

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ПАЛИНОЛОГИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ РОССИИ

КОМИССИЯ ПО ЭВОЛЮЦИОННОЙ ГЕОГРАФИИ
МЕЖДУНАРОДНОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО СОЮЗА

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ПАЛИНОЛОГИИ

Материалы XIV Всероссийской палинологической конференции,
посвященной памяти Владимира Поликарповича Гричука
(Москва, 5–8 июня 2017 г.)

Ответственные редакторы:
доктор географических наук Н.С. Болиховская,
кандидат географических наук Т.С. Клювиткина

Москва – 2017

Актуальные проблемы современной палинологии: Материалы XIV Всероссийской палинологической конференции / Отв. редакторы Н. С. Болиховская, Т. С. Ключевиткина. – М.: Географический факультет МГУ, 2017. – 424 с.

Книга содержит статьи, представляющие новые научные материалы, изложенные в докладах XIV Всероссийской палинологической конференции с международным участием (Москва, 5-8 июня 2017 г.). Конференция посвящена памяти выдающегося российского палинолога Владимира Поликарповича Гричука (1907–1999).

Публикуемые работы охватывают широкий круг ключевых вопросов современной палинологии в контексте фундаментальных и прикладных аспектов палеогеографии, стратиграфии и корреляции отложений разного возраста и генезиса. В них приводятся новейшие результаты палеоботанических и мультидисциплинарных исследований кайнозойских, мезозойских, палеозойских и докембрийских отложений Евразии и ряда других регионов Земли, положенные в основу определения их возраста, генезиса и ландшафтно-климатических условий образования. Представлены реконструкции этапов развития речных, озерных и морских бассейнов, климата, флоры, растительности и природных обстановок существования древнего человека. Рассматриваются новые данные по морфологии и таксономии спор, пыльцы, диатомей, диноцист и других представителей микробиоты, методам их изучения и интерпретации получаемых аналитических материалов. В ряде статей приводятся результаты аэропалинологических и мелиссопалинологических исследований, а также палиномониторинга состояния окружающей среды в районах интенсивного техногенного воздействия.

Книга адресована широкому кругу специалистов различных областей географии, геологии, биологии, археологии, медицины, преподавателям и студентам высших учебных заведений.

Рецензенты:

профессор, доктор геолого-минералогических наук М. А. Ахметьев
профессор, доктор географических наук А. А. Лукашов

Actual problems of the modern palynology: Proceedings of XIV All-Russian Palynological Conference / Responsible Editors N. S. Bolikhovskaya, T. S. Klyuvitkina. – Moscow: Geographical faculty of Lomonosov Moscow State University, 2017. – 424 p.

Тексты докладов воспроизведены в авторской редакции,
с технической правкой, если она была необходима.

ДИАТОМЕИ И ВОДНЫЕ ПАЛИНОМОРФЫ В ПАЛЕООКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В АРКТИКЕ

Е.И. Полякова¹, Е.А. Новичкова², Т.С. Ключиткина¹, О.С. Шилова¹,
И.М. Крюкова², Е.А. Агафонова¹

¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, географический факультет, *ye.polyakova@mail.ru*; ²Москва, Институт океанологии имени П.П.Ширшова РАН, *enovichkova@mail.ru*

Диатомеи и водные палиноморфы являются одними из наиболее перспективных микропалеонтологических групп в палеоокеанологических исследованиях в Арктике, так как позволяют решать широкий круг вопросов – реконструировать палеоциркуляцию водных масс, включая интенсивность адвекции атлантических и тихоокеанских вод; изменения речного стока в арктические шельфовые моря; границы распространения и продолжительность сезонного морского ледового покрова, происхождение льдов и пути их дрейфа; изменения палеотемператур, палеосолености, палеопродуктивности вод и т.д. [Crosta, Коç, 2010; de Vernal, Marret, 2010; Полякова, 2010; Полякова и др., 2010 и др.].

Вместе с тем, несмотря на то, что диатомеи довольно обильны в фитопланктоне и доминируют в составе биоценозов морских льдов в Северном Ледовитом океане в вегетационный период, в донных осадках они встречаются далеко не всегда. Результаты исследования донных осадков Арктического бассейна и арктических шельфовых морей свидетельствуют, что кремниевые створки диатомей в значительных количествах, необходимых для палеоокеанологических реконструкций, присутствуют в основном в осадках мелководных окраинных морей. Обедненные ископаемые диатомовые комплексы, соответствующие миоценовой, плиоцен-эоплейстоценовым и неоплейстоценовым трансгрессиям, встречаются в осадках шельфовых морей и на приморских низменностях как *in situ*, так и во вторичном залегании, что свидетельствует о развитии серии трансгрессий в пределах Евразийского шельфа [Полякова, 1997; Polyakova, 2001 и др.].

На континентальном склоне и в глубоководных районах Северного Ледовитого океана в современных и плейстоценовых осадках диатомеи *in situ* практически не встречаются. Плохая сохранность диатомей в глубоководных осадках обусловлена растворением кремниевых створок диатомей в воде в процессе их опускания на дно, а затем в осадках в условиях дефицита растворенной кремниевой кислоты в толще вод Северного Ледовитого океана и в поровых водах осадков [Полякова, 1997; 2010]. Максимально высокие концентрации диатомей в морских осадках установлены в Норвежском, Гренландском (20–50 млн створок/г) и в Чукотском морях (13.6 млн створок/г), которые относятся к мезотрофным акваториям. В Баренцевом море, где также высока первичная продукция поверхностных вод, численность диатомей в поверхностных осадках крайне низкая (<700 тыс. створок/г), что обусловлено растворением кремниевых створок диатомей в условиях дефицита растворенной кремниевой кислоты в водах Баренцева моря. В олиготрофных арктических морях численность диатомей в осадках за пределами маргинального фильтра рек не превышает в Белом море 10 млн створок/г, в Карском 3.6 млн створок/г, в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском <6 млн створок/г. Экстремально высокие концентрации створок диатомей в осадках арктических шельфовых морей приурочены к областям маргинального фильтра крупнейших рек Евразии, где в условиях смешения речных и морских вод происходит лавинообразное осаждение речной взвеси, включая речной фитопланктон, в составе которого доминируют пресноводные диатомеи, а также обильны зеленые водоросли [Лисицын, 1994, Polyakova, 2003; Полякова и др. 2016; Новичкова, Полякова, 2007, 2013; Ключиткина и др., 2009]. Так, суммарные концентрации диатомей, преимущественно пресноводных видов (>90%), достигают максимальных значений в поверхностных осадках Обского (до 51.6 млн створок/г) и Енисейского (до 82.6 млн створок/г) эстуариев в интервале средней многолетней солености поверхностных вод в вегетационный период от 2 до 5–8 епс [Polyakova, 2003].

Значительную роль в создании первичной продукции в арктических морях играют ледово-мо 200рские сообщества, в составе которых ведущая роль принадлежит диатомовым водорослям. Их доля в годовых потоках $C_{орг}$ на дно максимальна в сибирских морях – Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское (10–15% общего потока $C_{орг}$) [Ветров, Романкевич, 2011]. Несмот-

ря на высокую продуктивность ледово-морских ассоциаций диатомей, развивающихся на нижней и боковой поверхностях дрейфующих и припайных льдов, основная масса их продукции приурочена к короткому (две-три недели) периоду «весеннего цветения» морских льдов, а максимальное обилие наблюдается в высокопродуктивной области Великой Сибирской полыньи. В составе ледово-морских диатомей доминирует относительно небольшое число видов (*Pauliella taeniata*, *Nitzschia frigida*, *N.neofrigida*, *N.promare*, *Fragilariopsis oceanica*, *F. cylindrus*, *Fossula arctica*, *Melosira arctica*, *Atheya septentrionalis*, *Navicula vanhoeffenii*, *N.septentrionalis*, *Haslea vitrea* и др.), являющихся надежными индикаторами палеоледовитости арктических морей. Из динофлагеллат единственным достоверным индикатором ледового покрова в Арктике является вид *Polarella glacialis*, обитающий на нижней поверхности морских льдов и способный образовывать цисты [Matthiessen et al., 2005].

В центральных районах Арктического океана диатомовые комплексы установлены лишь в донеогеновых осадках, и в настоящее время диатомеи становятся одной из важнейших микропалеонтологических групп в изучении меловых и палеогеновых отложений из глубоководных районов океана [Barron, 1985; Backman, Moran, 2006 и др.]. Сравнительный анализ биоты морского палеогена выявил единство морских седиментационных бассейнов Западной Сибири и Арктики и основных биосферных событий высоких широт северного полушария [Ахметьев и др., 2010; Стрельникова, 1992; Barron, 1985; Орешкина и др., 2008]. Местонахождения морских палеогеновых палеонтологически охарактеризованных отложений в разрезах континентального обрамления Американо-Арктического сектора Арктики немногочисленны. В бассейне Бофорт-Маккензи вскрытая 15-ти километровая толща осадков [Dixon, et al., 1992] представляет собой классическую область сверхбыстрого осадконакопления (с позднего мела до современности) в областях маргинального фильтра крупнейшей водной артерии Северной Америки («лавиной седиментации») и образования гравититов с высоким нефтегазоносным потенциалом [Лисицын, 2009]. Ведущими биостратиграфическими группами при изучении этих отложений являются фораминиферы и цисты динофлагеллат.

В последние годы в практике палеоокеанологических реконструкций все большее значение приобретает изучение водных палиноморф, которые включают в себя, в первую очередь, цисты морских видов динофлагеллат, оболочки которых содержат слои спорополленина и хорошо сохраняются в осадках в отличие от подвижных клеток, и пресноводные зеленые водоросли, а также акритархи, органическую часть скелета фораминифер и другие органические остатки водных микроорганизмов [Matthiessen et al., 2005; de Vernal, Marret, 2010 и др.]. В составе водных палиноморф в шельфовых осадках арктических морей доминируют цисты динофлагеллат (диноцисты) и пресноводные зеленые водоросли [Matthiessen et al., 2005; Новичкова, Полякова, 2007; Ключевиткина и др., 2009; Полякова и др., 2010 и др.].

Реконструкции палеоциркуляции водных масс, включая интенсивность адвекции атлантических и тихоокеанских вод в Северном Ледовитом океане вод базируются на фитогеографических характеристиках морских планктонных водорослей - диатомей и динофлагеллат (цист) [Полякова, 1997, 2010; Полякова и др. 2010; Matthiessen et al., 2005; Новичкова, Полякова, 2007; Ключевиткина и др., 2009 и др.]. Ценность изучения планктонных организмов как индикаторов течений и водных масс состоит в том, что видовой состав планктона более консервативен по сравнению с гидрологическими характеристиками и более длительное время сохраняет информацию о происхождении и трансформации водных масс. Четвертичная, как и современная планктонная флора диатомей и диноцист в арктических морях имеет ярко выраженные региональные особенности состава, которые обусловлены, в первую очередь, влиянием вод Атлантического и Тихого океанов и изменениями интенсивности адвекции североатлантических и берингоморских вод в Северный Ледовитый океан [Полякова, 1997; Matthiessen et al., 2005]. Для количественной оценки изменений интенсивности адвекции этих вод используется также АН-критерий, представляющий отношение содержания цист автотрофных (фотосинтезирующих) видов динофлагеллат к цистам гетеротрофных видов [Matthiessen et al., 2005; de Vernal, Marret, 2010; Ключевиткина и др., 2009]. Диноцисты автотрофных видов в арктических морях представлены небольшим числом видов, среди которых доминируют *Operculodinium centrocarpum*, *Pentapharsodinium dalei*, *Spiniferites spp.* Согласно последней обновленной базы данных диноцист высоких широт северного полушария, созданной к настоящему времени [de Vernal, Marret, 2010], максимальные значения АН-критерия установлены для Северной Атлантики. В

морях российского сектора Арктики максимальные показатели АН-критерия установлены для Новоземельского желоба (до 220 единиц). Показатели, сравнимые с беломорскими, отмечены для южной части Баренцева моря (от 10 до 90 единиц). Восточнее 15⁰ в.д. вплоть до долготы Чукотского моря значения АН-критерия изменяются в пределах от 0 до 1.3 единиц, что связано с уменьшением влияния атлантических водных масс и увеличением продолжительности сезонного морского ледового покрова, как лимитирующего фактора в развитии автотрофных видов динофлагеллат. С этой точки зрения АН-критерий применяется также в качестве индикатора продолжительности ледового покрова в арктических и субарктических морях.

Для реконструкций изменений речного стока на шельф используются пресноводные диатомеи и зеленые водоросли. С речными водами пресноводные водоросли поступают в прибрежную зону морей, но вегетация их вскоре прекращается, однако с речными водами отмершие клетки пресноводных диатомей и зеленых водорослей разносятся на значительные расстояния от устьев рек. За пределами распространения речных вод в арктических морях небольшое количество пресноводных диатомей поступает с речными льдами. Многочисленные детальные исследования распределения пресноводных диатомей и зеленых водорослей в поверхностных осадках арктических морей (Карское, Лаптевых, Белое) свидетельствуют, что они являются надежными индикаторами распространения речных вод на шельфе и могут служить методической основой реконструкций палеосолености поверхностных вод [Polyakova, 2003; Polyakova et al., 2005; Polyakova, Stein, 2004; Новичкова, Полякова, 2007, 2013; Полякова и др., 2016; Ключевиткина и др., 2009 и др.]. Так, сравнение значений средней межгодовой летней солености поверхностных вод в Обском и Енисейском эстуариях и внутреннем шельфе Карского моря (по данным 50-летних наблюдений) и процентного содержания пресноводных диатомей в диатомовых ассоциациях поверхностного слоя донных осадков из данных районов выявили прямую корреляцию этих двух параметров [Polyakova, 2003].

Для реконструкций изменений поступления речных вод на шельфы арктических морей используется также CD-критерий – отношение содержания в составе ассоциаций водных палиноморф пресноводных зеленых водорослей к цистам морских динофлагеллат [Matthiessen et al., 2005; Ключевиткина и др., 2009; Новичкова, Полякова, 2007, 2013; Полякова и др., 2016]. В наибольшей степени это проявляется в море Лаптевых, расположенном в центральной части Евразийского шельфа, и получающего ежегодно около четверти суммарного пресноводного стока в Северный Ледовитый океан, главным образом, за счет стока р.Лены. Значения CD-критерия в поверхностных осадках моря Лаптевых варьируют в пределах от 0 до 66 единиц. Максимальные значения CD-критерия установлены в юго-восточной части моря Лаптевых, прилегающей к дельте р.Лены, куда направлен основной сток реки. Относительно высокие значения CD-критерия (до 15 единиц) отмечены также в прибрежных районах моря, около устьев крупных рек Яна, Оленек, Хатанга. По мере удаления от устьев рек и увеличения солености вод в северном направлении до 30 епс и более значения CD-критерия снижаются до 2 единиц.

В составе ассоциаций водных палиноморф из исследованных поверхностных осадков Белого моря численность зеленых водорослей варьируют в широких пределах, также как и значения CD-критерия [Новичкова, Полякова, 2013; Полякова и др., 2016]. Максимальные значения CD-критерия (66 единиц) установлены в Онежском заливе в зоне коагуляционно-сорбционной ступени маргинального фильтра (II). За пределами этой ступени численность диатомей и зеленых водорослей в осадках резко сокращается во всех исследованных заливах – Двинском, Онежском, Кемском, и максимальные значения CD-критерия не превышают 0.5 единиц.

Принципиально новым направлением в использовании диатомей для палеоокеанологических реконструкций является биогеохимический анализ липидов и жирных кислот в верхнеплейстоценовых – голоценовых осадках Арктики и Субарктики [Crosta, Koç, 2010 и др.]. В отличие от других растений, конечными продуктами фотосинтеза диатомей являются жиры, состав которых варьирует у различных видов. При растворении кремниевых створок диатомей эти жиры хорошо сохраняются в осадках. В настоящее время установлено, что состав жиров может служить важным диагностическим видовым признаком диатомей, что положило начало использованию биогеохимического анализа липидов и жирных кислот (IP₂₅) в морских и океанических осадках при выявлении источников поступления в них органики и реконструкциях морского ледового покрова [Stein et al, 2012 и др.].

Литература:

- Ахметьев М.А., Запорожец Н.И., Яковлева А.И. и др. Сравнительный анализ разрезов и биоты морского палеогена Западной Сибири и Арктики// Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2010. Т.18. № 6. С. 78-103.
- Ветров А.А., Романкевич Е.В. Первичная продукция и потоки органического углерода на дно в арктических морях, ответ на современное потепление//Океанология. 2011. Т. 51. № 2. С. 266-277.
- Клювиткина Т.С., Новичкова Е.А., Полякова Е.И. Маттиесен Й. Водные палиноморфы в осадках арктических морей Евразии и их значение для палеоокеанологических реконструкций позднего плейстоцена и голоцена (на примере морей Белого и Лаптевых) // В кн.: Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: Современное состояние и история развития. Отв. ред.: Х.Кассенс и др. М.: Изд-во Моск. ун-та. 2009. С. 448-466.
- Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–743.
- Лисицын А.П. Закономерности осадкообразования в областях быстрого и сверхбыстрого осадконакопления (лавинной седиментации) в связи с образованием нефти и газа в Мировом океане. Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 4 С. 373-400.
- Новичкова Е.А., Полякова Е.И. Цисты динофлагеллат в поверхностных осадках Белого моря // Океанология. 2007. Т. 5. № 47. С. 709–719.
- Новичкова Е.А., Полякова Е.И. Ассоциации микроводорослей в донных осадках областей маргинальных фильтров заливов Белого моря//Доклады АН. 2013.Т.449.№ 4. С.474-479.
- Орешкина Т.В., Яковлева А.И., Александрова Г.Н. Прямая корреляция зональных шкал бореального палеогена по диатомеям и диноцистам (скв. 19-У, пос. Усть-Манья, восточный склон Северного Урала// Новости палеонт. и страт. 2008. Т.49. Вып. 10-11. С. 347-350.
- Полякова Е.И. Арктические моря Евразии в позднем кайнозое. М.: Научный мир. 1997. 145 с.
- Полякова Е.И., Клювиткина Т.С., Новичкова Е.А. Анализ водных палиноморф. В кн.: Методы палеогеографических реконструкций. Под редакцией П.А.Каплина, Т.А.Яниной. М.: Географический факультет МГУ. 2010. С. 103-125.
- Полякова Е.И. Новичкова Е.А., Лисицын А.П. и др. Диатомеи и водные палиноморфы в поверхностных осадках заливов Белого моря как индикаторы седиментационных процессов в маргинальных фильтрах рек // Океанология. 2016. № 2. С. 310-321.
- Романкевич Е.А., Ветров А.А. Цикл углерода в арктических морях России. М.: Наука. 2001. 301 с.
- Стрельникова Н.И. Палеогеновые диатомовые водоросли. СПб: Изд-во СПб ун-та. 1992. 312 с.
- Backman J., Moran K. Introduction to special section on Cenozoic paleoceanography of the Central Arctic Ocean // *Paleoceanography*. 2008. V. 23. PAIS01. P. 1-6.
- Barron J.A. Diatom biostratigraphy of the CESAR 5 core. Alpha Ridge// *Geol. Surv. Canada Paper* 84-22. 1985. P. 137-148.
- Crosta X., Коç N. Diatoms: From micropaleontology to isotope geochemistry. In: *Proxies in Late Cenozoic Paleocanography*. Hillaire-Marcel C., de Vernal A. ELSEVIER. 2010. P. 327-370.
- De Vernal A., Marret F. Organic-walled dinoflagellate cysts: tracers of sea-surface conditions. In: *Proxies in Late Cenozoic paleoceanography*. Edited by Hillaire-Marcel C., de Vernal A. 2010. ELSVIER. Amsterdam. P.371-408.
- Dixon J., Dietrich J.R., McNeil D.H. Upper Cretaceous to Pleistocene sequence stratigraphy of the Beafort-Mackenzie delta and bank areas, northwest Canada//*Geol. Surv. Can. Bull.*1992. 407. P. 1-52.
- Matthiessen J., de Vernal A., Head M., et al. Modern organic-walled dinoflagellate cysts in Arctic marine environments and their (paleo-) environmental significance//*Pal. Ziets*. 2005. V. 79/1. P. 3–51.
- Polyakova. Ye.I. Diatom assemblages in the surface sediments of the Kara Sea (Siberian Arctic) and their relationship to oceanological conditions//In: *Siberian River Run-off in the Kara Sea: Characterization, Quantification, Variability, and Environmental Significance* (Stein et al, Eds.). Elsevier. 2003. P. 375-400.
- 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 // *Global and Planetary Change*. 2005. № 48. P. 208–222.
- Polyakova Ye.I., Stein R. Diatom and organic carbon records from Holocene sediments of the South-Eastern Kara Sea. Arctic Siberian margin: implications for paleoenvironmental reconstructions // *Quaternary Research*. 2004. № 62. P. 256–266.
- Stein, R., Fahl, K., Müller, J. Proxy Reconstruction of Cenozoic Arctic Ocean Sea-Ice History – from IRD to IP25//*Polarforschung*. 2012. V. 82 (1). P. 37-71.