

**СТОЛЕТНИЕ – ТЫСЯЧЕЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И
КЛИМАТА КАМЧАТКИ ПО ДАННЫМ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВОГО АНАЛИЗА И
ЛИТОФИЗИЧЕСКИХ И ПРОДУКЦИОННЫХ СВОЙСТВ МОРСКИХ
ГЛУБОКОВОДНЫХ ОСАДКОВ ВОСТОЧНОГО СКЛОНА КАМЧАТКИ**

Горбаренко С.А., Вагина Н.К.,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Аннотация. Нами были изучены видовой состав пыльцы деревьев и кустарников и спор морских глубоководных осадков керна, отобранного с восточного склона Камчатки в рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» LV76-50-1, а также их литофизические и продукционные свойств. Возрастная модель осадков керна получена посредством корреляции содержания литофизических свойств осадков между керном 50-1 и датированным близлежащим керном LV63-41-1. Записи видового состава деревьев и кустарником показывают, что климат региона претерпевал значительное потепление после холодного периода поздний дриас. После 9-8 тысяч лет теплые региональные условия голоцена прерывались пятью похолоданиями. Наиболее теплые условия голоцена существовали во время его термального максимума примерно с 8 до 5,5 тлн.

Ключевые слова: *Восточный склон Камчатки, спорово-пыльцевой анализ, пыльца деревьев и кустарников, споры, голоцен*

**CENTENNIAL – MILLENNIAL CHANGES IN THE VEGETATION AND CLIMATE
OF KAMCHATKA ACCORDING TO SPORE-POLLEN ANALYSIS AND
LITHOPHYSICAL AND PRODUCTION PROPERTIES OF MARINE DEEP-SEA
SEDIMENTS ON THE EASTERN SLOPE OF KAMCHATKA**

Gorbarenko S.A., Vagina N.K.

V.I.Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences.

Annotation. We studied the species composition of pollen of trees and shrubs and spores of marine deep-sea sediments of a core sample taken from the eastern slope of Kamchatka, as well as their lithophysical and production properties. The sediment age model of the core was obtained by correlating of lithophysical properties of sediments between core 50-1 and the nearby well dated core LV63-41-1. Records of tree and shrub species composition indicate that the region's climate experienced significant warming following the Younger Dryas cold period, and after 9-8 thousand years ago the warm regional conditions of the Holocene were interrupted by five cold events. The warmest conditions of the Holocene existed during its thermal maximum during nearly 8 ka to 5,5 ka.

Key words. *Eastern slope of Kamchatka, spore-pollen analyses, pollen of trees and shrubs, spores, Holocene.*

Введение. К настоящему времени проведены многочисленные исследования изменчивости климата Северо-Восточной Азии, включая полуостров Камчатка, во время голоцена [9, 12, 14, 17]. Но до настоящего времени не существует точно датированной последовательности тысячелетних – столетних похолоданий в голоцене, аналогично тому, как это было установлено во время последнего ледникового периода с помощью хорошо датированных записей гренландского льда и образований $\delta^{18}\text{O}$ [8, 13]. Мы провели спорово-

пыльцевой анализ морских осадков с восточного континентального склона Камчатки и построили возрастную модель осадков этого керна. На основании полученных палинологических данных мы реконструировали тысячелетние – столетние изменения растительности Камчатки. Мы полагаем, что полученные результаты спорово-пыльцевого анализа морских осадков соответствуют изменениям растительности прилегающего полуострова Камчатка и отражают региональные изменения климата за последние 12 тысяч лет.

Материалы и методы. Нами были изучены литофизические свойства и проведен спорово-пыльцевой анализ глубоководных осадков керна LV76-50-1 (50-1), отобранного с восточного склона Камчатки в российско-китайской экспедиции на судне «Академик М.А. Лаврентьев» в 2016 году. Координаты отбора керна: 52°13,6' с.ш., 159 °44,7' в.д., глубина моря 2673 м, длина керна 517 см.

Методы анализа содержания хлорина и крупной фракции осадка, магнитной восприимчивости осадка, освещенности осадка и цветового параметра “b” и относительной палеоинтенсивности магнитного поля Земли по осадкам керна 50-1 аналогичны таковым, описанным в статье [10] по керну LV63-41-1.

Спорово-пыльцевой анализ.

Для изучения видового распределения в пыльцевых комплексах были отобраны сантиметровые интервалы осадка каждые четыре сантиметра по длине керна со средней массой сухих осадков 5-15 г. Для видовой идентификации было подсчитано более 300 пыльцевых зерен с использованием микроскопа МИКМЕД 6 с увеличением × 480. В осадках нижней части керна (ниже 404 см) содержание пыльцы было низкое, и наличие пыльцевых зерен было достаточно только для определения общего состава пыльцы и анализа спор до семейств. Поэтому анализ видового состава в группе деревьев и кустарников был выполнен только для осадков выше 404 см.

Подготовку проб для спорово-пыльцевого анализа проводили по стандартной методике с обработкой 10% КОН и последующим отделением тяжелой жидкостью [4]. Подсчитывали группы пыльцы деревьев и кустарников, травянистых растений и споры как доли от общего числа обнаруженных пыльцевых микрофоссилий и определяли процентное содержание таксонов в пределах древесных, кустарниковых и споровых групп. Мы предполагаем, что распределение таксонов в группах деревьев, кустарников и спор, определенных по морским отложениям у Камчатки, в основном реагировало на эволюцию растительности полуострова Камчатка.

В древесно-кустарниковых группах доминирующими и наиболее информативными таксонами были *Alnaster*, *Betula ermanii*, *Betula* sect. *Nanae* (*B. exilis*, *B. Middendorffii*), *Alnus* sp., *Pinus pumila* и *Picea* sp.

B. ermanii — основной лесообразующий вид на юго-западе Камчатки, сосредоточен в нижнем горном поясе и широко распространен в оптимум голоцена [2]. *Picea* населяет склоны гор в районах с влажным воздухом и прохладным летом [5]. *P. pumila* — холодостойкий вид [1]. Пыльца *Picea* и *Pinus pumila* легко переносится ветром на большие расстояния. Кустарниковые виды березы (*Betula* sect. *Nanae*) и ольхи (*Alnaster*) являются индикаторами климата с холодной продолжительной зимой и прохладным коротким летом [3]. *Alnus* — теплолюбивый вид, встречается в долинах рек нижнего пояса гор [1].

В группе споровых растений наиболее представительны мхи *Bryales* (в плейстоцене доминировали холодоустойчивые мхи) и папоротники семейства *Polypodiaceae* (в голоценовой растительности доминировали умеренно-теплолюбивые папоротники). Оба таксона предпочитают влажные условия прибрежных низменностей Камчатки [3].

Возрастная модель осадков керна LV76-50-1 (рис.1) была построена на основе корреляции содержания хлорина, крупной фракции осадка, магнитной восприимчивости осадка, освещенности осадка, цветового параметра “b” и относительной палеоинтенсивности

магнитного поля Земли между керном 50-1 и датированным близлежащим керном LV63-41-1 [10]. Все указанные параметры этих двух колонок были измерены аналогичными методами.

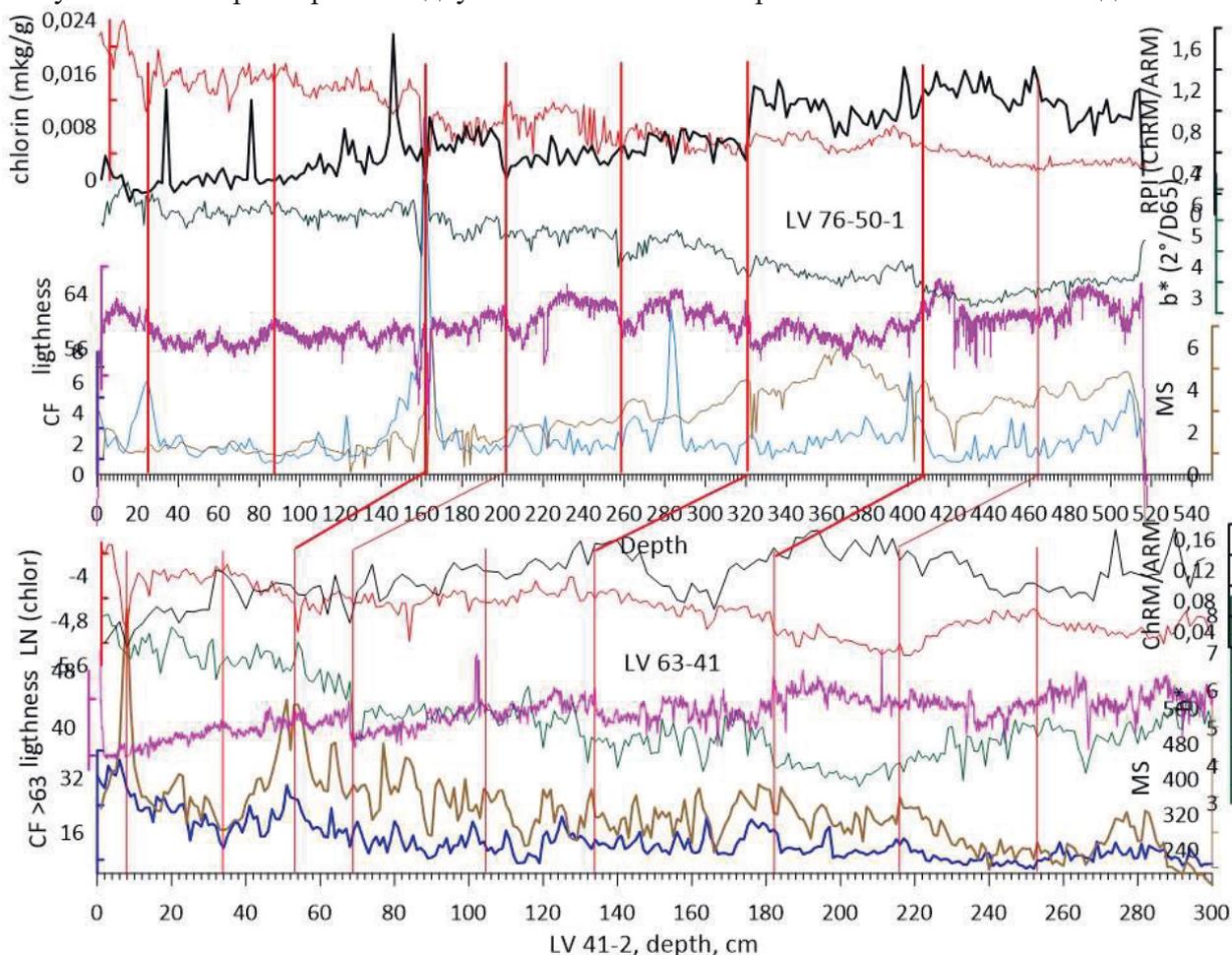


Рис. 1. Возрастная модель керна 50-1, построенная посредством корреляции ключевых изменений содержания в осадках хлорина и крупной фракции осадка, магнитной восприимчивости осадка, освещенности осадка и цветового параметра “b” и относительной палеоинтенсивности магнитного поля Земли по длине между керном 50-1 и датированным керном LV 63-41-2.

Ключевые датированные точки согласно этой модели показаны в таблице 1.

Таблица 1

age model LV 63-41			age model LV 76-50	
Depth, cm	age, ka BP	age, ka BP	Depth	age
8,00	1,07		25,00	1,07
30,00	4,01	7,48	87,00	4,26
34,00	4,26		162,00	5,44
53,00	5,44		202,00	6,35
59,50	5,84	16,12	258,00	8,29
69,00	6,35		321,00	9,77
105,00	8,29		408,00	11,65
124,50	9,34	18,57	464,00	12,22
134,00	9,77			
157,50	10,84	22,00		

167,00	11,31	20,21
182,00	11,65	44,12
216,00	12,22	
253,00	12,85	59,17
284,00	13,90	29,52
299,00	14,17	55,56
326,00	14,64	57,45
380,00	17,80	17,09
400,00	18,63	24,10
410,00	18,87	41,67
434,00	19,54	35,82

Ключевые точки кернов 41-2 и 50-2. Для керна 41-2 жирным шрифтом указаны оригинальные датированные точки согласно [10] и обычным шрифтом – коррелятные интервалы и их возраст согласно модели этого керна.

Результаты и их обсуждение. Результаты спорово-пыльцевого анализа осадков керна 50-1 показаны на рисунке 2.

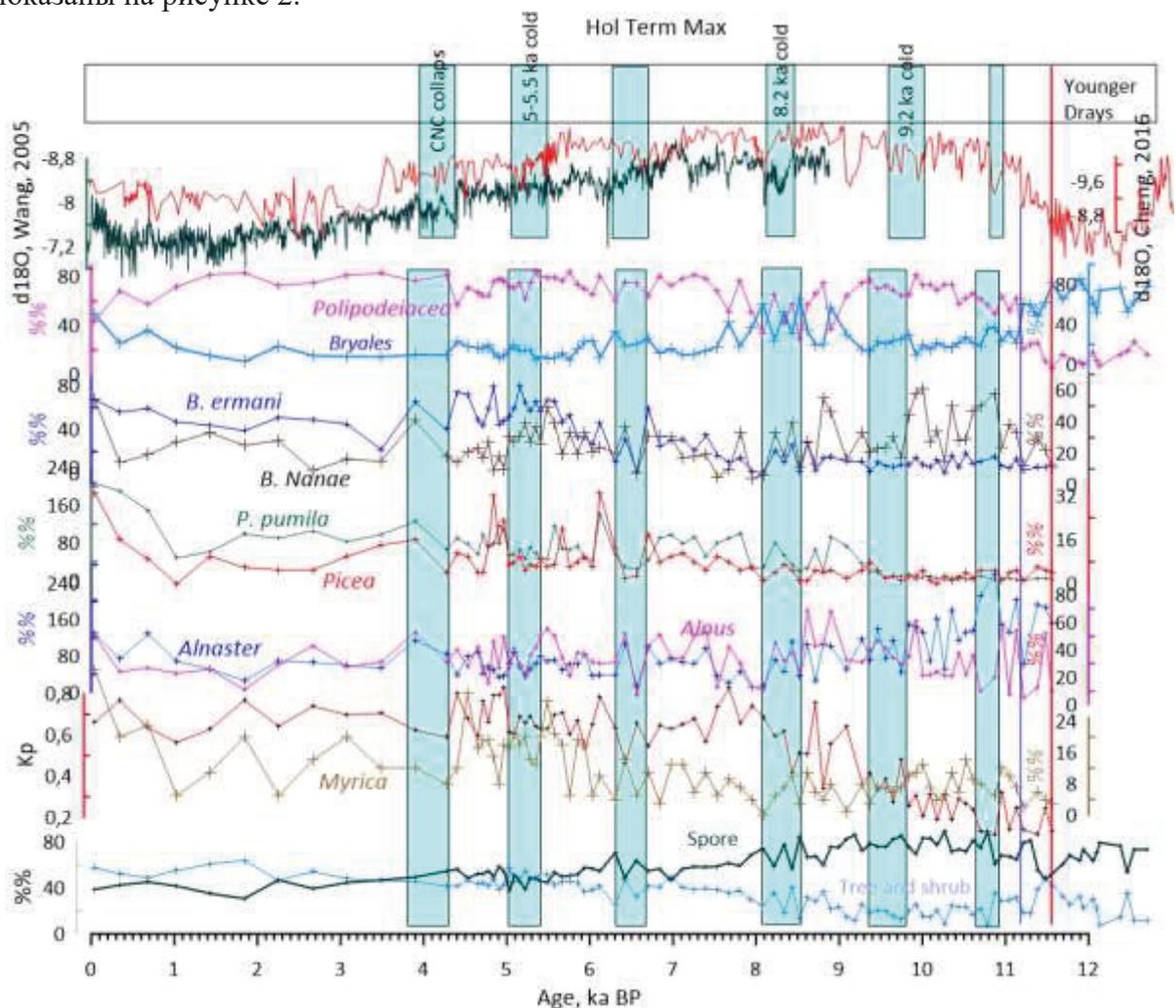


Рис. 2. Результаты общего спорово-пыльцевого анализа (%% групп спор и деревьев и кустарников), распределение видов *Myrica*, *Alnaster*, *Alnus*, *Picea*, *P. pumila*, *B. sect. Nanae* и *B. ermanii* в группе деревьев и кустарников и рассчитанный по их данным палеоклиматический коэффициент Кр за последние 12 тысяч лет, полученные по керну 50-1.

Выше показано распределение *Bryales* и *Polypodiaceae* в группе спор. Вверху рисунка показаны активности летних муссонов Восточной Азии по [17 – зеленая кривая] и [7 – красная кривая]. Голубыми вертикальными полосами показаны столетние похолодания за последние 11 тысяч лет, выделенные по результатам спорово-пыльцевого анализа керн 50-1 и активности муссонов. Красная вертикальная линия показывает границу позднего дриаса и голоцена.

Споры первые реагировали на наступление потепления голоцена (11,65 тысяч лет назад относительно 1950 г (тлн)). Уже через несколько столетий установилось распределение семейств *Bryales* и *Polypodiaceae*, близкое к теплему климату голоцена (Рис. 2, синяя вертикальная линия). Это свидетельствует о том, что споровые ассоциации прибрежных низменностей Камчатки довольно быстро отвечала на изменения климата. Однако, древесная и кустарниковая растительность Камчатки изменялась достаточно медленно, как показывает распределение их видов и коэффициента Кр. Судя по данным распределения видов, время сукцессии группы деревьев и кустарников в растительности Камчатки на изменение климата составляет одну-две тысячи лет. Распределение видового состава в группе деревьев и кустарников, и семейств споровых показывает также, что климат голоцена претерпевал значительные изменения во времени. Полученные результаты пыльцевого анализа по морским осадкам керн позволяют выделить шесть столетних похолоданий в голоцене, которые довольно хорошо согласуются во времени с уменьшениями активности летних муссонов Восточной Азии (ЛМВА) установленными по изучению хорошо датированных сталагмитов пещер Китая [7, 17] (рис. 2, голубые вертикальные полосы).

Первое похолодание климата (холодное событие 1, ХС1) около 11 тлн длилось 2-3 столетия и хорошо выделяется в полученных записях видового состава деревьев и кустарников и споровых растений в осадках изученного керн (рис. 2). Примерно в это же время наблюдается кратковременное уменьшение активности летних муссонов Восточной Азии, вызванное некоторым похолоданием региона. Следующее изменение в распределении видов растительности Камчатки ХС2, вызванное похолоданием климата, наблюдалось около 9, 4-9, 8 тлн, что близко по времени с известным похолоданием 9,2 тлн. Полученные записи видового состава группы деревьев и кустарников, а также спор *Bryales* и *Polypodiaceae* отчетливо фиксируют значительные изменения в спектрах во время ХС2 в связи с сильным известным похолоданием 8,2 тлн [15]. Время между ХС 3 и ХС5 (8-5,5 тлн) обычно связывают с термическим максимумом голоцена (НТМ) [11]. Результаты палинологического анализа изученного керн согласуются с таким мнением. Однако НТМ по нашим данным прерывается похолоданием ХС4, происшедшим примерно 6,7-6,3 тлн. Это похолодание также хорошо заметно в записях активности летних муссонов Восточной Азии (Рис. 2). Похолодание ХС5 приходится примерно на время 5,4-5,0 тлн и также отчетливо заметно в записях муссонов. Это свидетельствует о том, что ХС5, которое завершает НТМ, является важным климатическим событием в голоцене, по крайней мере, для северного полушария. Следующее холодное событие ХС6 (4,3-3,8 тлн) примерно совпадает во времени с коллапсом неолитической культуры Китая [16]. Вероятно, это холодное событие вызвано усилением повторяемости событий Эль Ниньо в экваториальной зоне Тихого океана и уменьшением поступления влаги в континентальный Китай.

Заключение. Результаты палинологического исследования датированных морских осадков с восточного континентального склона Камчатки позволили установить время шести столетних изменений растительности полуострова, вызванные соответствующими региональными похолоданиями климата в голоцене.

Финансирование. Материал работы был получен при поддержке гостемы №124022100084-8 Минобрнауки РФ и обработка и написание статьи сделаны при поддержке гранта РНФ 22-17-00118.

Литература

1. Деревья и кустарники СССР. М.: Мысль, 1966. 637 с.
2. Егорова И.А. Краткий очерк истории формирования современной растительности Камчатки // Камчатка: события, люди: Материалы XXV Крашенинниковских чтений. Петропавловск-Камчатский, 2008. С. 88-93.
3. Растительность Кроноцкого государственного заповедника (Восточная Камчатка). СПб.: БИН РАН, 1994. 232 с.
4. Рудая Н.А. Палинологический анализ: Учебно-методическое пособие / Новосибир. гос. ун-т, Ин-т археол. и этногр. СО РАН. Новосибирск, 2010. 48 с.
5. Чипизубова М.Н., Пшенникова Л.М. Деревья и кустарники юга Дальнего Востока России: Атлас для экскурсии в зимний лес. Владивосток: Дальнаука, 2004. 72 с.
6. Brooks S.J., Diekmann B., Jones V.J., Hammarlund D. Holocene environmental change in Kamchatka: a synopsis // *Global and Planetary Change*. 2015. V. 134. P. 166–174.
7. Cheng H., Edwards R.L., Sinha A., et al. The Asian monsoon over the past 640,000 years and ice age terminations // *Nature*. 2016. V. 534 (7609). Nature Publishing Group: P. 640–646.
8. Corrick E.C., Drysdale R.N., Hellstrom J.C., et al. Synchronous timing of abrupt climate changes during the last glacial period // *Science*. V. 369 (6506). P. 963–969.
9. Gorbarenko S.A., Shi X., Malakhova G.Y., Bosin A.A., Zou J., Liu J., Chen M-T. Centennial to millennial climate variability in the far northwestern Pacific (off Kamchatka) and its linkage to the East Asian monsoon and North Atlantic from the Last Glacial Maximum to the early Holocene // *Climate of the Past*. 2017. V. 13. P. 1063–1080.
10. Gorbarenko S.A. Artemova A.V., Psheneva O.Yu., et al. Orbital-millennial-centennial evolution of paleoceanography and sea ice in the northwestern Pacific during the LGM-Holocene inferred from biological and geochemical proxies // Submitted to *Paleoceanography and paleoclimatology*. 2024.
11. Kaufman D.S., Broadman E. Revisiting the Holocene global temperature conundrum // *Nature*. 2023. V. 614 (7948). Springer US: P. 425–435.
12. Nazarova L.B., Razjigaeva N.G., Golovatyuk L.V., et al. Reconstruction of Environmental Conditions in the Eastern Part of Primorsky Krai (Russian Far East) in the Late Holocene // *Contemporary Problems of Ecology*. 2021. V. 14 (3). P. 218–230.
13. Rasmussen S.O., Bigler M., Blockley S.P., et al. A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized Greenland ice-core records: refining and extending the INTIMATE event stratigraphy // *Quaternary Science Reviews*. 2014. V. 106. Elsevier Ltd: P. 14–28.
14. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., et al. Environmental changes since 14 ka BP in the southernmost Kuril islands (North-Western Pacific) and regional correlation of events // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2022. V. 226: 105088.
15. Rohling E.J., Pälike H. Centennial-scale climate cooling with a sudden cold event around 8,200 years ago // *Nature*. 2005. V. 434 (7036). P. 975–979.
16. Sun Q., Liu Y., Wünnemann B., et al. Climate as a factor for Neolithic cultural collapses approximately 4000 years BP in China // *Earth-Science Reviews*. 2019. V. 197: 102915.
17. Wang Y., Cheng H., Edwards R.L., et al. The Holocene Asian monsoon: links to solar changes and North Atlantic climate // *Science* (New York, N.Y.). 2005. V. 308 (5723). P. 854–857.