

УДК 55.1(470)

АССОЦИАЦИИ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ОБЛАСТЕЙ МАРГИНАЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ ЗАЛИВОВ БЕЛОГО МОРЯ

© 2013 г. Е. А. Новичкова, Е. И. Полякова

Представлено академиком А.П. Лисицыным 23.05.2012 г.

Поступило 30.05.2012 г.

DOI: 10.7868/S0869565213100241

Современная концепция исследований осадков Белого моря базируется на принципах комплексного подхода к изучению системы водосбор–море, который успешно применяется на практике с 2000 г. лабораторией физико-геологических исследований ИО РАН [1]. Полученные к настоящему времени данные показали, что основные процессы трансформации взвешенных и растворенных веществ водосборных бассейнов происходят в пределах устьев рек и заливах моря, представляющих собой типичные маргинальные фильтры (МФ) [2–5]. Одним из основных компонентов взвеси в пределах МФ арктических морей является речной и морской фитопланктон, аккумуляция которого в осадках, как и биологическая продуктивность, контролируется физико-химическими процессами в зоне смешения речных и морских вод [6–9].

Представлены первые результаты детальных исследований микроводорослей в поверхностных осадках крупнейших заливов Белого моря и рассмотрены особенности формирования их ассоциаций на различных ступенях МФ. Объектами исследований стали диатомовые водоросли и водные палиноморфы (цисты морских видов динофлагеллат, пресноводные зеленые водоросли, акритархи и органические остатки фораминифер), которые являются надежными индикаторами ледово-гидрологических и седиментационных обстановок в Белом море [8, 10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучены 44 образца поверхностных донных осадков (0–5 см) из рейсов нис “Профессор Штокманн”, “Эколог”, “Иван Петров” в 2001–2006 гг. (рис. 1, табл. 1). Отбор проб проводился с помощью дночерпателя с глубин моря 0.3–80 м.

После предварительного вакуумного высушивания образцов их техническая обработка для целей диатомового анализа выполнена по методике Battarbee [11], а для анализа водных палиноморф – по методике института им. А. Вегенера (AWI, Потсдам) [10]. Для оценки влияния речного стока использован CD-критерий (соотношение содержания в составе ассоциаций водных палиноморф пресноводных зеленых водорослей и цист морских видов динофлагеллат). Проведены также подсчеты АН-критерия (отношение содержания цист автотрофных видов динофлагеллат к цистам гетеротрофных видов) для оценки продуктивности вод [12]. Полученные по микроводорослям данные рассматривали в зависимости от средне-многолетней летней солености поверхностных вод [13].

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСАДКАХ ЗАЛИВОВ И МФ БЕЛОГО МОРЯ

Двинский залив (рис. 1) ежегодно получает более половины всего речного стока в Белое море [14]. В протоках дельты р. Северная Двина установлены в основном пресноводные диатомеи и единичные створки морских видов (до 4.4 млн створок/г осадка, рис. 2, 3), водные палиноморфы полностью отсутствуют в осадках. Для кутовой части залива (соленость вод 21–22‰) характерны минимальные концентрации палиноморф и диатомей в осадках (рис. 2). В составе дианоцист повышена доля эвригаллиных гетеротрофных видов (*Islandinium minutum*, *Echinidinium karaense*), значения АН-критерия не превышают 3.2. В диатомовых ассоциациях преобладают пресноводные виды (69–78%), преимущественно планктонные речные формы из рода *Aulacoseira* при высоком таксономическом разнообразии бентических видов, типичных для грунтов северных рек и пойменных водоемов. Влияние речного стока отражается также на относительно высоком содержании прес-

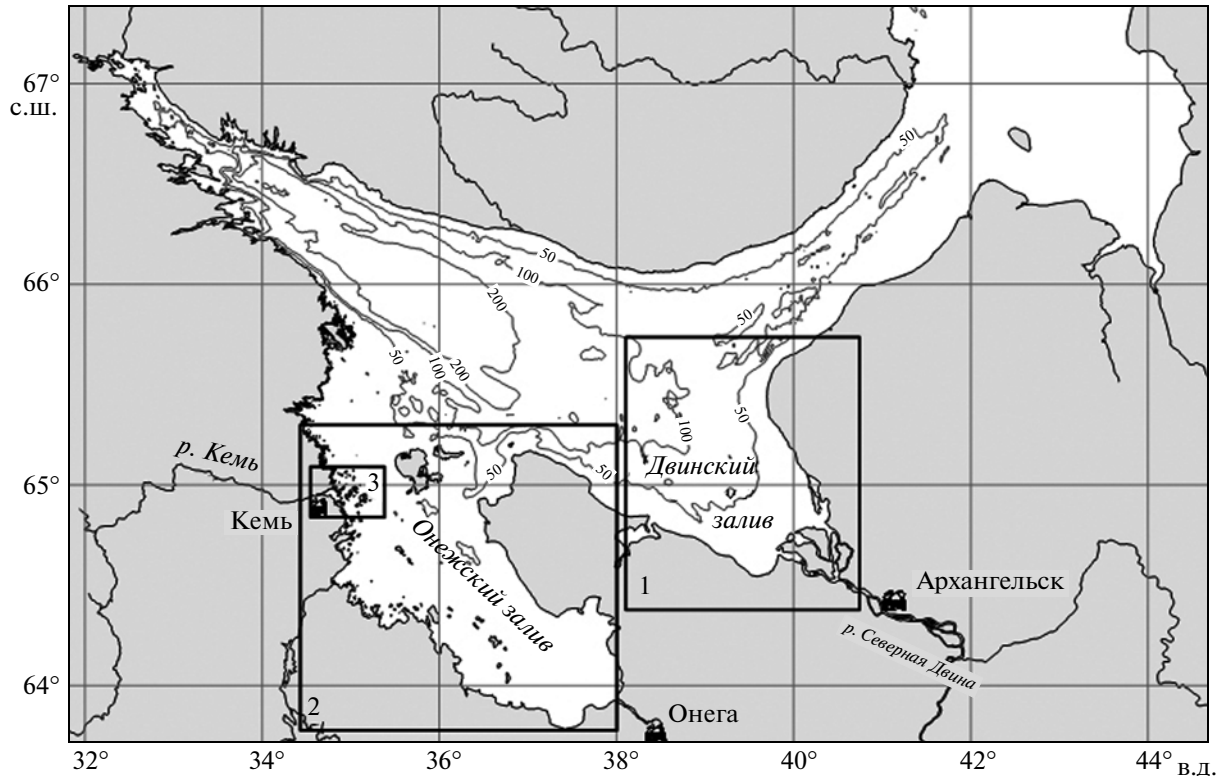


Рис. 1. Схема расположения исследованных районов в Белом море: 1 – Двинский залив, 2 – Онежский залив, 3 – Кемская губа.

новодных зеленых водорослей (до 54%, CD-критерий – до 1.2).

С удалением от устья Северной Двины и повышением солености вод (22–24‰) в средней части залива практически полностью исчезают зеленые водоросли (CD-критерий <0.3, рис. 4) и возрастают концентрации диноцист в осадках (до 18 тыс. цист/г). Значения АН-критерия достигают 11.2, отражая преобладание цист фотосинтезирующих видов динофлагеллят (*Operculodinium centroparpum*, *Pentapharsodinium dalei*, *Spiniferites ramosus*). В составе диатомовых ассоциаций сокращается доля пресноводных видов (до 17.6%), а в группе морских диатомей доминируют планктонные виды (*Thalassiosira antarctica*, *T. baltica*, *T. angulata*, споры рода *Chaetoceros*). В осадках внешней части залива (соленость вод 24–26‰) численность микроводорослей изменяется в широких пределах, оставаясь в основном высокой (диатомей – до 4.7 млн створок/г, диноцисты – до 20 тыс. цист/г). Содержание пресноводных диатомей сокращается до 6.6%.

Онежский залив (рис. 1) – самый большой по площади и наиболее мелководный, получающий около трети пресноводного стока в Белое море, характеризуется максимальной гидродинамической активностью вод за счет приливо-отливных течений, амплитуда которых 2.7 м, что приво-

дит к осушению значительной части его акватории во время отливов [4, 15]. В рукавах р. Онега, функционирующих в период отливов, и на взморье (рис. 2, [4]) концентрации водных палиноморф и диатомей в осадках минимальны (соответственно <2–3 тыс. ед./г и <0.4 млн створок/г). Преобладают пресноводные речные виды диатомей (до 63%) и зеленые водоросли (CD-критерий до 18–20, рис. 4).

С увеличением глубин и солености вод (до 22–24‰) в средней части залива концентрации микроводорослей достигают максимальных значений: водные палиноморфы – до 15.4 тыс. ед./г, диатомей – до 4.5 млн створок/г. Численность зеленых водорослей в осадках также высокая (до 5 тыс. ед./г), значения CD-критерия максимальные (62). В составе диноцист повышено содержание гетеротрофных видов (*Islandinium minutum*, *Islandinium cesare*, *Echinidinium karaense*), значения АН-критерия крайне низкие (0–0.7). В ассоциациях диатомей, представленных в основном планктонными речными видами, снижается доля пресноводных видов (до 8–15%).

Во внешней части залива (соленость вод 24–26‰, рис. 2) суммарные концентрации водных палиноморф и диатомей в осадках в целом снижаются. Практически исчезают зеленые водоросли, содержание пресноводных диатомей не превы-

Таблица 1. Координаты станций и глубина моря

Номер станции	с.ш., град.	в.д., град.	Глубина моря, м
1	65.04	34.92	7.8
5	65.01	34.83	8.6
9	64.64	40.51	0.0
10	65.02	34.84	8.7
15	64.99	34.80	11.0
16	64.97	34.80	5.0
18	63.96	37.22	9.5
19	64.13	41.86	0.0
22	64.28	37.80	7.0
23	64.07	37.91	7.8
25	64.15	41.93	0.0
29	64.02	41.77	0.0
32	64.12	37.58	15.8
33.1	63.96	37.70	9.0
40	65.03	34.90	20.8
43	64.19	37.61	15.03
62	64.82	35.72	20.0
75	65.45	39.07	75.8
76	65.28	39.28	66.2
77	65.14	39.28	75.0
78	65.08	39.74	31.8
88	64.92	40.03	12.7
98	63.93	38.00	4.2
100	63.96	37.96	3.9
101	63.95	37.93	2.7
103	63.95	37.90	4.0
104	64.01	37.94	4.6
105	64.98	34.79	3.0
106	64.96	34.74	1.1
107	64.97	34.76	0.8
108	64.96	34.80	3.4
109	64.97	34.80	3.9
4685	64.70	39.68	10.0
4694	64.81	39.91	10.0
4697	65.28	38.91	87.0
4709	64.59	36.44	56.3
4712	64.14	37.33	36.1
4713	64.35	36.57	26.7
4714	64.65	35.91	51.9
4728	65.35	39.36	56.5
4923	64.96	40.08	
4926	64.63	39.57	
108-A	64.96	34.82	0.3
25a	64.94	34.63	2.7

шает 15%. В составе диатомовых ассоциаций доминирует эпифитный, меропланктонный вид *Paralia sulcata*, а также бентические и перифитонные эвригалинные виды из родов *Fragilaria*, *Achnanthes*, типичные для осушек Белого моря. По мере продвижения к наиболее открытой части залива увеличиваются концентрации диноцист (до 7 тыс. цист/г), в составе которых встречаются автотрофные виды (*Opeculodinium centrocarpum*, *Spiniferites ramosus*; АН-критерий – 4–5).

Кемская губа (рис. 1) – типичный эстуарий, характеризующийся последовательным увеличением солености поверхностных вод (0–26‰). В осадках устьевой части р. Кемь (рис. 4) встречаются лишь пресноводные диатомеи (0.14 млн створок/г). В эстуарной зоне (соленость <19‰) установлены максимальные концентрации водных палиноморф (до 8.8 тыс. ед./г) и диатомовых водорослей (до 8.5 млн створок/г). В составе водных палиноморф доминируют диноцисты (до 8.2 тыс. цист/г) преимущественно автотрофных видов (АН-критерий – 13). Содержание пресноводных диатомей последовательно сокращается (до 56–60%), как и зеленых водорослей (СД-критерий <0.2).

В средней, переходной части залива (соленость 16–22‰) резко снижаются концентрации микрофоссилий в осадках (водные палиноморфы – до 0.4–1.6 тыс. ед./г, диатомеи – до 0.22 млн створок/г). Практически исчезают зеленые водоросли, а содержание пресноводных диатомей изменяется в широких пределах (13–69%). В составе диатомей доминирует морской сублиторальный вид *Paralia sulcata*, а в ассоциациях диноцист – преимущественно автотрофные виды (АН-критерий – до 11.2). Во внешней, морской части залива (соленость 21–25‰) концентрации диноцист и диатомей возрастают (до 6.7 тыс. цист/г и 3.6 млн створок/г, рис. 2). В составе морских диатомей (до 2.8 млн створок/г) появляются планктонные виды из родов *Thalassiosira*, *Coscinodiscus*. Ассоциации диноцист характеризуются высокими концентрациями автотрофных видов (АН-критерий – до 14).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные по распределению диатомей и водных палиноморф в поверхностных осадках заливов Белого моря (рис. 1) отражают последовательную смену седиментационных и биологических процессов в заливах по мере удаления от устьев рек и повышения солености вод. В осадках кутовой части заливов, прилегающих к устьям рек (рис. 2–4), концентрации диатомей, преимущественно пресноводных видов, минимальны, из-за высоких содержаний водной взвеси [2–5], т.е.

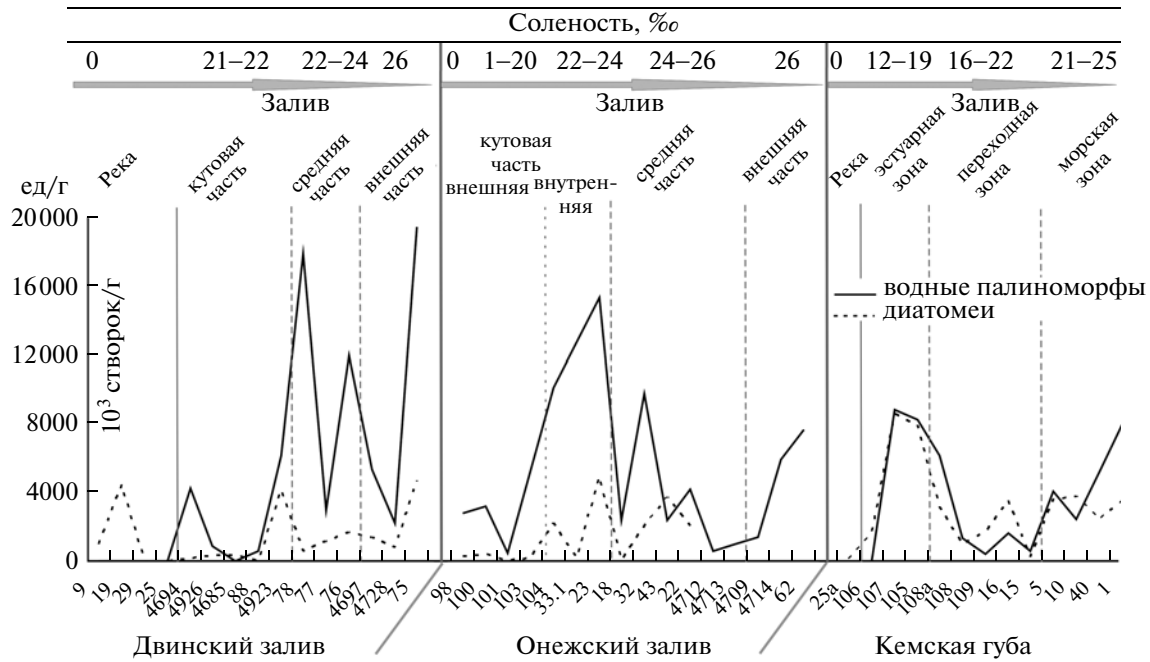


Рис. 2. Распределение концентраций водных палиноморфов (ед/г) и диатомовых водорослей (10^3 створок/г) в поверхностных осадках заливов по направлению суша–море. Данные среднемноголетней солености даны по [13].

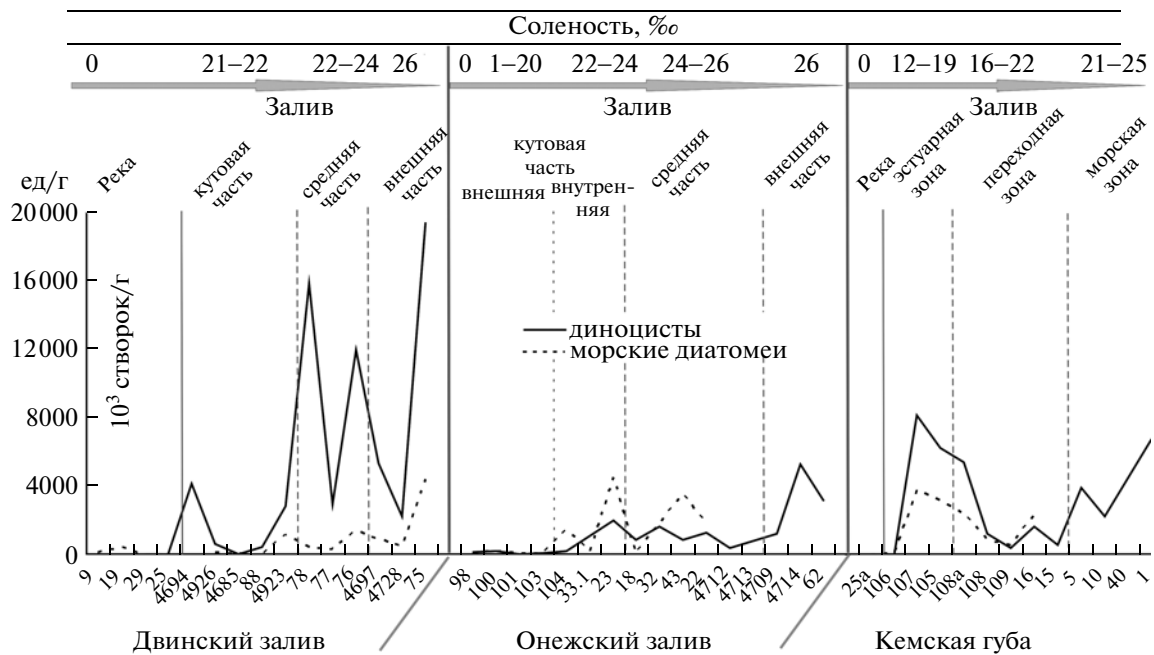


Рис. 3. Распределение концентраций диноцист (цист/г) и морских диатомовых водорослей (10^3 створок/г) в поверхностных осадках заливов по направлению суша–море.

мутности вод, что препятствует развитию фитопланктона.

С удалением от устьев рек и увеличением солености вод (в Двинском, Онежском заливах до 22–24‰, в Кемской губе до 12–19‰) установлено резкое возрастание концентраций морских, пре-

имущественно планктонных диатомей и цист автотрофных видов динофлагеллят в осадках, на фоне снижения общей концентрации водной взвеси ([2–5], рис. 3). Это свидетельствует о возросшей продуктивности вод, что соответствует биологической ступени МФ [6, 7].

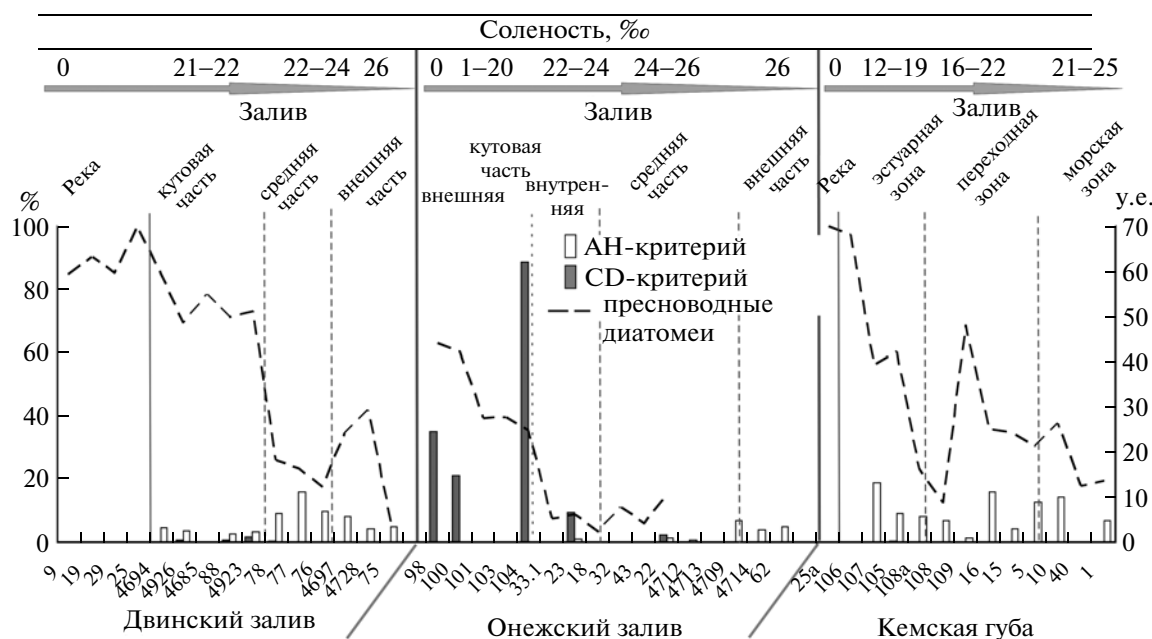


Рис. 4. Распределение доли пресноводных диатомей (левая шкала), CD-, AN-критериев (правая шкала) в поверхностных осадках заливов по направлению суша–море.

При повышении солености вод (до 22–24–26‰) во всех заливах концентрации микроводорослей в осадках снижаются главным образом за счет сокращения численности пресноводных диатомей и практически полного исчезновения зеленых водорослей, поступающих в заливы с речным стоком. Во внешней, морской части заливов, как правило, концентрации морских диатомей и цист возрастают в несколько раз.

Региональные особенности ассоциаций микроводорослей в осадках связаны в основном с видовым составом диатомей и цист динофлагеллят, которые определяются спецификой заливов – распределением глубин в устьях рек, амплитудой приливо-отливных течений, физико-географическими условиями водосборов. Так, максимальные концентрации автотрофных видов диноцист характерны для прозрачных вод Кемской губы, что создает благоприятные условия для развития фотосинтезирующих видов. Высокая мутность вод в Онежском заливе (приливо-отливные течения) обуславливает минимальное содержание диноцист автотрофных видов. В наибольших количествах они появляются только во внешней части залива, где высока численность гетеротрофных видов. В группе морских диатомей в мелководных Онежском заливе и Кемской губе доминирует полубентический эпифитный вид *Paralia sulcata*, а в более глубоководном Двинском заливе – планктонные виды из родов *Thalassiosira*, *Coscinodiscus*.

Таким образом, удалось установить общие закономерности формирования ассоциаций микроводорослей в поверхностных осадках в услови-

ях МФ и выявить некоторые региональные особенности.

Авторы выражают благодарность академику А.П. Лисицыну за всестороннюю помощь и поддержку, экипажам нис “Профессор Штокманн”, “Эколог”, “Иван Петров”, В.П. Шевченко, А.С. Филиппову, А.Н. Новигатскому за помощь при отборе образцов и сборе материалов для статьи, чл.-корр. РАН Ю.С. Долотову за предоставление части проб и возможность участия в рейсах.

Исследования поддержаны Президиумом РАН (программа № 23) и Отделением наук о Земле РАН (проект “Наночастицы...”), НШ-618.2012.5, а также РФФИ (грант 12–05–00998-а, 12–05–31152-мол-а), МК-2198.2013.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П. В кн.: Система Белого моря. М.: Науч. мир, 2010. Т. 1. С. 353–445.
2. Кравчишина М.Д., Лисицын А.П. // Океанология. 2011. Т. 51. № 1. С. 94–109.
3. Долотов Ю.С., Римский-Корсаков Н.А., Теликовский А.А. и др. // Океанология. 2005. Т. 45. № 6. С. 927–935.
4. Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Шевченко В.П. и др. // Океанология. 2008. Т. 48. № 2. С. 276–289.
5. Shevchenko V.P., Dolotov Y.S., Filatov N.N., et al. // Hydrol. and Earth Syst. Sci. 2005. V. 9. P. 57–66.
6. Лисицын А.П. // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.

7. Лисицын А.П. В кн.: Система моря Лаптевых: современное состояние и история развития. М.: Изд-во МГУ, 2009. С. 71–121.
8. Polyakova Ye.I., Dzinoridze R.N., Novichkova T.S., et al. // *Oceanology*. 2003. V. 43. Suppl. 1. P. S144–S158.
9. Полякова Е.И., Кассенс Х., Штайн Р. и др. В кн.: Система моря Лаптевых: современное состояние и история развития. М.: Изд-во МГУ, 2009. С. 427–447.
10. Новичкова Е.А., Полякова Е.И. // *Океанология*. 2007. Т. 5. № 47. С. 709–719.
11. Battarbee R.W. // *Limnol. Oceanogr.* 1973. V. 18. P. 647–654.
12. Кловиткина Т.С., Баух Х.А. // *Океанология*. 2006. Т. 46. № 6. С. 911–921.
13. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР / Под ред. Б.Х. Глуховского. Л.: Гидрометеиздат, 1991. Т. 2. В. 2. 240 с.
14. Gordeev V.V. В кн.: *The Freshwater Budget of the Arctic Ocean*. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 2000. P. 297–322.
15. Белое море: Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования / Под ред. О.А. Скарлато, В.Я. Бергера. СПб.: ЗИН РАН, 1995. Ч. 1. 79 с.