical, and tropical species of diatoms within the upper, more recent part of the core reveal the transfer of material by currents from the Pacific Ocean to the Arctic Ocean through the Bering Strait. The results of biostratigraphic analyses indicate environmental changes during the last 400 years, revealed in bottom sediments of the Northern part of the Chukchi Sea.

Keywords: Chukchi Sea, bottom sediments, Little Ice Age, recent sedimentation, pollen, diatoms

For citation: Vologina E.G., Kulagina N.V., Chernyaeva G.P., Sturm M., Kolesnik A.N. Biostratigraphy of Late Holocene bottom sediments from the Northern part of Chukchi Sea // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 2. - P. 48-57. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-2-48

1. Introduction

Recent climate warming (Brohan et al., 2006; Wilson et al., 2007) leads to changes in the natural environment, both on continents and in oceans. The research has been conducted in the Chukchi Sea, a marginal sea of the Arctic Ocean, located between Chukotka and Alaska. Here, the increase of the mean annual air temperature over the past decades has caused a distinct areal reduction of ice cover (Stone, 1997; Crane, 2005). Such climatic and environmental changes are reflected in the formation and composition of the bottom sediments of the Chukchi Sea (Astakhov et al., 2018; Vologina et al., 2018; Astakhov et al., 2019; Vologina et al., 2019).

Compared to other marginal seas of the Arctic Ocean, the Chukchi Sea is characterized by its higher biological productivity, caused by the inflow of warmer Pacific waters through the Bering Strait [Ogorodnikov

and Rusanov, 1978; Grebmeier et al., 2006; Astakhov et al., 2015]. Consequently, biostratigraphic methods are particularly important for studying bottom sediment of this area and are widely used (Saidova, 1994; de Vernal et al., 2005; Obrezkova et al., 2023).

This paper presents biostratigraphic results of palynological and diatom analyses of upper layers of bottom sediments sampled in the Northern region of the Chukchi Sea and leads to a better understanding of environmental processes of recent sedimentation in this region of the Arctic Ocean.

2. Material and Methods

Sediments were taken during an international expedition with the research vessel «Professor Khromov» in 2012. Core b16 with a length of 37 cm was recovered from a «boxcorer» at a site in the northern part

*Corresponding author.

E-mail address: vologina@crust.irk.ru (E.G. Vologina)

Received: April 08, 2024; **Accepted:** April 22, 2024;

Available online: April 27, 2024

© Author(s) 2024. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



of the Chukchi Sea with coordinates 72°32'37.8" / N 175°59'42" W, at a water depth of 100 m (Fig. 1). After splitting the core in half a macroscopic description of the split core was carried out, followed by the analysis of smear-slides with a light microscope SK14 (magnification x 100). Smear-slide description included the qualitative determination of the particle size and the occurrence of lithological and biological components. The sediments of the core were dated by γ -measurements of the activities of ^{137}Cs and ^{210}Pb , described by (Vologina et al., 2018; Vologina et al., 2019). Diatom and palynological analyses were carried out at sampling intervals of 1 cm to 2 cm. Diatom analysis was performed according to (Zhuze et al., 1969; Diatoms of the USSR, 1974) and preliminary results were published by Vologina et al. (2018). Technical processing of samples for palynological analysis was carried out according to a well-known method (Berglund and Ralska-Jasiewiczowa, 1986).

3. Results

The sediments of core b16 are represented by clayey silt with an insignificant admixture of sand (Fig.2). The relatively homogeneous lithological composition indicates stable depositional conditions during their formation. Dating results reveal a sedimentation rate of approximately 1 mm y^{-1} , implying a time range of 400 years for core b16. It includes the period of the Little Ice Age (LIA) from 1600 AD–1850 AD to the present (Vologina et al., 2018). Thus, the studied deposits belong to the Late Holocene.

3.1. Palynological analysis results

The total amount of pollen and spores in the sediments of core b16 ranges from 221 to 637 specimens (Fig. 2). Based on their composition, two different sections can be distinguished in the core.

Section 1: 17–37 cm. *Picea obovata* and *Sphagnum* sp. are dominant in this interval, which is characterized by a high content of spores (46–54 %), especially represented by *Sphagnum* sp. (30–38 %). Tree pollen (19–28 %), containing mainly *Picea obovata* (13–21 %), *Pinus* sec. *Cembra* (2–4 %) and *Pinus sylvestris* (2–4 %). Shrubs (12–21 %) are less frequent in the spectrum and mainly represented by *Betula* type *Nanae* (6–13 %) and *Duschekia* sp. (4–10 %). Grass pollen (7–15 %) are less frequent and contain mainly by Ericales (1–7 %), *Artemisia* sp. (up to 3 %), Cyperaceae (up to 2 %) and various herbs (2–5 %).

Section 2: 0–17 cm. This section is dominated by *Picea obovata*, *Betula* type *Nanae*, *Duschekia* sp. and *Sphagnum* sp. The content of spores (43–51 %) decreases and is represented by *Sphagnum* sp. (29–37 %), Polypodiaceae (4–9 %), Lycopodiaceae (2–5 %). The amount of tree pollen changes slightly (12–28 %), characterized by *Picea obovata* (8–20 %), *Pinus* sec. *Cembra* (1–4 %), *Pinus sylvestris* (1–4 %), *Betula* type *Albae* (up to 2 %). Section 2 contains more shrub pollen (16–29 %), namely *Betula* type *Nanae* (8–14 %), *Duschekia* sp. and *Salix* sp. (6–16 %). Grass pollen account for 9–12

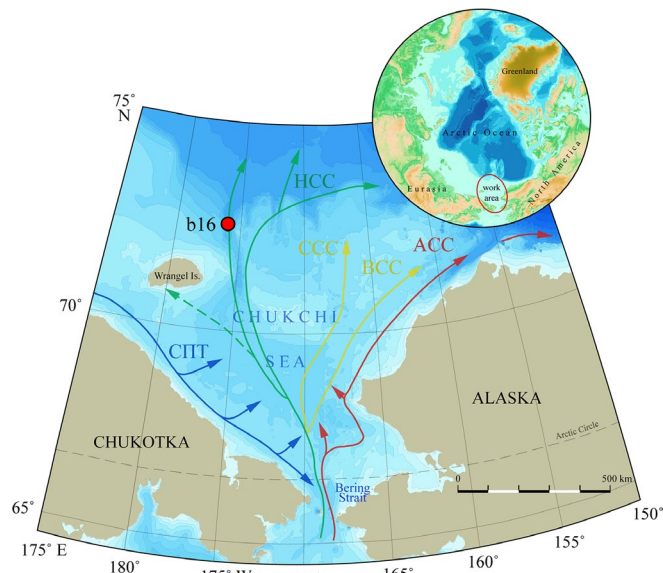


Fig.1. Map of Chukchi Sea with the positions of core b16. The arrows mark main ocean currents within Chukchi Sea according to (Stein et al., 2017): SCC – Siberian Coastal Current, HC – Herald Canyon Current, CC – Central Channel Current, BC – Barrow Canyon Current, ACC – Alaska Coastal Current.

%, including Ericales (1–5 %), Cyperaceae (up to 4 %), *Artemisia* sp. (up to 4 %), Poaceae (up to 2 %) and various herbs (2–4 %).

Up to 1.8 % of redeposited forms of the Neogene age (N) occur throughout the core (*Tsuga* sp., Juglandaceae, *Carya* sp., *Myrica* sp., *Alnus* sp., *Quercus* sp., *Betula* sp. *Corylus* sp., *Ulmus* sp., *Tilia* sp., *Osmunda* sp.) and up to 1 % of forms of the Jurassic (J) and Cretaceous (K) periods (*Cyathidites*-type, *Pinus proto-cembra*, *Gleicheniidites* sp., *Ginkgo* sp., *Cicatricosisporites* sp.) (Fig. 2).

3.2. Results of diatom analysis

The distribution of the most typical diatoms in the sediments of core b16 is presented in Table. 54 taxa of diatoms have been identified. The composition is dominated by planktonic species (61.1 %). The content of neritic species is 30 %, oceanic species – 26 % and sub-littoral species – 18.5 %.

Arctoboreal and subboreal diatoms amount 62.8 % of the total diatom content. Nevertheless, a distinct occurrence can be observed of southern boreal, subtropical and tropical species, as well as redeposited ancient diatoms.

Approximately half of all diatom valves belong to the genus *Chaetoceros* Ehr. (up to 50 %) and the species *Chaetoceros* sp. (up to 28 %). *Coscinodiscus marginatus* Ehr. represents 0.5–8.3 %, *Ch. mitra* (Bailey) Cleve – 1.1–6.2 %. The increased content of diatom species is observed in the lower part of the core (Section 1, Table), where arctoboreal, cold-loving species of the genus *Thalassiosira* dominate: *Th. antarctica*, *Th. hyalina*, as well as *Bacterosira fragilis*, *Coscinodiscus marginatus*, *Actinocyclus* sp., *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl., *Rhizosolenia hebetata* (Bail.) Gran. and numerous representatives of the genus *Chaetoceros*.

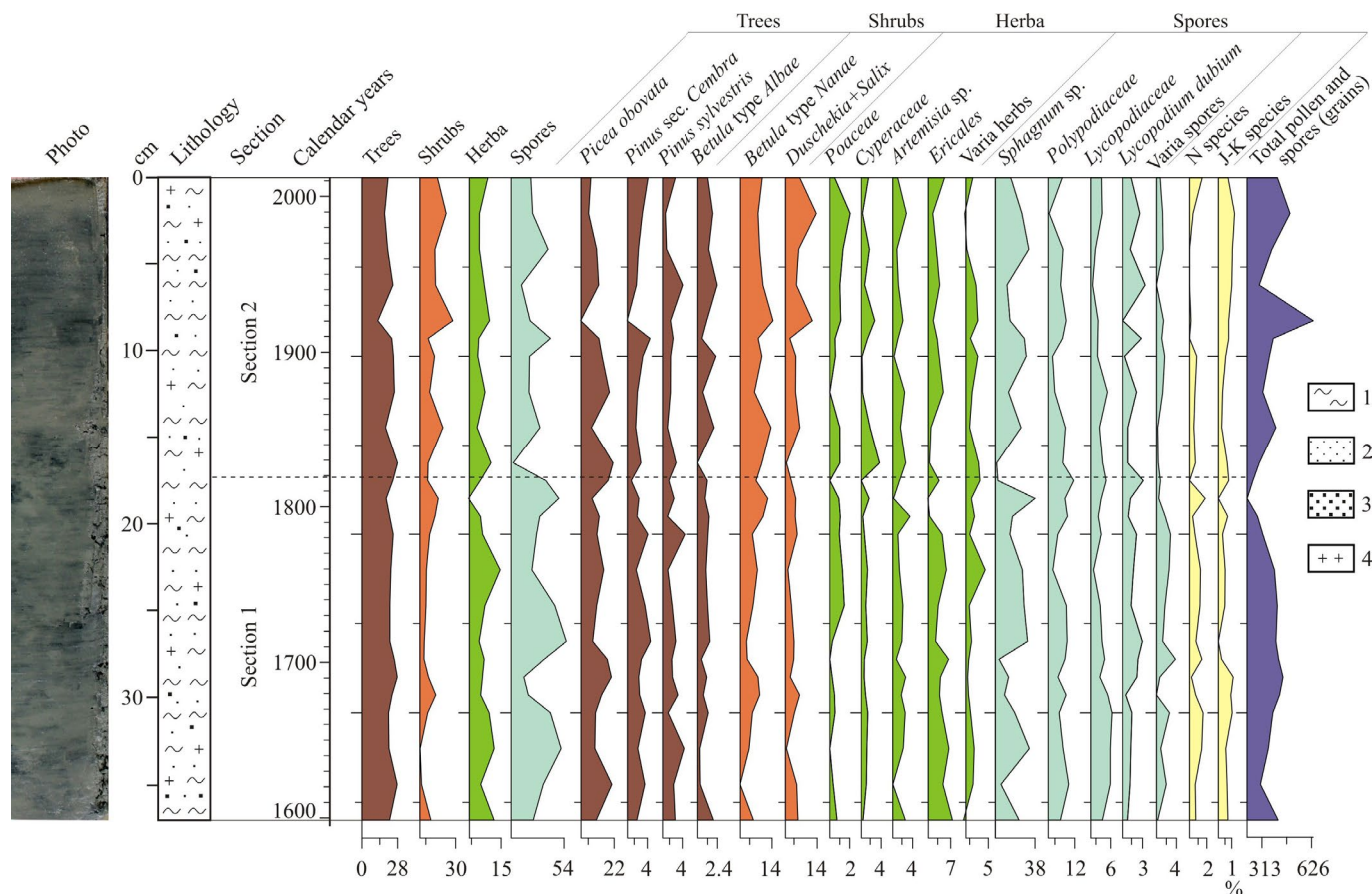


Fig.2. Core b16: photo, lithology and diagram of pollen and spores. Legend of lithology: 1 – clay, 2 – silt, 3 – sand, 4 – diatoms. Note for the diagram: N – Neogene, J-K – Jurassic-Cretaceous.

4. Discussion

The Holocene sediments of the Chukchi Sea consist mainly of material formed by bottom erosion and coastal abrasion (Yashin, 2000). Material from river runoff accounts for not more than 7 %. In the sediments from the northern part of the Chukchi Sea the terrigenous fractions predominate over the biogenic components.

The palynological spectra of sediments from core b16 generally reflect forest-tundra and tundra vegetation, which is widespread along the coasts of the Chukchi Sea including a distinct predominance of pollen of shrubs, herbs and spores. In the lower part of the core, corresponding to the period of LIA, an increase in the content of spores is associated to colder climatic conditions. Re-deposited species of the Jurassic, Cretaceous, and Neogene are observed throughout the entire sediment core (Fig. 2). They derived from coastal abrasion and subsequent transfer by currents. The results are distorted by the significant content of coniferous pollen (especially spruce). Their most likely source is assumed to be by currents from the Bering Sea.

Most of the diatom species observed in the sediments of core b16 (almost 2/3 of the total composition) are characteristic of cold-water conditions at high latitudes. The presence of south boreal, subtropical, and tropical valves is most likely caused by their entry through the Bering Strait (Astakhov et al., 2015; Vologina et al., 2018), facilitated mainly by currents

(Grebmeier et al., 2006). The identification of changes in composition and quantity of pollen, spores and diatoms in the sediments allows a distinction of two stages of sedimentation. Obviously, lower temperatures during cooler environmental conditions throughout LIA prevailed during the time of sedimentation within the lower half of the core. This caused lower biological productivity and lead to the increase of the cold-water species of genus *Thalassiosira* (Table) (Vologina et al., 2018).

The obtained data correlate well with variations in the chemical composition of bottom sediments sampled in the northern part of the Chukchi Sea (Astakhov et al., 2019). The results of palynological and diatom analyzes complement the geochemical data for core b16 and are consistent with the reconstruction of ice conditions in the Arctic over the past 300–400 years (Astakhov et al., 2019).

5. Conclusion

Detailed biostratigraphic analyses of a sediment core from the northern part of the Chukchi Sea allow the reconstruction of environmental conditions during the last 400 years in this part of the Arctic Ocean. The lower section of the core was formed during the cooling period of the Little Ice Age. It is characterized by the deposition of the cold-water diatoms and the increased content of spores of terrestrial plants. The upper core-section represents the time after the end of LIA, when warmer climate conditions prevailed and led

Table. Content of the most frequent species of diatoms in the core b16 (in % of the total number)

Section	Depth, cm	<i>Achnanthes brevipes</i>	<i>Bacterosira fragilis</i>	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Ch. mitra</i>	<i>Chaetoceros</i> (spores)	<i>Nitzschia</i> sp.	<i>Rhizosolenia</i> sp.	<i>Thalassiosira antarctica</i>	<i>Th. hyalina</i>	<i>Th. nordenskiöldii</i>	<i>Thalassionema nitzeioides</i>
2	0–1	3.7	2.6	1.1	12.4	5.7	59.9	4.0	0.15	0.5	0.3	4.0	0.9
	3–4	1.3	1.0	4.1	3.4	1.1	41.7	4.3	1.5	3.2	0.9	1.7	3.0
	5–6	1.8	3.5	2.2	2.4	3.9	47.5	5.1	0.6	2.7	1.1	3.1	3.1
	7–8	1.5	2.3	1.7	5.4	6.2	49.4	3.2	0.8	1.9	0.9	0.6	2.6
	9–10	3.2	1.8	0.9	12.4	5.8	35.1	4.5	0.5	3.6	0.9	0.8	2.2
	11–12	1.1	1.9	2.1	15.5	4.1	41.9	3.2	8.0	3.4	–	1.9	3.4
	13–14	0.7	3.3	1.6	14.9	3.3	44.2	3.6	0.5	3.1	–	2.5	1.1
	15–16	1.4	2.3	0.9	9.2	5.5	49.3	4.3	0.9	1.3	–	2.3	1.1
1	17–18	1.2	2.7	8.3	16.6	4.2	32.3	3.7	2.3	2.1	1.1	0.2	2.7
	19–20	0.7	2.1	1.5	19.3	6.1	42.1	5.3	2.1	0.8	0.2	1.2	2.8
	21–22	1.3	4.2	1.1	22.5	5.3	32.1	3.3	1.7	2.0	0.4	1.6	3.6
	23–24	1.0	2.1	0.7	28.4	4.0	35.6	4.5	1.6	2.0	0.9	1.8	1.4
	25–26	1.5	2.0	1.3	25.1	5.2	29.4	3.3	3.1	4.1	2.5	–	1.3
	27–28	1.3	2.1	1.0	28.0	4.0	27.3	4.1	3.4	3.0	1.3	0.3	2.7
	29–30	0.9	1.3	0.5	14.9	4.3	40.3	2.9	1.6	4.5	0.9	0.2	0.2
	31–32	0.6	1.1	0.5	14.7	2.6	45.1	4.1	2.7	2.6	0.1	1.0	1.5
	33–34	0.3	1.6	0.6	9.8	4.6	45.4	4.0	2.4	3.0	1.0	0.6	2.2
	35–36	0.8	1.6	2.3	10.5	8.4	29.0	3.9	2.6	3.9	1.5	0.3	1.6
	36–37	0.8	1.2	1.1	12.5	2.8	50.1	3.7	1.8	1.2	1.5	0.8	1.2

to a distinct reduction of the cold-water diatoms and spores of terrestrial plants. The appearance of southern boreal, subtropical and tropical diatom species in the sediments of the northern part of the Chukchi Sea is caused by the transfer of Pacific waters through the Bering Strait to the Arctic Ocean. Transport of coniferous pollen and spores to the sediments of the Chukchi Sea occurs mainly by ocean currents and by wind drift from land areas. Coastal abrasion and the subsequent transfer by currents are responsible for Jurassic, Cretaceous and Neogene species of spores and pollen redeposited in the Holocene deposits.

6. Acknowledgments

The authors express gratitude to many colleagues from POI FEB RAS, EAWAG, and IEC SB RAS for the support during the collection of bottom sediments, analytical work, and discussion of the results.

7. Funding

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-27-00098, <https://rscf.ru/>

[en/project/24-27-00098/](https://doi.org/10.1016/j.limnol.2024.05.009). The equipment of the Central Collective Use Center «Geodynamics and Geochronology» of the IEC SB RAS was partially involved in the work.

Conflict of interest

The authors declare no competing interest.

References

- Astakhov A.S., Bosin A.A., Kolesnik A.N. et al. 2015. Sediment geochemistry and diatom distribution in the Chukchi Sea: Application for bioproductivity and paleoceanography. *Oceanography* 28(3): 190–201.
- Astakhov A.S., Vologina E.G., Dar'in A.V. et al. 2018. Influence of global climate changes in past centuries on the chemical composition of bottom sediments in the Chukchi Sea. *Russian Meteorology and Hydrology* 43 (4): 251–257. DOI:[10.3103/S1068373918040064](https://doi.org/10.3103/S1068373918040064)
- Astakhov A.S., Bosin A.A., Liu Yanguang et al. 2019. Reconstruction of ice conditions in the northern Chukchi Sea during recent centuries: geochemical proxy compared with observed data. *Quaternary International* 522: 23–37. DOI:[10.1016/j.quaint.2019.05.009](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.05.009)

Berglund B.E., Ralska-Jasiewiczowa M. 1986. Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. Ed. by Berglund. Interscience, New York.

Brohan P., Kennedy J.J., Harris I. et al. 2006. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new dataset from 1850. *Journal of Geophysical Research* 111: D12106.

Crane K. 2005. Russian-American long-term census of the Arctic. Initial expedition to the Bering and Chukchi Seas. *Arctic Research of the United States* 19: 73–76.

De Vernal A., Hillaire-Marcel C., Darby D.A. 2005. Variability of sea ice cover in the Chukchi Sea (western Arctic Ocean) during the Holocene. *Paleoceanography* 20: PA4018. DOI:[10.1029/2005PA001157](https://doi.org/10.1029/2005PA001157)

Diatoms of the USSR. 1974. In: Proshkina-Lavrenko A.I. (Ed.). Leningrad: Nauka. (in Russian).

Grebmeier J.M., Cooper L.W., Feder H.M. et al. 2006. Ecosystem dynamics of the Pacific influenced Northern Bering and Chukchi Seas in the Amerasian Arctic. *Progress in Oceanography* 71: 331–361.

Obrezkova M.S., Pospelova V., Kolesnik A.N. 2023. Diatom and dinoflagellate cyst distribution in surface sediments of the Chukchi Sea in relation to the upper water masses. *Marine Micropaleontology* 178: 102184. DOI:[10.1016/j.marmicro.2022.102184](https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2022.102184)

Ogorodnikov V.I., Rusanov V.P. 1978. Conditions for accumulation and distribution of amorphous silica in bottom sediments of the Chukchi Sea. *Oceanology* 18(6): 1049–1052.

Saidova H.M. 1994. Ecology of shelf foraminiferal communities and Holocene paleoenvironments of the Bering and Chukchi Seas. Moscow: Nauka.

Stein R., Fahl K., Schade I. et al. 2017. Holocene variability in sea ice cover, primary production, and Pacific-Water

inflow and climate change in the Chukchi and East Siberian Seas (Arctic Ocean). *Journal of Quaternary Science* 32(3): 362–370.

Stone R.S. 1997. Variations in western Arctic temperatures in response to cloud radiative and synoptic-scale influences. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 102(D18): 21769–21776.

Vologina E.G., Kalugin I.A., Daryin A.V. et al. 2018. Late Holocene sedimentation in active geological structures of the Chukchi Sea. *Geodynamics & Tectonophysics* 9(1): 199–219. DOI:[10.5800/GT-2018-9-1-0345](https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-1-0345)

Vologina E.G., Sturm M., Astakhov A.S., Shi Xuefa. 2019. Anthropogenic traces in bottom sediments of Chukchi Sea. *Quaternary International* 524: 86–92. DOI:[10.1016/j.quaint.2019.07.008](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.07.008)

Wilson R., D'Arrigo R., Buckley B. et al. 2007. A matter of divergence: Tracking recent warming at hemispheric scales using tree ring data. *Journal of Geophysical Research* 112: D17103.

Yashin D.S. 2000. Holocene sedimentogenesis of the Arctic seas of Russia. In: *Geological and Geophysical Characteristics of the Lithosphere in the Arctic Region*. Vol 3. Saint Petersburg: VNII Okeangeologiya, pp. 57–67 (in Russian).

Zhuze A.P., Mukhina V.V., Kozlova O.G. 1969. Diatoms and silicoflagellates in the surface layer of sediments of Pacific Ocean. In: *Microflora and microfauna in the modern sediments of the Pacific Ocean*. Moscow: Nauka, pp. 7–47 (in Russian).

Биостратиграфия позднеголоценовых донных осадков из северной части Чукотского моря

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

Вологина Е.Г.^{1,*}, Кулагина Н.В.¹, Черняева Г.П.¹, Штурм М.², Колесник А.Н.³

¹ Институт земной коры СО РАН, ул. Лермонтова, 128, Иркутск, 664033, Россия

² Швейцарский федеральный институт науки и технологии окружающей среды, Überlandstrasse, 133, Dübendorf, 8600, Швейцария

³ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская, 43, Владивосток, 690041, Россия

АННОТАЦИЯ. Целью исследования является изучение процессов современного осадконакопления в акватории Северного Ледовитого океана. Колонка донных осадков (длина – 37 см) была отобрана в северной части Чукотского моря. Аналитические методы включали макроскопическое описание с анализом препаратов-мазков (smear-slides), датирование по ¹³⁷Cs и ²¹⁰Pb, диатомовый и палинологический анализы. Скорость седиментации в точке исследования составила 1 мм/год. Таким образом, изученные отложения накапливались в течение ~ 400 лет, включая Малый ледниковый период. Повышенное содержание холодноводных видов диатомей и спор наземных растений в нижнем слое исследованных осадков характеризуют холодные климатические условия, господствовавшие во время Малого ледникового периода. Наличие юрских, меловых и неогеновых видов спор и пыльцы в голоценовых отложениях свидетельствует о береговой абразии и последующей транспортировке материала течениями к месту отбора керна. Южные, субтропические и тропические виды диатомей в верхней части колонки связаны с их переносом течениями из Тихого океана в Северный Ледовитый океан через Берингов пролив. Результаты биостратиграфических анализов свидетельствуют об изменениях окружающей среды за последние 400 лет, проявленных в донных отложениях из северной части Чукотского моря.

Ключевые слова: Чукотское море, донные отложения, Малый ледниковый период, современное осадконакопление, пыльца, диатомовые водоросли.

Для цитирования: Вологина Е.Г., Кулагина Н.В., Черняева Г.П., Штурм М., Колесник А.Н. Биостратиграфия позднеголоценовых донных осадков из северной части Чукотского моря // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 2. - С. 48-57. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-2-48

1. Введение

Современное потепление климата (Brohan et al., 2006; Wilson et al., 2007) приводит к изменениям природной среды, как на континентах, так и в океанах. Объектом наших исследований является Чукотское море, расположенное между Чукоткой и Аляской и являющееся окраинным морем Северного Ледовитого океана. За последние десятилетия среднегодовая температура воздуха здесь повысилась, что в значительной мере определило сокращение площади ледяного покрова (Stone, 1997; Crane, 2005). Такие изменения находят своё отражение и в вещественном составе донных осадков Чукотского моря (Астахов и др., 2018; Вологина и др., 2018; Astakhov et al., 2019; Vologina et al., 2019).

Отличительной особенностью Чукотского моря по сравнению с другими краевыми морями

Северного Ледовитого океана является достаточно высокая биологическая продуктивность, обусловленная проникновением более теплых тихоокеанских вод через Берингов пролив (Огородников и Русанов, 1978; Grebmeier et al., 2006; Astakhov et al., 2015). Поэтому биостратиграфические методы изучения донных отложений здесь исключительно важны и находят своё широкое применение (Саидова, 1994; de Vernal et al., 2005; Obrezkova et al., 2023).

В статье приводятся данные палинологического и диатомового анализов верхних слоёв донных отложений, отобранных в северной части Чукотского моря, позволяющие лучше понять процессы современного осадконакопления в этом регионе Северного Ледовитого океана.

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: vologina@crust.irk.ru (E.G. Vologina)

Поступила: 08 апреля 2024; Принята: 22 апреля 2024;

Опубликована online: 27 апреля 2024

© Автор(ы) 2024. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



2. Материалы и методы

Осадки были получены во время международной экспедиции на научно-исследовательском судне «Профессор Хромов» в 2012 г. Керн b16 (длина – 37 см) отобран пробоотборником типа «boxcorer» в северной части Чукотского моря на глубине 100 м в точке с координатами 72°32'37.8" N 175°59'42" W (Рис.1). Проведено макроскопическое описание разреза, сопровождаемое просмотром препаратов-мазков (smear-slides) на световом микроскопе марки SK14 (увеличение $\times 100$). Описание препаратов-мазков включало качественную оценку гранулометрического состава осадков, определялось наличие терригенных и биогенных компонентов. Проведено датирование осадков по ^{210}Pb и ^{137}Cs (Вологина и др., 2018; Vologina et al., 2019). Диатомовый и палинологический анализы выполнены с шагом опробования от 1 см до 2 см. Диатомовый анализ проводился по методике, описанной в (Жузе и др., 1969; Диатомовые..., 1974) и результаты были частично опубликованы (Вологина и др., 2018). Техническая обработка проб для палинологического анализа выполнялась по известной методике (Berglund and Ralska-Jasiewiczowa, 1986).

3. Результаты

Отложения, вскрытые керном b16, представлены пелито-алевритами с незначительной примесью песка (Рис.2). Относительно однородный литологический состав свидетельствует о стабильной обстановке седиментации во время их образования. Результаты датирования показывают, что скорость современного осадконакопления в точке отбора колонки b16 составляет около 1 мм/год. Таким образом, осадки являются позднеголоценовыми, их возраст равен примерно 400 лет и соответствует отрезку от Малого ледникового периода (МЛП) с 1600–1850 гг. н.э. до настоящего времени. (Вологина и др., 2018).

3.1. Результаты палинологического анализа

Общее содержание спор и пыльцы в отложениях, вскрытых керном b16, колеблется от 221 до 637 экземпляров (Рис.2). По особенностям состава спектров можно выделить две секции.

Секция 1: 17–37 см. Доминантами являются *Picea obovata* и *Sphagnum* sp. Для интервала характерно большое содержание спор (46–54 %), особенно *Sphagnum* sp. (30–38 %). Пыльца деревьев составляет 19–28 % и представлена главным образом *Picea obovata* (13–21 %), *Pinus* sec. *Cembra* (2–4 %) и *P. sylvestris* (2–4 %). Кустарники (12–21 %) встречаются реже и состоят в основном из *Betula* type *Nanae* (6–13 %) и *Duschekia* sp. (4–10 %). Пыльца трав (7–15 %) представлена главным образом *Ericales* (1–7 %), *Artemisia* sp. (до 3 %), *Cyperaceae* (до 2 %) и разнотравьем (2–5 %).

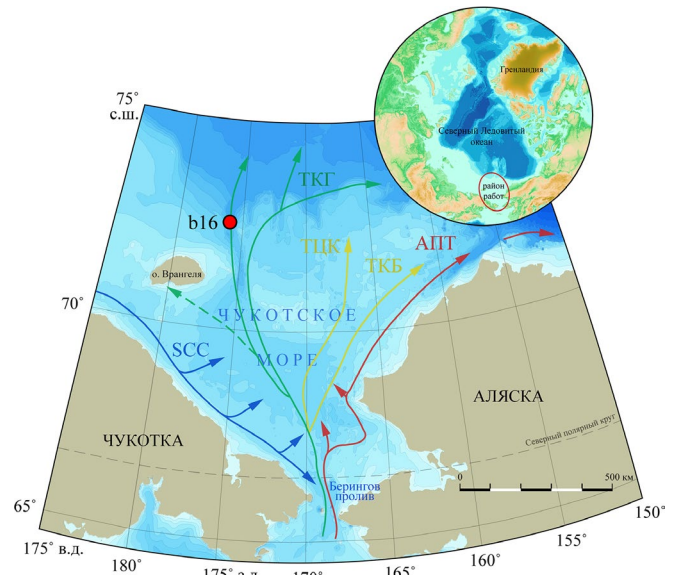


Рис.1. Схема Чукотского моря с точкой отбора колонки b16. Стрелками отмечены основные течения по (Stein et al., 2017): СПТ – сибирское прибрежное течение; ТКГ – течение каньона Геральд; ТЦК – течение центрального канала; ТКБ – течение каньона Барроу; АПТ – Аляскинское прибрежное течение.

Секция 2: 0–17 см. В этой части разреза доминируют *Picea obovata*, *Betula* type *Nanae*, *Duschekia* sp. и *Sphagnum* sp. Содержание спор (43–51 %) снижается и представлено *Sphagnum* sp. (29–37 %), *Polypodiaceae* (4–9 %), *Lycopodiaceae* (2–5 %). Количество пыльцы деревьев меняется незначительно (12–28 %). Характерны *Picea obovata* (8–20 %), *Pinus* sec. *Cembra* (1–4 %), *Pinus sylvestris* (1–4 %), *Betula* type *Albae* (до 2 %). В спектрах отмечается больше пыльцы кустарников (16–29 %), а именно *Betula* type *Nanae* (8–14 %), *Duschekia* sp. и *Salix* sp. (6–16 %). На пыльцу трав приходится 9–12 %, в том числе *Ericales* (1–5 %), *Cyperaceae* (до 4 %), *Artemisia* sp. (до 4 %), *Poaceae* (до 2 %) и различных трав (2–4 %).

По всей колонке встречается до 1.8 % переложных форм неогенового возраста (*Tsuga* sp., *Juglandaceae*, *Carya* sp., *Myrica* sp., *Alnus* sp., *Quercus* sp., *Betula* sp., *Corylus* sp., *Ulmus* sp., *Tilia* sp., *Osmunda* sp.) и до 1 % форм юрского и мелового периодов (*Cyathidites*-type, *Pinus protocebra*, *Gleicheniidites* sp., *Ginkgo* sp., *Cicatricosisporites* sp.) (Рис.2).

3.2. Результаты диатомового анализа

Распределение наиболее типичных диатомей в отложениях колонки b16 представлено в Таблице. Всего выявлено 54 таксона диатомей. В видовом составе преобладают планктонные формы (61.1 %). Содержание неритических видов составляет 30 %, океанических – 26 % и сублиторальных – 18.5 %.

Арктобореальные и суббореальные виды достигают 62.8 % от общего содержания диатомей. Отмечается присутствие южнобореальных, субтропических и тропических видов, а также переложных древних диатомей.

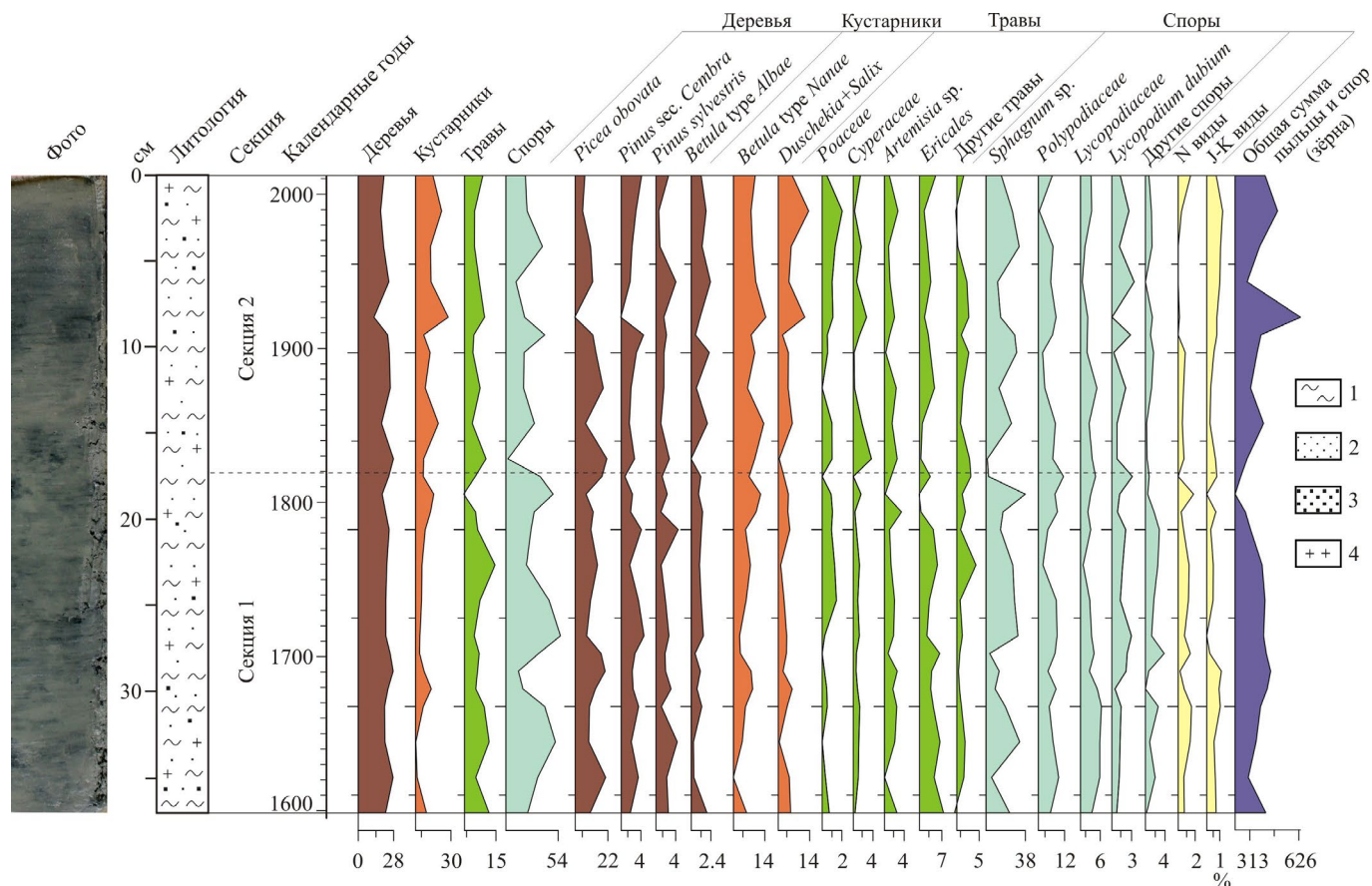


Рис.2. Керн b16: фотография, литология и спорово-пыльцевая диаграмма. Условные обозначения к литологической колонке: 1 – пелит, 2 – алевроит, 3 – песок, 4 – диатомеи. Примечание к спорово-пыльцевой диаграмме: N – неоген, J-K – юра-мел.

Около половины всех створок приходится на споры рода *Chaetoceros* Ehr. (до 60 %) и виды *Chaetoceros* sp. (до 28 %). Доля *Coscinodiscus marginatus* Ehr. составляет 0.5–8.3 %, *Ch. mitra* (Bailey) Cleve – 1.1–8.4 %. Повышенное содержание створок большинства видов отмечается в нижней части колонки (Секция 1, Таблица), где доминируют арктобореальные, холодолюбивые виды рода *Thalassiosira*: *Th. antarctica*, *Th. hyalina*, а также *Bacterosira fragilis*, *Coscinodiscus marginatus*, *Actinocyclus* sp, *Paralia sulcata* (Ehr.) Cl., *Rhizosolenia hebetata* (Bail.) Gran. и многочисленные представители рода *Chaetoceros*.

4. Обсуждение

Голоценовые осадки Чукотского моря состоят преимущественно из материала, образованного за счёт размыва дна и абразии берегов (Яшин, 2000). На речной сток приходится не более 7 %. В отложениях северной части Чукотского моря терригенные фракции преобладают над биогенными компонентами.

В палинологических спектрах осадков колонки b16 в целом отражена лесотундровая и тундровая растительность, распространённая на побережье Чукотского моря. Отмечается преобладание пыльцы кустарников, трав и спор. В нижней части разреза, соответствующей по времени МЛП, наблюдается повышение содержания спор, что,

вероятно, связано с более холодными климатическими условиями. По всему разрезу встречаются переотложенные виды юры, мела и неогена (Рис.2), указывающие на береговую абразию и последующий перенос течениями. Результаты анализа искажены существенным содержанием пыльцы хвойных пород (особенно ели), наиболее вероятным способом привноса которых являются течения из Берингова моря.

Подавляющее большинство диатомей, наблюдаемых в донных осадках колонки b16 (почти 2/3 всего видового состава), характерно для холодных вод высоких широт. Присутствие южнобореальных, субтропических и тропических видов связано, по всей вероятности, с их транспортировкой через Берингов пролив (Astakhov et al., 2015; Вологина и др., 2018), чему способствуют основные течения (Grebmeier et al., 2006). Изменения видового состава и количественного содержания створок в осадках, позволяют выделить два этапа осадконакопления. Во время формирования отложений нижней половины разреза были, без сомнения, более низкие температуры. Это вызвало снижение биологической продуктивности и привело к увеличению численности холодолюбивых видов рода *Thalassiosira* (Таблица) (Вологина и др., 2018).

Полученные материалы хорошо соотносятся с вариациями химического состава донных отложений, отобранных в северной части Чукотского

Таблица. Содержание наиболее часто встреченных видов диатомей в колонке b16 (в % от общего количества)

Секция	Глубина, см	<i>Achnanthes brevipes</i>	<i>Bacterosira fragilis</i>	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Ch. mitra</i>	<i>Chaetoceros</i> (споры)	<i>Nitzschia</i> sp.	<i>Rhizosolenia</i> sp.	<i>Thalassiosira antarctica</i>	<i>Th. hyalina</i>	<i>Th. nordenskiöldii</i>	<i>Thalassionema nitzschioides</i>
2	0–1	3.7	2.6	1.1	12.4	5.7	59.9	4.0	0.15	0.5	0.3	4.0	0.9
	3–4	1.3	1.0	4.1	3.4	1.1	41.7	4.3	1.5	3.2	0.9	1.7	3.0
	5–6	1.8	3.5	2.2	2.4	3.9	47.5	5.1	0.6	2.7	1.1	3.1	3.1
	7–8	1.5	2.3	1.7	5.4	6.2	49.4	3.2	0.8	1.9	0.9	0.6	2.6
	9–10	3.2	1.8	0.9	12.4	5.8	35.1	4.5	0.5	3.6	0.9	0.8	2.2
	11–12	1.1	1.9	2.1	15.5	4.1	41.9	3.2	8.0	3.4	–	1.9	3.4
	13–14	0.7	3.3	1.6	14.9	3.3	44.2	3.6	0.5	3.1	–	2.5	1.1
	15–16	1.4	2.3	0.9	9.2	5.5	49.3	4.3	0.9	1.3	–	2.3	1.1
1	17–18	1.2	2.7	8.3	16.6	4.2	32.3	3.7	2.3	2.1	1.1	0.2	2.7
	19–20	0.7	2.1	1.5	19.3	6.1	42.1	5.3	2.1	0.8	0.2	1.2	2.8
	21–22	1.3	4.2	1.1	22.5	5.3	32.1	3.3	1.7	2.0	0.4	1.6	3.6
	23–24	1.0	2.1	0.7	28.4	4.0	35.6	4.5	1.6	2.0	0.9	1.8	1.4
	25–26	1.5	2.0	1.3	25.1	5.2	29.4	3.3	3.1	4.1	2.5	–	1.3
	27–28	1.3	2.1	1.0	28.0	4.0	27.3	4.1	3.4	3.0	1.3	0.3	2.7
	29–30	0.9	1.3	0.5	14.9	4.3	40.3	2.9	1.6	4.5	0.9	0.2	0.2
	31–32	0.6	1.1	0.5	14.7	2.6	45.1	4.1	2.7	2.6	0.1	1.0	1.5
	33–34	0.3	1.6	0.6	9.8	4.6	45.4	4.0	2.4	3.0	1.0	0.6	2.2
	35–36	0.8	1.6	2.3	10.5	8.4	29.0	3.9	2.6	3.9	1.5	0.3	1.6
	36–37	0.8	1.2	1.1	12.5	2.8	50.1	3.7	1.8	1.2	1.5	0.8	1.2

моря (Astakhov et al., 2019). Результаты палинологического и диатомового анализов дополняют геохимические данные для керна b16 и согласуются с реконструкцией ледовой обстановки в Арктике за последние 300–400 лет (Astakhov et al., 2019).

5. Заключение

Проведено детальное биостратиграфическое исследование колонки донных отложений, отобранной в северной части Чукотского моря, что позволило реконструировать условия осадконакопления в этой части Северного Ледовитого океана за последние 400 лет. Нижняя часть разреза образовалась во время Малого ледникового периода. Для неё характерны холодноводные диатомей и повышенное содержание спор наземных растений. В осадках верхней части колонки, накопленных после окончания МЛП, когда преобладали более теплые климатические условия, отмечается заметное сокращение холодноводных диатомей и спор наземных растений. Наличие южнобореальных, субтропических и тропических видов диатомей в отложениях северной части Чукотского моря обусловлено пере-

носом тихоокеанских вод через Берингов пролив в Северный Ледовитый океан. Транспортировка пыльцы хвойных пород и спор в район исследования осуществляется преимущественно океаническими течениями и ветром. Поступление форм юрского, мелового и неогенового возрастов в голоценовые осадки Чукотского моря происходит, вероятно, в результате абразии берегов и последующего их переноса течениями.

6. Благодарности

Авторы выражают благодарность коллегам из ТОИ ДВО РАН, ЕАВВГ и ИЗК СО РАН за помощь в отборе донных отложений, аналитическую работу и обсуждение результатов.

7. Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00098, <https://rscf.ru/project/24-27-00098/>. В работе частично задействовались оборудование ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

Астахов А.С., Вологина Е.Г., Дарьин А.В. и др. 2018. Отражение глобальных климатических изменений последних столетий в химическом составе донных осадков Чукотского моря. *Метеорология и гидрология* 4: 68–76.

Вологина Е.Г., Калугин И.А., Дарьин А.В. и др. 2018. Позднеголоценовое осадконакопление в активных геологических структурах Чукотского моря. *Геодинамика и тектонофизика* 9(1): 199–219. DOI:[10.5800/GT-2018-9-1-0345](https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-1-0345)

Диатомовые водоросли СССР. 1974. Прошкина-Лавренко А.И. Л.: Наука.

Жузе А.П., Мухина В.В., Козлова О.Г. 1969. Диатомеи и силикофлагелляты в поверхностном слое осадков Тихого океана. В кн.: *Микрофлора и микрофауна в современных осадках Тихого океана*. М.: Наука, сс. 7–47.

Огородников В.И., Русанов В.П. 1978. Условия накопления и распределение аморфного кремнезема в донных осадках Чукотского моря. *Океанология* 18(6): 1049–1052.

Саидова Х.М. 1994. Экология шельфовых сообществ фораминифер и палеосреда голоцена Берингова и Чукотского морей. М.: Наука.

Яшин Д.С. 2000. Голоценовый седиментогенез арктических морей России. Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. Вып. 3. СПб.: ВНИИОкеангеология, сс. 57–67.

Astakhov A.S., Bosin A.A., Kolesnik A.N. et al. 2015. Sediment geochemistry and diatom distribution in the Chukchi Sea: Application for bioproductivity and paleoceanography. *Oceanography* 28(3): 190–201.

Astakhov A.S., Bosin A.A., Liu Yanguang et al. 2019. Reconstruction of ice conditions in the northern Chukchi Sea during recent centuries: geochemical proxy compared with observed data. *Quaternary International* 522: 23–37. DOI: [10.1016/j.quaint.2019.05.009](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.05.009)

Berglund B.E., Ralska-Jasiewiczowa M. 1986. *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Ed. by Berglund. Interscience, New York.

Brohan P., Kennedy J.J., Harris I. et al. 2006. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new dataset from 1850. *Journal of Geophysical Research* 111: D12106.

Crane K. 2005. Russian-American long-term census of the Arctic. Initial expedition to the Bering and Chukchi Seas. *Arctic Research of the United States* 19: 73–76.

De Vernal A., Hillaire-Marcel C., Darby D.A. 2005. Variability of sea ice cover in the Chukchi Sea (western Arctic Ocean) during the Holocene. *Paleoceanography* 20: PA4018. DOI:[10.1029/2005PA001157](https://doi.org/10.1029/2005PA001157)

Grebmeier J.M., Cooper L.W., Feder H.M. et al. 2006. Ecosystem dynamics of the Pacific influenced Northern Bering and Chukchi Seas in the Amerasian Arctic. *Progress in Oceanography* 71: 331–361.

Obrezkova M.S., Pospelova V., Kolesnik A.N. 2023. Diatom and dinoflagellate cyst distribution in surface sediments of the Chukchi Sea in relation to the upper water masses. *Marine Micropaleontology* 178: 102184. DOI: [10.1016/j.marmicro.2022.102184](https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2022.102184)

Stein R., Fahl K., Schade I. et al. 2017. Holocene variability in sea ice cover, primary production, and Pacific-Water inflow and climate change in the Chukchi and East Siberian Seas (Arctic Ocean). *Journal of Quaternary Science* 32(3): 362–370.

Stone R.S. 1997. Variations in western Arctic temperatures in response to cloud radiative and synoptic-scale influences. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 102(D18): 21769–21776.

Vologina E.G., Sturm M., Astakhov A.S., Shi Xuefa. 2019. Anthropogenic traces in bottom sediments of Chukchi Sea. *Quaternary International* 524: 86–92. DOI: [10.1016/j.quaint.2019.07.008](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.07.008)

Wilson R., D'Arrigo R., Buckley B. et al. 2007. A matter of divergence: Tracking recent warming at hemispheric scales using tree ring data. *Journal of Geophysical Research* 112: D17103.