



ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ РЕЧНОГО СТОКА В ГОЛОЦЕНЕ НА ПРИМЕРЕ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Т.С. Ключиткина, Е.И. Полякова E-mail: t.klyuvitkina@mail.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет



Водные палиноморфы:

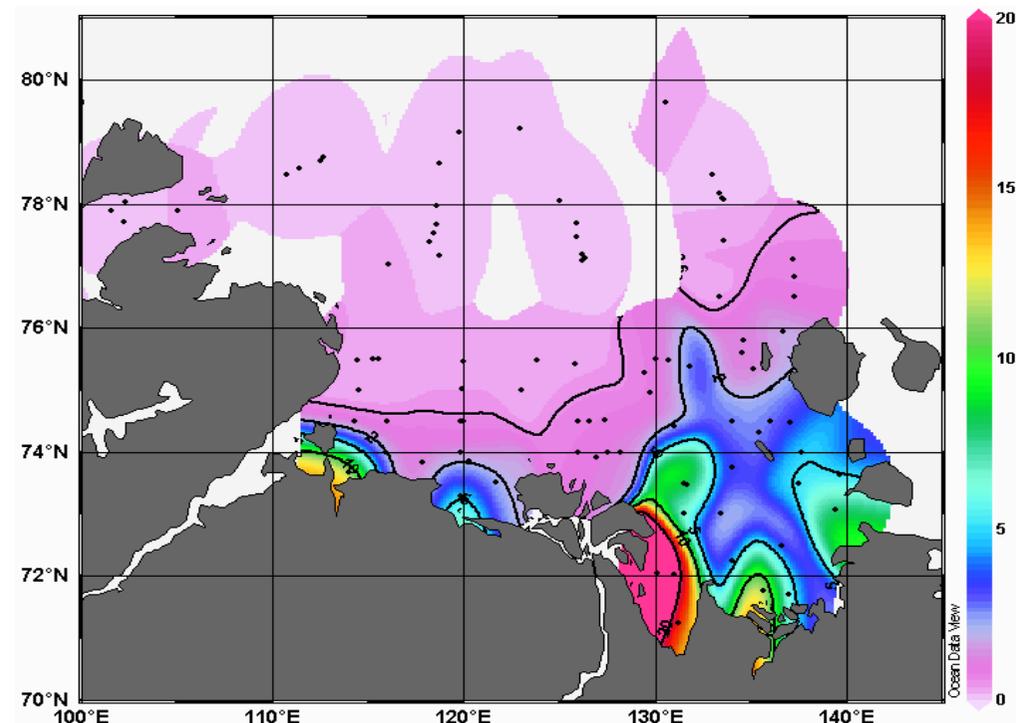
Морские цисты
динофлагеллят

Пресноводные
зеленые водоросли

Микроводоросли традиционно используются для реконструкций различных параметров поверхностных вод (солёности, ледовых условий, речного стока, распределения водных масс) на арктическом шельфе. Одной из самых перспективных групп считаются водные палиноморфы, включающие в себя, в первую очередь, цисты морских динофлагеллят и пресноводные зеленые водоросли. На сегодняшний день выявлена связь видового и количественного распределения водных палиноморф в современных осадках с гидрологическими параметрами, что позволяет использовать их в палеореконструкциях [1, 2 и др.].

Концентрации диноцист в поверхностных осадках моря Лаптевых варьируют от 3 до 4000 цист/г, а зеленых водорослей – от 7 до 3800 экз./г. Благодаря обильному речному стоку, количество цист динофлагеллят в прибрежных районах невелико, а преобладают зеленые водоросли. Их доминирование отмечается в западной части моря до 73°30'с.ш., а в восточной – до 76°00'с.ш. В северных, наиболее удаленных от устьев рек районах в осадках преобладают диноцисты (>50%), а число пресноводных водорослей резко сокращается [8]. Зеленые водоросли представлены видами *Pediastrum boryanum*, *P. kawraiskii* и *Botryococcus* cf. *braunii*, характерными для рек Сибири.

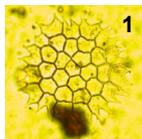
Кроме концентрацией зеленых водорослей, в качестве индикатора речного стока использовался **CD-критерий** — соотношение содержания в составе ассоциаций зеленых водорослей, поступающих на шельф с речными водами, и морских цист динофлагеллят [9, 10 и др.]. Его значения в поверхностных осадках моря Лаптевых варьируют в пределах от 0 до 66. Максимум (>20) выявлен в юго-восточных районах, куда направлен основной речной сток и солёность поверхностных вод не превышает 4 епс. В прибрежных зонах, около устьев крупных рек, а также в областях подводных долин значения CD-критерия изменяются от 4 до 15, при солёности поверхностных вод <15 епс. В целом, по мере удаления от берега и увеличения солёности, CD-критерий снижается. На севере, где солёность возрастает от 20 до >30 епс, его значения не превышают 2.



Значения CD-критерия в поверхностных осадках моря Лаптевых

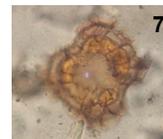
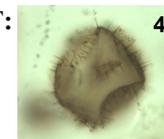
ЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ:

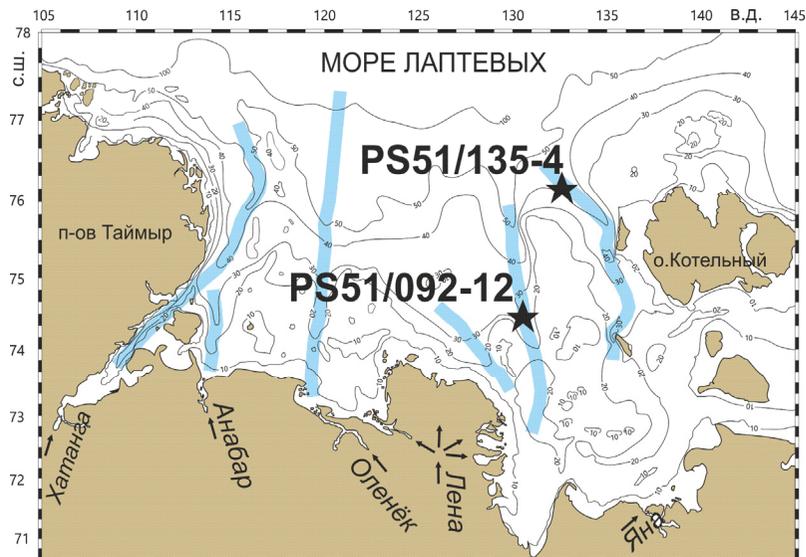
- 1 - *Pediastrum boryanum*;
- 2 - *Pediastrum kawraiskii*;
- 3 - *Botryococcus* cf. *braunii*.



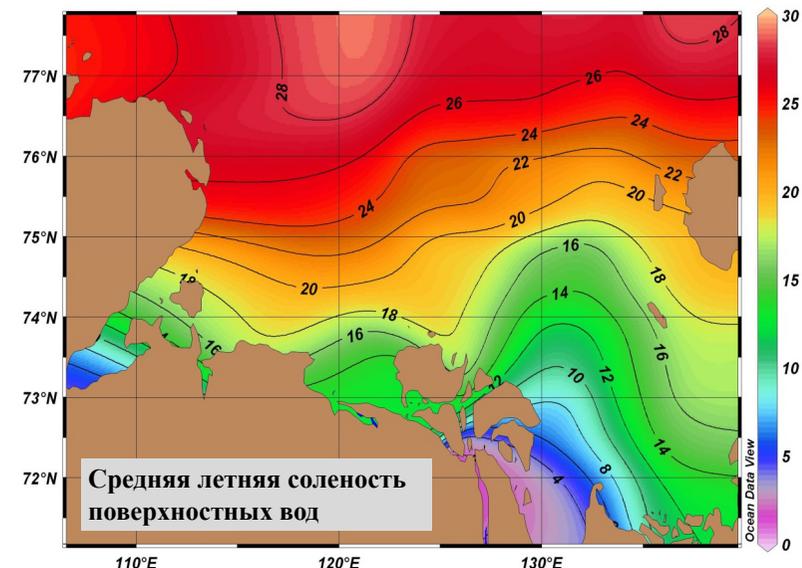
ЦИСТЫ ДИНОФЛАГЕЛЛЯТ:

- 4 - *Islandinium minutum*;
- 5 - *Spiniferites elongatus*;
- 6 - *Operculodinium centrocarpum*;
- 7 - Цисты *Polykrikos* sp.





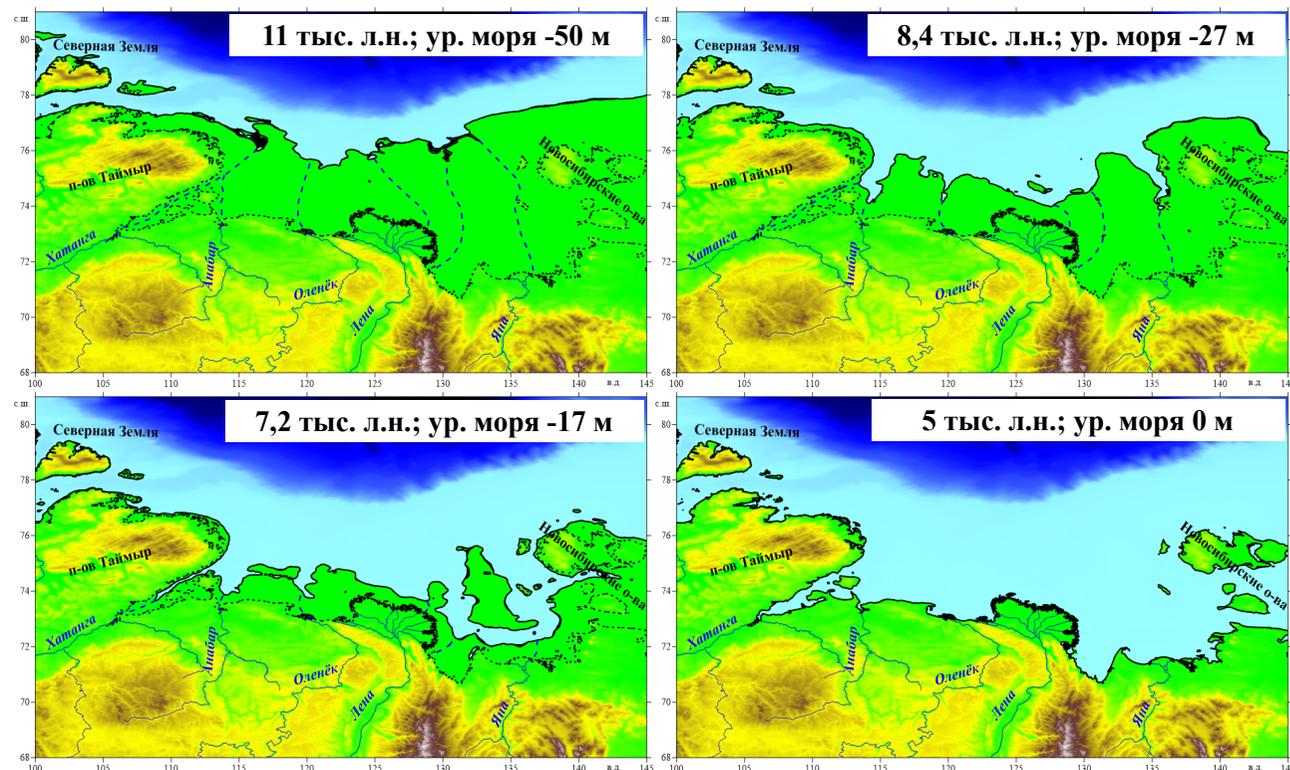
Море Лаптевых – это пологий мелководный шельф, глубина которого сегодня составляет в среднем 50 м. Летом сюда ежегодно поступает около четверти суммарного пресноводного стока в Арктический океан, главным образом за счет р. Лены. Пресная вода распределяется в поверхностном слое морских вод, в значительной степени обеспечивая их стратификацию и, следовательно, стабильность морского ледового покрова полярной области [3].



Были изучены комплексы водных палиноморф в двух колонках из юго-восточной части моря, полученные в пределах палеодолин Лены и Яны с целью проследить смещение их устьев во время последнего в четвертичной истории затопления лаптевоморского шельфа.

Колонка PS51/135-4: палеодолина р. Яны; глубина моря 51 м; длина колонки ~5 м; возраст 11.3–5.3 тыс. кал. л.н.

Колонка PS51/092-12: палеодолина р. Лены; глубина моря 32 м; длина колонки ~6 м; возраст 9 тыс. кал. л.н.



Конец позднего плейстоцена ознаменовался понижением уровня океана. Обширные пространства шельфа моря Лаптевых в максимум регрессии представляли собой арктическую лессово-ледовую равнину, которую пересекали палеоруслу рек Лены, Яны, Оленека, Анабара, Хатанги [4 и др.].

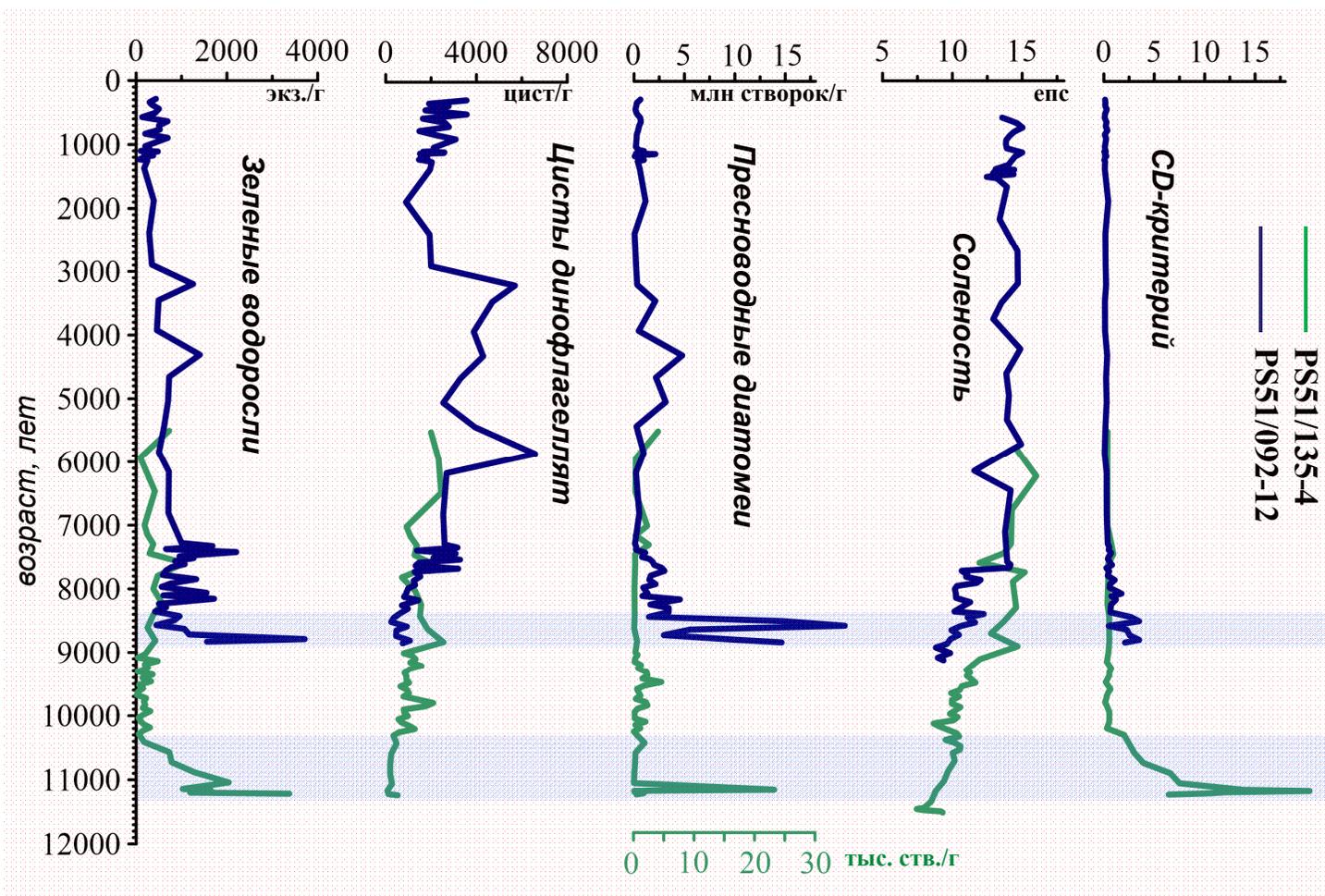
Около 15–14 тыс. л.н. началось затопление шельфа и быстрое продвижение к югу береговой линии [5 и др.]. На сегодняшний день ход голоценовой трансгрессии уже поэтапно реконструирован – восстановлены ее основные этапы и изменение условий осадконакопления. Известно, что современные изобаты 50, 43 и 31 м затапливались 11.1, 9.8 и 8.9 тыс. л.н. соответственно, а современного положения уровень моря достиг ~5 тыс. л.н. [6]. В ходе миграции к югу областей маргинальных фильтров крупнейших рек происходило лавинообразное осаждение речной взвеси в их долинах, где установлены максимальные скорости осадконакопления в голоцене [7].

Максимальные концентрации зеленых водорослей (до 3000 экз./г) в осадках колонки PS51/135-4 отмечены в ее нижней части (>420 см, 11.3–11.0 тыс. л.н.). CD-критерий по всей глубине колонки в целом не превышает 0.5, а максимальных значений (до 20) достигает также в ее нижней части. В осадках колонки PS51/092-12 содержание зеленых водорослей варьирует в пределах от 70 до 3700 экз./г, и их наибольшие концентрации установлены в нижней части колонки (7.4 тыс. л.н. и ранее). CD-критерий максимален (до 3.5) в этом же интервале, а затем его значения постепенно сокращаются вверх по разрезу, что отражает снижение влияния речного стока в ходе развития голоценовой трансгрессии.

Таким образом, можно предполагать, что внешний шельф (глубина 51 м, колонка PS51/135-4) был затоплен ~11.3 тыс. л.н. [6, 11], о чем свидетельствует наличие в осадках морских видов диноцист. Однако, согласно крайне высоким значениям CD-критерия, до 10.3 тыс. л.н. данный район находился под непосредственным влиянием стока р. Яны, а пик концентраций зеленых водорослей 11.3–11.0 тыс. л.н. указывает на наличие здесь внутренней зоны маргинального фильтра – области лавинной седиментации р. Яны [12]. В том же интервале (~11.2–11.0 тыс. л.н.) выявлен максимум содержания диатомовых водорослей, причем почти 100% из них – пресноводные. Кроме того, реконструированная по диатомеям соленость поверхностных вод здесь минимальна (≤ 9 епс), а затем постепенно возрастает вверх по разрезу, свидетельствуя о переходе от прибрежно-морских условий к настоящим морским [11].

Примерно к 9 тыс. л.н. уровень моря поднялся до отметок -30–-31 м [6]. В нижней части колонки PS51/092-12 уже присутствуют морские диноцисты. Однако на глубинах, соответствующих 8.9–8.6 тыс. л.н., мы видим сообщество, типичное для маргинального фильтра – зоны смешения речных и морских вод, где накапливается большая часть взвешенных речных наносов [12]. Об этом свидетельствуют всплеск концентраций пресноводных водорослей и высокие значения CD-критерия. Диатомовый анализ также показал пик концентраций, сформированный за счет речных планктонных видов (в основном *Aulacoseira italica*, *A. subarctica*, *A. granulata*) и минимальную соленость (~9 епс) поверхностных вод [13].

Условия палеоэстуария как Лены, так и Яны подтверждаются преобладанием в ассоциациях соответствующих колонок видов диноцист, способных выдерживать пониженную соленость прибрежных вод (*Islandinium minutum*, *Echinidinium karaense* и *Brigantedinium simplex*).



ЛИТЕРАТУРА

1. Matthiessen J., de Vernal A., Head M. et al. Modern organic-walled dinoflagellate cysts in Arctic marine environments and their (paleo-) environmental significance // *Palaeontolog. Zietschrift*. 2005. V. 79/1. P. 3–51.
2. Zonneveld K.A.F., Marret F., Versteegh G.J.M. et al. Atlas of modern dinoflagellate cyst distribution based on 2405 data points // *Rev. Palaeobot. Palynol.* 2013. V. 191. P. 1–197.
3. Захаров В.Ф. Льды Арктики и современные природные процессы. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 136 с.
4. Hubberten H.W., Andreev A.A., Astakhov V.I. et al. The periglacial climate and environment in northern Eurasia during the Last Glaciation // *Quat. Sci. Rev.* 2004. V. 23. P. 1333–1357.
5. Klemann V., Heim B., Bauch H. et al. Sea-level evolution of the Laptev Sea and the East Siberian Sea since the last glacial maximum // *Arktos*. 2015. V.1. P.1
6. Bauch H.A., Mueller-Lupp T., Taldenkova E. et al. Chronology of the Holocene transgression at the North Siberian margin // *Glob. Planet. Ch.* 2001. V. 31. P. 125–139.
7. Kleiber H.P., Niessen F. Late Pleistocene paleoriver channels on the Laptev Sea Shelf — implications from sub-bottom profiling // *Land–Ocean System in the Siberian Arctic: Dynamics and History*. Berlin, 1999. P. 635–656.
8. Künz-Pirrung M. Distribution of aquatic palynomorphs in surface sediments from the Laptev Sea, eastern Arctic Ocean // *Land–Ocean System in the Siberian Arctic: Dynamics and History*. Berlin: Springer-Verlag, 1999. P. 561–575.
9. Matthiessen J., Künz-Pirrung M., Mudie P.J. Freshwater chlorophycean algae in recent marine sediments of the Beaufort, Laptev and Kara Seas (Arctic Ocean) as indicators of river runoff // *Int. J. of Earth Sciences*. 2000. № 89. P. 470–485.
10. Ключевиткина Т.С., Полякова Е.И. Изменения палеогидрологических условий в море Лаптевых в позднем плейстоцене и голоцене по материалам исследования водных палиноморф // *Океанология*. 2019. Т. 59. № 3. С. 433.
11. Polyakova Ye.I., Bauch H.A., Klyuvitkina T.S. Early to Middle Holocene changes in Laptev Sea water masses deduced from diatom and aquatic palynomorph assemblages // *Glob. Planet. Ch.* 2005. V. 48. P. 208–222.
12. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
13. Bauch H.A., Polyakova Ye.I. Diatom-inferred salinity records from the Arctic Siberian Margin: Implications for fluvial runoff patterns during the Holocene // *Paleoceanogr.* 2003. V. 18(2).