Краткое сообщение

Биостратиграфия позднеголоценовых донных осадков из северной части Чукотского моря

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 ^{137}Cs и ^{210}Pb, 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 x 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 %).

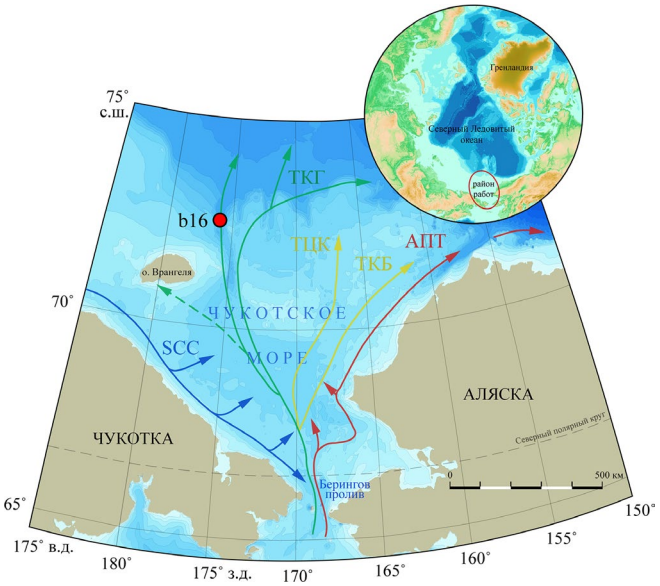

Рис.1. Схема Чукотского моря с точкой отбора колонки b16. Стрелками отмечены основные течения по (Stein et al., 2017): СПТ – сибирское прибрежное течение; ТКГ – течение каньона Геральд; ТЦК – течение центрального канала; ТКБ – течение каньона Барроу; АПТ – Аляскинское прибрежное течение.

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 % переотложенных 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 protocembra, 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 переотложенных древних диатомей.

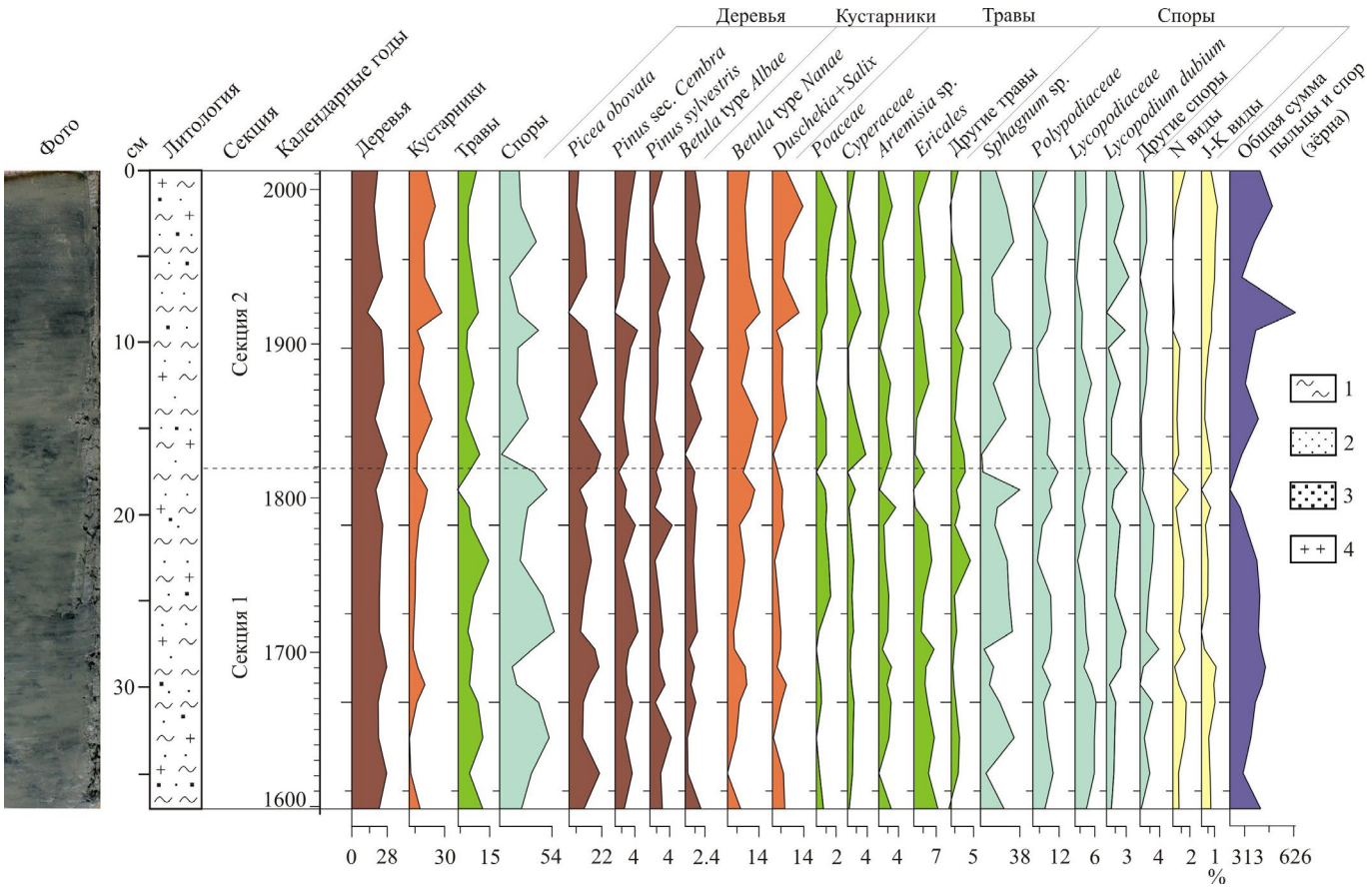

Рис.2. Керн b16: фотография, литология и спорово-пыльцевая диаграмма. Условные обозначения к литологической колонке: 1 – пелит, 2 – алеврит, 3 – песок, 4 – диатомеи. Примечание к спорово-пыльцевой диаграмме: N – неоген, J-K – юра-мел.

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	*Achnanthes brevipes*	*Bacterosira fragilis*	*Coscinodiscus marginatus*	*Chaetoceros* sp.	Ch. mitra	*Chaetoceros* (споры)	*Nitzschia* sp.	*Rhizosolenia* sp.	*Thalassiosira antarctica*	*Th. hyalina*	*Th. nordenskioeldii*	*Thalassionema nitzsehioides*
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 диатомеи 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 переносом 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, EAWAG 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 задействовалось 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

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

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

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

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

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.