

doi: 10.24412/2687-1092-2024-11-261-268



К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЯХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ И МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПОБЕРЕЖЬЯ БЕРИНГОВА МОРЯ

✉ Носевич Е.С.¹, Шведов С.Д.¹, Сергеев А.Ю.¹

¹ ФГБУ «Институт Карпинского», Санкт-Петербург, Россия

✉ Ekaterina_Nosevich@karpinskyinstitute.ru

Нами проведено изучение разрезов континентальных отложений Чукотского полуострова и донных морских отложений на прилегающей акватории Берингова моря. Для корректной интерпретации результатов работ и получения палеоклиматических данных также были исследованы поверхностные пробы моря и суши региона. По результатам палинологического анализа отложений были получены сведения о динамике растительности в регионе, а также выполнены количественные реконструкции палеотемператур. Предварительное исследование поверхностных проб позволило определить наиболее подходящие методики расчета температур. Установлено, что при отсутствии крупных источников сноса и придонных течений спорово-пыльцевые спектры донных морских отложений могут в высокой степени коррелировать с палиноспектрами суши и также использоваться для построения палеогеографических выводов.

Ключевые слова: *голоцен, плейстоцен, донные отложения, метод Гричука, Чукотский полуостров*

Побережье Берингова моря, несмотря на длительную историю исследований как отечественными [Жузе, 1962; Баранова, Бискэ, 1964], так и зарубежными учеными [Wang, 2024] остается одним из малоизученных и труднодоступных регионов Российской Арктики.

В 2021 году в рамках работ ФГБУ «Институт Карпинского» по изучению геологического строения акваториальной части в пределах листов геологической карты Q-1 и Q-2 проходил рейс НИС «Иван Киреев», в ходе которого были отобраны более 60 м керн донных морских отложений, а также более 80 поверхностных проб. Одновременно, в 2021 – 2022 годах проходили полевые работы на Чукотском полуострове, в континентальной части листов Q-1 и Q-2, которые позволили получить материалы для исследования из нескольких разрезов.

С точки зрения палинологического анализа наибольший интерес представляла собой возможность сопоставления результатов исследований разрезов суши и морских донных осадков, находящихся на расстоянии первых десятков километров друг от друга, а также решение для этой территории вопроса о возможности и правомерности применения к полученным данным каких-либо методик реконструкции палеоклиматических событий.

Лабораторные работы по палинологическому анализу были начаты в 2024 году. В первую очередь были изучены 24 поверхностные пробы (рис. 1), отбирившиеся в морских донных отложениях Анадырского залива, залива Креста и бухты Провидения. Субрецентные поверхностные пробы (18 образцов), приуроченные к сухопутным исследованиям, были отобраны на участке территории между Анадырским заливом Берингова моря и Колочинской губой Чукотского моря.

Лабораторная обработка полученного материала производилась по расширенной методике В. П. Гричука. Бескарбонатный осадок разрушался пирофосфатом натрия и центрифугировался в тяжелой жидкости ГПС-В удельным весом 2,30 г/см³. Из отмытого от реагентов образца изготавливались препараты для изучения под микроскопом. Полученные образцы изучались под микроскопом Olympus CX31P, фотографии препаратов получены с помощью камеры Zeiss 105 Axiocam color. В качестве

дополнительного пособия для определения пыльцы и спор были использованы определители Л.А. Куприяновой, Л.А. Алешиной (1978 г.), О. А. Покровской (1950 г.), J. Webb, P. Moore (1995 г.). Для построения диаграмм использовалась программа Tilia (E. Grimm, ver.3.7). За 100% принималось содержание пыльцы древесных и трав.

В палинологических спектрах суши доминирует пыльца трав, содержание которой достигает 76%. Преобладают пыльца Poaceae и Cyperaceae, однако присутствуют также Fabaceae, Chenopodiaceae, Caryophyllaceae и Brassicaceae. В группе пыльцы древесных, к которой также отнесена пыльца кустарников и кустарничков, выделяется в первую очередь *Betula nana*, однако значительно представлена также пыльца *Pinus sect. Diploxylon*, *Pinus sect. Haploxylon* и *Picea*. Замечены споры *Lycopodium pungens*, *Lycopodium selago* и Bryales. Палиноспектры донных поверхностных проб морских отложений неожиданно показали высокую степень сходства с субрецентными спорово-пыльцевыми спектрами суши. Древесные в пробах морских осадков составляют до 56%, однако значительная часть приходится на *Betula nana*. Также более существенно представлена пыльца *Betula* и *Betula costata*, однако содержание пыльцы хвойных, в частности, *Pinus sect. Diploxylon*, лишь незначительно превышает ее содержание в субрецентных пробах суши, а количество пыльцы *Picea* в морских осадках ниже. Пыльца трав в палиноспектрах морских осадков в основном также представлена Poaceae Chenopodiaceae, Caryophyllaceae, присутствуют Rosaceae. Заметны споры Bryales, *Equisetum* и *Lycopodium*.

Данные палинологические спектры не в полной мере отражают растительность региона [Матвеева, 2015], в структуре которой преобладает кустарничково-травяная арктотундровая флора лишь с небольшим участием кустарников и древесных, составляющих не более 3-5% от проективного покрытия в регионе. Палиноспектры поверхностных проб свидетельствуют о существовании сообществ кустарничковых тундр, которые обычно развиваются в более теплых климатических условиях. По всей видимости, в формировании спорово-пыльцевых спектров суши неблагоприятную роль играет ветровой занос с юга и юго-запада региона. В целом незначительные отличия палиноспектров поверхностных донных отложений от спектров суши могут объясняться тем, что, в отсутствие стока крупных рек или крупных придонных течений в регионе исследования, в наибольшей степени они сформированы под влиянием поверхностного стока, а участие ветрового заноса для спектров морских отложений оказывается небольшим.

Фактические среднегодовые температуры, рассчитанные по данным метеорологических наблюдений на станциях Провиденция и Эгвекинот за последние 20 лет, составляют $-2,6^{\circ}$ - $(-3,8)^{\circ}$ С. К палинологическим спектрам современных поверхностных проб были применены методики расчета палеоклиматических характеристик (табл.1) по методу Гричука [1969, 1985], методом лучшим аналогов [Nakagawa et al., 2002] и математическим аппаратом метода Coexistence approach [Mosbrugger, Utescher, 1997].

По результатам проведенного эксперимента было установлено, что более точные показатели температуры могут быть рассчитаны с применением методики расчетов Coexistence approach и методам Гричука. Поскольку для исследования были доступны субрецентные палиноспектры континентальной части региона, дающие меньшие невязки, они были приняты за реперные образцы. Однако, необходимо отметить, что в отсутствие этих материалов образцы донных морских проб также могли бы использоваться с внесением небольшой дополнительной поправки.

Для палеогеографических реконструкций были отобраны 2 разреза.

Таблица 1. Расчет климатических характеристик для палиноспектров поверхностных проб

	Метод Гричука	Метод лучших аналогов	Метод Coexistence approach
Среднегодовые температуры для суши, °С	-1,5 – (-2,2)	-0,1 – (-1,1)	-1,7 – (-2,4)
Разница с фактическими показателями для суши, °С	1,1 – 1,6	2,5	0,9 – 1,4
Среднегодовые температуры для акватории, °С	-0,8 – (-1,9)	0,1 – (-1,0)	-1,2 – (-2,2)
Разница с фактическими показателями для акватории, °С	1,8 – 1,9	2,7 – 2,8	1,4 – 1,6

Разрез 1157 (64° 57' 11" с.ш., 174° 1' 7.5" з.д., 115 над у. м.) был отобран на левом берегу реки Чаатамье, в береговом обрыве серией из 10 расчисток была вскрыта толща отложений мощностью 18,5 м. Для разреза получены радиоуглеродные и OSL даты, которые, к сожалению, не коррелируют друг с другом. Радиоуглеродный возраст подошвы разреза оценивается в 38 – 42 тыс. кал. л.н. (IntCal 20, RGI-378), а OSL-метод датирует отложения того же уровня в 17,2±2,0 тыс. л.н. (RGI-1271). Для палинологического анализа в разрезе было взято 24 образца.

По результатам изучения были выделены 3 палинозоны.

Палинозона 1 выделена в переслаивающихся мелкозернистых песках с прослоями глин и растительным детритом и с линзами органического вещества. Во всех препаратах встречены цисты колониальных водорослей и отмечены единичные споры грибов. Замечены мелкие частицы угля. Во всех препаратах представлены переотложенные формы пыльцы и спор. Среди них определены *Juglans* и *Pterocarya* плохой сохранности, что позволяет с долей условности предполагать, что в толще отмечены переотложения верхнеэоценового возраста. В спорово-пыльцевых спектрах преобладают травы (до 79%), среди которых доминируют Poaceae (до 38%) и Cyperaceae (до 17,5%). Присутствуют Saxifragaceae (до 5,0%), отмечены *Draba* и *Oxyria*, а также *Ericaceae*. Присутствуют виды аркто-тундрового разнотравья. Древесные и кустарники (до 34%) представлены преимущественно *Betula nana* (до 12,5%), *Alnaster* (до 5%) и *Salix* (до 12%). Выделены *Pinus pumila* (до 10%) и единичные *Larix* хорошей сохранности. *Pinus* немногочисленны и имеют плохую сохранность. Среди спор преобладают *Lycopodium selago* и *Sphagnum*.

В палинозоне 2, выделенной в алевритистых песках с линзами органического вещества содержание пыльцы древесных возрастает до 43%, но на *Betula nana* приходится до 19,5%, а также до 8% – на пыльцу *Pinus pumila*. До 5,5% составляют *Pinus sibirica*, до 3,5% – *Pinus sylvestris*. Присутствуют *Larix* и *Betula* (до 2%). Среди трав (до 63%) также преобладают Poaceae (до 19%), возрастает содержание пыльцы Asteraceae (до 6%). Caryophyllaceae и Chenopodiaceae достигают 5%. Отмечены Lamiaceae и *Valeriana*. Среди спор выделяются *Lycopodium selago*, Polyodiaceae и *Equisetum*. В небольших количествах в образцах присутствуют частицы угля, отмечены цисты колониальных водорослей, обломки *Pediastrum*, и споры грибов. Переотложенных форм не наблюдается.

В палинозоне 3, приуроченной к переслаивающимся алевритам и пескам, содержание древесных достигает 63%. Доминируют *Pinus sylvestris* (до 18%), *Betula* (до 11,5%) и *Betula nana* (до 10%). Также значительна пыльца *Pinus sibirica* (до 9%) и *Picea* (до 10%), при этом *Alnaster* не превышает 4,5%. Среди трав (до 51%) преобладают Asteraceae (до 6%) и другие представители тундрового разнотравья, например, Chenopodiaceae (до 4%), *Saxifraga oppositifolia* (до 4%), Polygonaceae (до 2%), а также *Papaver* и *Valeriana*. Споры разнообразны, можно выделить *Equisetum*, Polyodiaceae, *Botrychium* и *Lycopodium selago*. Палиноморфы в образцах представлены крупными частицами угля, спорами грибов, единичными обломками фаунистических останков (фрагменты яиц) и единичными цистами пресноводных динофлагеллят.

Таким образом, в палиноспектрах разреза 1157 отмечается динамика растительного покрова. Палинозона 1, вероятно, соответствует существованию аркто-тундровой растительности. В палинозоне 2 происходит увеличение содержания пыльцы древесных пород, что говорит о постепенно смягчающемся климате, и в палинозоне 3 отмечены оптимальные для развития растительности условия по разрезу. В палинозоне 3 большое количество пыльцы хвойных хорошей сохранности может указывать на формирование лесотундровой растительности.

В качестве второго разреза для проведения палеоклиматических реконструкций была выбрана колонка донных морских отложений 21Бер-14т (65°17'18" с. ш., 171°55'53" з.д.) как одна из наиболее представительных. Керн был взят с помощью вибротрубы длиной 3 метра на глубине 26 м. На интервале 0,4-3,0 м вскрыты серо-зеленые алевроглины, в нижней части обогащенные раковинным детритом, на интервале 0,0 – 0,4 м наблюдались темно-серые песчано-глинистые алевриты с раковинами до 5 мм в поперечнике. Из колонки было отобрано 32 образца без промежутков.

В палинозоне 1 (1,90 – 2,86 м) во всех препаратах отмечены палиноморфы: цисты водорослей и морских динофлагеллят, большое количество крупных частиц угля и обломки панцирей фауны. Встречено большое количество переотложенных древних форм. Пыльца древесных составляет до 40%. Преобладают *Betula nana* (до 15%) и *Alnaster* (до 10%), присутствуют *Betula costata* (до 5 %) и *Betula* (до 5%), а также *Pinus* (до 7%). Отмечены *Pinus pumila* (до 3%) и единично – *Abies* и *Picea*. Также единично отмечена пыльца *Caprifoliaceae*. Травы (до 57%) представлены в основном пыльцой *Poaceae* (до 22%), *Cyperaceae* (до 19%), *Ericaceae* (до 10,5%), замечена пыльца *Saxifragaceae* (до 4%). Среди спор выделяются *Lycopodium selago* и *Bryales*.

Палиноспектры палинозоны 2 (0,95 – 1,90 м) характеризуются высокой концентрацией и хорошей сохранностью форм. Древесные достигают 42%, отмечена пыльца *Betula nana* (до 20%), *Betula costata* (до 4%) и *Alnaster* (до 8%). Заметны *Pinus* (до 9%) и *Pinus pumila* (до 2%), единично встречена пыльца *Betula*, *Picea* и *Larix*. Преобладает пыльца трав (до 65%), среди которых доминируют *Poaceae* (до 32%), присутствуют *Brassicaceae* (до 7%), *Asteraceae* (до 6%) и *Polygonaceae* (до 5%); пыльца *Cyperaceae* не превышает 8%. Споры представлены в основном *Polypodiaceae* и *Lycopodium selago*.

В спорово-пыльцевых спектрах палинозоны 3 (0,4 – 0,95) древесные составляют до 60%. Доминирует пыльца *Betula nana* (до 25%), *Pinus* (до 15%) и *Betula* (до 12%), присутствуют *Picea* и *Abies*. Среди трав (до 55%) преобладает пыльца *Cyperaceae* (до 20%), *Poaceae* (до 11%), *Asteraceae* (до 8%), а также *Caryophyllaceae* (до 5%). Отмечены *Polemonium* и *Geraniaceae*. Споры представлены *Lycopodium pungens*, *Lycopodium selago* и *Bryales*. Также отмечены крупные частицы угля и цисты морских и пресноводных динофлагеллят.

Палиноспектры палинозоны 4 (0,0 – 0,4 м) отличаются высоким содержанием трав (до 85%), среди которых доминирует пыльца *Poaceae* (до 40%) и *Cyperaceae* (до 20%), а также *Asteraceae* (до 8%) и *Chenopodiaceae* (до 8%). Древесные и кустарники (до 18%) представлены преимущественно пыльцой *Betula nana* (до 14%) и *Salix* (до 8%). Выделены *Pinus pumila* (до 3%). *Pinus* и *Picea* представлены единично. Среди спор преобладают *Lycopodium selago* и *Sphagnum*.

В палиноспектрах зон 1 – 3 зафиксировано последовательное увеличение содержания пыльцы древесных, в которых постепенно возрастает содержание пыльцы хвойных и карликовой березы, что приближает данные спорово-пыльцевые спектры к палиноспектрам лесотундровой зоны. Также постепенно возрастает разнообразие представленных трав, среди которых встречаются бореальные элементы. Однако, в палинозоне 4, по всей вероятности, отражается резкое похолодание, выраженное в преобладании пыльцы трав и в целом – воспроизводимом облике арктотундровой растительности.

Для разреза 1157 и колонки донных морских отложений 21Бер-14т были применены методы палеоклиматических реконструкций (табл. 2). Так как выявленная на примере поверхностных проб невязка показывает, что обе методики подсчета имеют тенденцию к завышению температуры, поправка вносилась отрицательная.

Таблица 2. Палеотемпературы, рассчитанные по палинологическим данным для разреза 1157 и колонки 21Бер-14 т

Разрез 1157					Колонка 21Бер-14т				
	Метод Гричука, °С	С поправкой, °С	Coexistence approach, °С	С поправкой, °С		Метод Гричука, °С	С поправкой, °С	Coexistence approach, °С	С поправкой, °С
ПЗ 3	(-0,5) – (-1,4)	(-1,6) – (-3,0)	(-1,1) – (-1,9)	(-2,0) – (-3,3)	ПЗ4	(-4,0) – (-4,4)	(-5,1) – (-6,0)	(-4,3) – (-4,6)	(-5,2) – (-6,0)
ПЗ 2	(-1,2) – (-2,0)	(-2,3) – (-3,6)	(-2,0) – (-2,7)	(-2,9) – (-4,9)	ПЗ 3	0,5 – (-0,1)	(-0,6) – (-1,7)	0,3 – (-0,3)	(-0,6) – (-1,7)
ПЗ 1	(-4,2) – (-4,8)	(-5,3) – (-6,4)	(-4,5) – (-5,1)	(-5,4) – (-6,5)	ПЗ 2	0,0 – (-0,5)	(-1,1) – (-2,1)	0,0 – (-0,7)	(-0,9) – (-2,1)
					ПЗ 1	(-0,9) – (-1,4)	(-2,0) – (-3,0)	(-1,4) – (-2,3)	(-2,3) – (-3,7)

Таким образом, нами предпринята одна из первых попыток провести количественные палеоклиматические реконструкции для разных типов отложений Берингоморского региона. Начатые исследования нуждаются в продолжении, верификации и дальнейшей апробации. Очевидно, что в некоторых случаях применение палинологического анализа к морским отложениям может быть оправдано и использоваться для построения палеогеографических выводов. По всей видимости, в холодных климатических условиях арктических тундр или полярных пустынь даже при динамичной обстановке морского осадконакопления в отсутствие значимых источников сноса не происходит существенного заноса пыли и спор в донные отложения, а проводимые реконструкции могут давать информацию о климате прошлого.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №24-77-10058 «Эволюция процессов голоценового морфоседиментогенеза прибрежного шельфа Берингии в условиях климатических перестроек и усиливающейся антропогенной нагрузки».

ЛИТЕРАТУРА

- Баранова Ю.П., Бискэ С.Ф. История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. М., Наука, 1964. 210 с.
- Гричук В.П. Опыт реконструкции некоторых элементов климата Северного полушария в атлантический период голоцена // Голоцен. М.: Наука, 1969. С. 41-57.
- Гричук В.П. Реконструкция скалярных климатических показателей по флористическим материалам и оценка ее точности // Методы реконструкций палеоклиматов. М.: Наука, 1985. С. 20-28.
- Жузе А.П. Вопросы стратиграфии и палеогеографии северной части Тихого океана (по данным диатомового анализа) // Океанология. 1963. Т. 3. Вып. 6. С. 1017-1028.
- Матвеева Н.В. Предисловие // Растения и грибы полярных пустынь северного полушария. СПб., 2015. 274 с.
- Куприянова Л.А., Алешина Л.А. Пыльца и споры растений флоры европейской части СССР. Ленинград, Наука, 1972. 171 с.
- Куприянова Л.А., Алешина Л.А. Пыльца двудольных растений флоры европейской части СССР. Ленинград, Наука, 1978. 184 с.
- Куприянова Л.А., Алешина Л.А. Споры папоротникообразных и пыльца голосеменных и однодольных растений флоры европейской части СССР. Ленинград, Наука, 1983. 179 с.
- Покровская О.А. Введение в спорово-пыльцевой анализ. Ленинград, Наука, 1950. 460 с.

Mosbrugger V., Utescher T. The coexistence approach – a method for quantitative reconstructions of Tertiary terrestrial palaeoclimate data using plantfossils // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1994. Vol. 134. Is. 1-4. P. 61–86. doi: 10.1016/S0031-0182(96)00154-X

Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. Pollen Analysis. 3d Edition, Blackwell, Oxford. 1994. 216 p.

Nakagawa T., Tarasov P., Kotoba N., Gotanda K., Yasuda Y. Quantitative pollen-based climate reconstruction in Japan: application to surface and late Quaternary spectra // *Quaternary Science Reviews*. 2002. Vol. 21. Is. 18-19. P. 2099-2113. doi: 10.1016/S0277-3791(02)00014-8

Wang W., Wang Y., Zhang J., Jing C., Ding R. Assessment of the Impact of Pacific Inflow on Sea Surface Temperature Prior to the Freeze-Up Period over the Bering Sea // *Remote Sens.* 2024. Vol. 16, 113. doi:10.3390/rs16010113

THE APPLICATION OF PALYNOLOGICAL ANALYSIS IN PALEOCLIMATE RECONSTRUCTIONS FOR CONTINENTAL AND MARINE DEPOSITS AT THE EXAMPLE OF THE BERING SEA COAST REGION

Nosevich E.S., Shvedov S.D., Sergeev A.Yu.

Karpinsky Russian Geological research institute, Saint Petersburg, Russia

We studied the site of continental deposits of the Chukchi Peninsula and bottom marine sedimental sequence in the adjacent waters of the Bering Sea. For the accurate interpretation of the results and to obtain paleoclimate data we also examined surface samples of the soil and sea deposits in the region. Based on the results of palynological analysis, were obtained new information on the dynamics of vegetation in the region. Quantitative reconstructions of paleotemperatures were performed. Preliminary study of surface samples allowed us to determine the most suitable methods for calculating temperatures. It was established that in the absence of large sources of demolition and bottom currents, the pollen spectra of bottom marine sediments can be correlated with the pollen spectra of land and can also be used to draw paleogeographic conclusions.

Keywords: *Holocene, Pleistocene, bottom sediments, Grichuk method, Chukotka Peninsula*

REFERENCES:

Baranova Yu.P., Biske S.F. History of the development of the relief of Siberia and the Far East. Moscow, Nauka Publishing House, 1964. 210 p. (in Russian)

Grichuk V.P. Experience in reconstructing some elements of the Northern Hemisphere climate in the Atlantic period of the Holocene // *Holocene*. Moscow: Nauka, 1969. Pp. 41-57. (in Russian)

Grichuk V.P. Reconstruction of scalar climatic indicators based on floristic materials and assessment of its accuracy // *Methods of paleoclimate reconstructions*. Moscow: Nauka, 1985. Pp. 20-28. (in Russian)

Zhuze A.P. Stratigraphy and paleogeography of the northern Pacific Ocean (based on diatom analysis) // *Oceanology*. 1963. Vol. 3. Iss. 6. P. 1017-1028. (in Russian)

Matveeva N. V. Preface // *Plants and fungi of the polar deserts of the northern hemisphere*. SPb., 2015. 274 p. (in Russian)

Kupriyanova L. A., Aleshina L. A. Pollen and spores of plants of the flora of the European part of the USSR. Leningrad, Nauka, 1972. 171 p. (in Russian)

Kupriyanova L. A., Aleshina L. A. Pollen of dicotyledonous plants of the flora of the European part of the USSR. Leningrad, Nauka, 1978. 184 p. (in Russian)

Kupriyanova L. A., Aleshina L. A. Spores of ferns and pollen of gymnosperms and monocotyledonous plants of the flora of the European part of the USSR. Leningrad, Nauka, 1983. 179 p. (in Russian)

Pokrovskaya O.A. Introduction to spore-pollen analysis. Leningrad, Nauka, 1950. 460 p. (in Russian)

Mosbrugger V., Utescher T. The coexistence approach – a method for quantitative reconstructions of Tertiary terrestrial palaeoclimate data using plantfossils // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1994. Vol. 134. Is. 1-4. P. 61–86. doi: 10.1016/S0031-0182(96)00154-X

Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. *Pollen Analysis*. 3d Edition, Blackwell, Oxford. 1994. 216 p.

Nakagawa T., Tarasov P., Kotoba N., Gotanda K., Yasuda Y. Quantitative pollen-based climate reconstruction in Japan: application to surface and late Quaternary spectra // *Quaternary Science Reviews*. 2002. Vol. 21. Is. 18-19. P. 2099-2113. doi: 10.1016/S0277-3791(02)00014-8

Wang W., Wang Y., Zhang J., Jing C., Ding R. Assessment of the Impact of Pacific Inflow on Sea Surface Temperature Prior to the Freeze-Up Period over the Bering Sea // *Remote Sens*. 2024. Vol. 16, 113. doi:10.3390/rs16010113