

Академик РАН А.П. Лисицын, В.П. Шевченко, В.И. Буренков

Гидрооптика и взвесь арктических морей

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

Поступила в редакцию 20.12.99 г.

Основные закономерности оптики вод Арктики определены на основе системного изучения оптических свойств воды, распределения и состава взвеси, потоков осадочного вещества в водной толще с одновременным учетом физических, химических и биологических полей Арктики.

Гидрооптические исследования морей Арктики проводились пока в очень ограниченных районах. Обычно оптические параметры определялись без учета данных по содержанию и составу водной взвеси, а также о физических и биологических полях.

Первые исследования распределения взвеси были проведены в Арктике около 25 лет назад [1], они продолжались с небольшими перерывами далее в море Лаптевых, Карском и Баренцевом морях, однако для работ в те годы использовались мембранные фильтры, которые дают завышенные содержания взвешенного вещества [2, 3]. Только с появлением ядерных фильтров за последние годы удалось получить надежные результаты по распределению и составу взвеси [4–17].

Гидрооптические исследования – в особенности вертикальное непрерывное зондирование – отличаются экспрессностью и позволяют выявлять тонкую гидрооптическую структуру водной толщи, но не дают представления о составе взвешенных частиц, определяющих оптические свойства [7, 18–22]. Наиболее рациональными в настоящее время представляются исследования оптических свойств водной толщи одновременно с изучением распределения и состава водной взвеси, а также физических, биологических и химических полей. Такого рода исследования возможны с применением крупных судов, их удалось выполнить в 1991–1998 гг. в десяти рейсах, которые проводились в Западной Арктике.

С применением единой методики и единого комплекса приборов удалось получить сравнительную картину распределения оптических свойств, распределения взвеси и других показателей водной толщи от моря Лаптевых – на востоке до Норвежского моря – на западе. Поскольку главным источником взвешенного материала являются реки, то маршруты строились по меридиональным уходящим разрезам река – море, что дало возможность оценить влияние великих рек Сибири на распределение взвеси и ее оптические свойства. Все исследования проведены приблизительно в одно время – летние и осенние месяцы (август – октябрь), что также облегчает сопоставление полученных данных.

Кроме работ на океанографических станциях в некоторых рейсах проводились непрерывные определения оптических свойств поверхностных вод на ходу судна с использованием шахты в центральной части судна, куда помещались приборы [18]. В ряде рейсов удалось использовать данные спутниковых наблюдений [23].

Материалы и методы

Основная часть данных по оптическим свойствам вод была получена с помощью гидрооптического зонда «Дельфин», который использовался для непрерывного вертикального зондирования показателя ослабления света (ϵ_z) и температуры (T_z) [7, 18]. Зонд имеет двухканальную оптическую систему с одним фотоприемником с использованием переменной базы измерительного канала. Диапазон измерения показателя ослабления от 0,05 до 10 м⁻¹, погрешность измерения 0,02 м⁻¹, разрешение 0,003 м⁻¹, погрешность определения температуры 0,1 °С, глубина погружения 1 м, длина волны измерения 530 нм.

В ходе измерений информация по кабель-тросу поступала в реальном времени на бортовой компьютер и отображалась на дисплее. Обычно до работ с гидрооптическим зондом проводилось зондирование гидрологическим зондом Нейла – Брауна с анализом тонкой гидрологической структуры водной толщи, данных о распределении кислорода и др.

Эти два вида зондирования позволяли для каждой станции выделять наиболее интересные «ключевые» слои, из которых затем прицельно отбирались пластмассовыми батометрами системы «Розетт» пробы воды (10–30 л) для детального изучения взвеси.

Выделение взвеси проводилось методом фильтрации под вакуумом через ядерные фильтры диаметром 47 мм с диаметром пор 0,45 мкм, что соответствует международным стандартам. Содержание взвеси определяли взвешиванием после доведения фильтров до постоянного веса с точностью 0,05 мг.

За 7 лет исследований нам удалось выполнить вертикальное гидрооптическое зондирование на 250 станциях (рис. 1), получить около 1900 проб взвеси на тех же станциях для детальных исследований [7, 9, 14, 17, 18].

Кроме маршрутных исследований в Норвежском море близ Медвежинского желоба на протяжении 6 лет проводились полигонные исследования в районе гибели атомной подводной лодки «Комсомолец» [24, 25]. Эти исследования имели не только научное, но и прикладное значение: нужно было дать прогноз распространения возможных радиоактивных загрязнений во взвеси на глубинах около 2 км в случае возникновения утечки радиоактивных материалов.

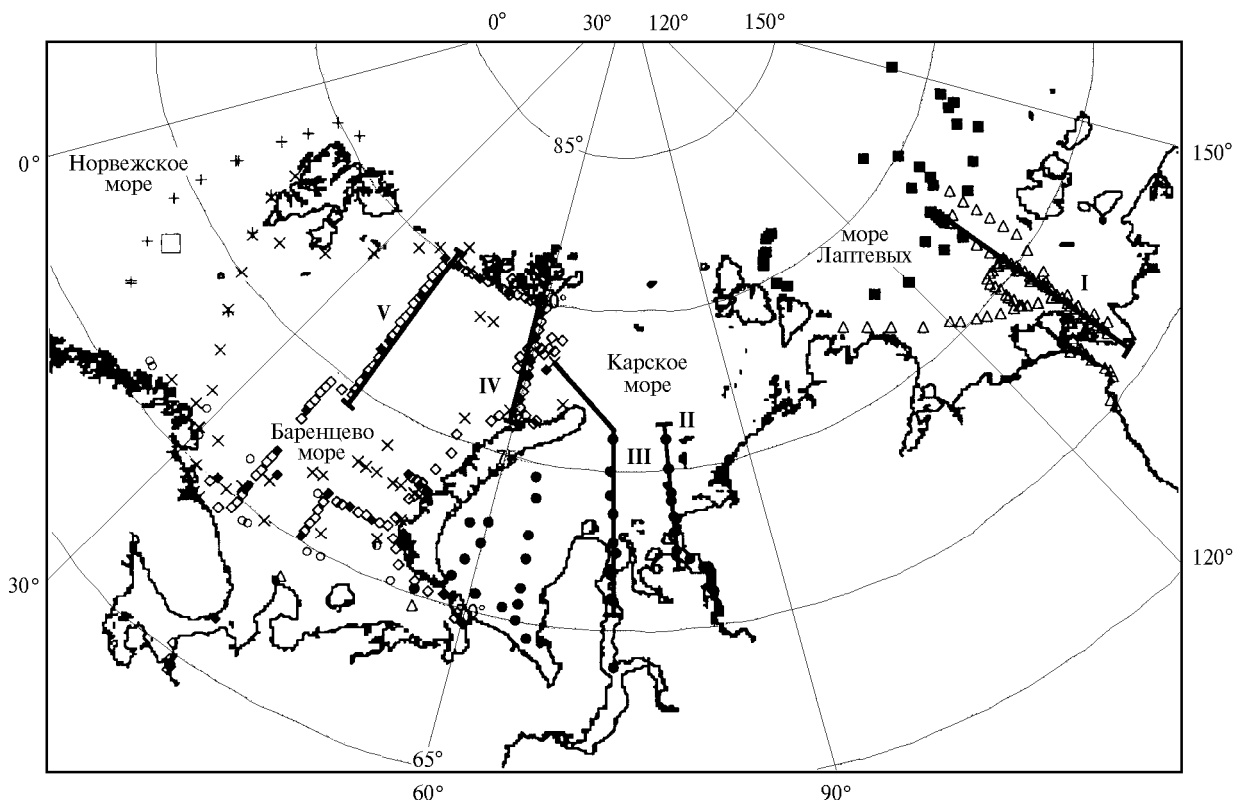


Рис. 1. Местонахождение точек отбора взвеси в арктических морях: ◆ – экспедиция SPASIBA-91; Δ, ○ – 49-й рейс НИС «Дмитрий Менделеев» (Δ – только поверхность; ○ – вертикальные разрезы); ● – 9-й рейс НИС «Профессор Логачев»; × – ARK-XI/I рейс НИС «Polarstern»; ■ – 15-й рейс НИС «Профессор Логачев»; +, ◇ – 11-й рейс НИС «Академик Сергей Вавилов» (+ – только поверхность; ◇ – вертикальные разрезы); □ – полигон на месте гибели АПЛ «Комсомолец», 6-летние исследования на НИС «Академик Мстислав Келдыш»; римские цифры – разрезы

В ходе обработки данных была найдена темная корреляция ($r = 0,90 \div 0,97$) между содержанием взвеси $C_{взв}$, мг/л, и показателем ослабления света ε , m^{-1} (рис. 2). Эта связь выражается уравнением линейной регрессии $C_{взв} = 0,81 \div 0,08$ для моря Лаптевых и $1,66 \div 0,145$ – для Баренцева моря [7, 14]. В Баренцевом море коэффициент корреляции равен 0,90, т.е. ниже, чем в море Лаптевых, что отвечает большему разнообразию взвеси, росту влияния планктонной ее части сравнительно с морем Лаптевых.

Исследования взвеси включали изучение ее гранулометрического состава с помощью счетчика Коултера [7], а также под микроскопом, определение вклада минеральных и биогенных частиц, изучение биогенных остатков, минералогический рентгеновский анализ, изучение химического и изотопного состава, детальные исследования органического вещества, загрязнений и др. [6, 15, 26–29].

Вместе с данными по физике, химии, биологии воды морей Арктики это обеспечило уникальную возможность для сопоставления оптических свойств вод с составом и количеством взвеси и ее свойствами. Удалось использовать также результаты многолетних более ранних исследований оптических свойств поверхностных вод Арктики с помощью диска Секки (рис. 3). В Карском море поступление речных вод, обогащенных взвесью, в несколько раз больше, чем в других морях Арктики. Это отчетливо видно по изолинии прозрачности 5 м, ограничивающей главную область влияния вод рек Оби, Енисея, Пура и Таза. К северу и к западу от области поступления речных вод прозрачность вод по Секки повышается до 15–20 м.



Рис. 2. Соотношение между коэффициентом ослабления света ε и содержанием взвеси $C_{взв}$ в море Лаптевых в сентябре 1991 г. (экспедиция SPASIBA-91) [7]

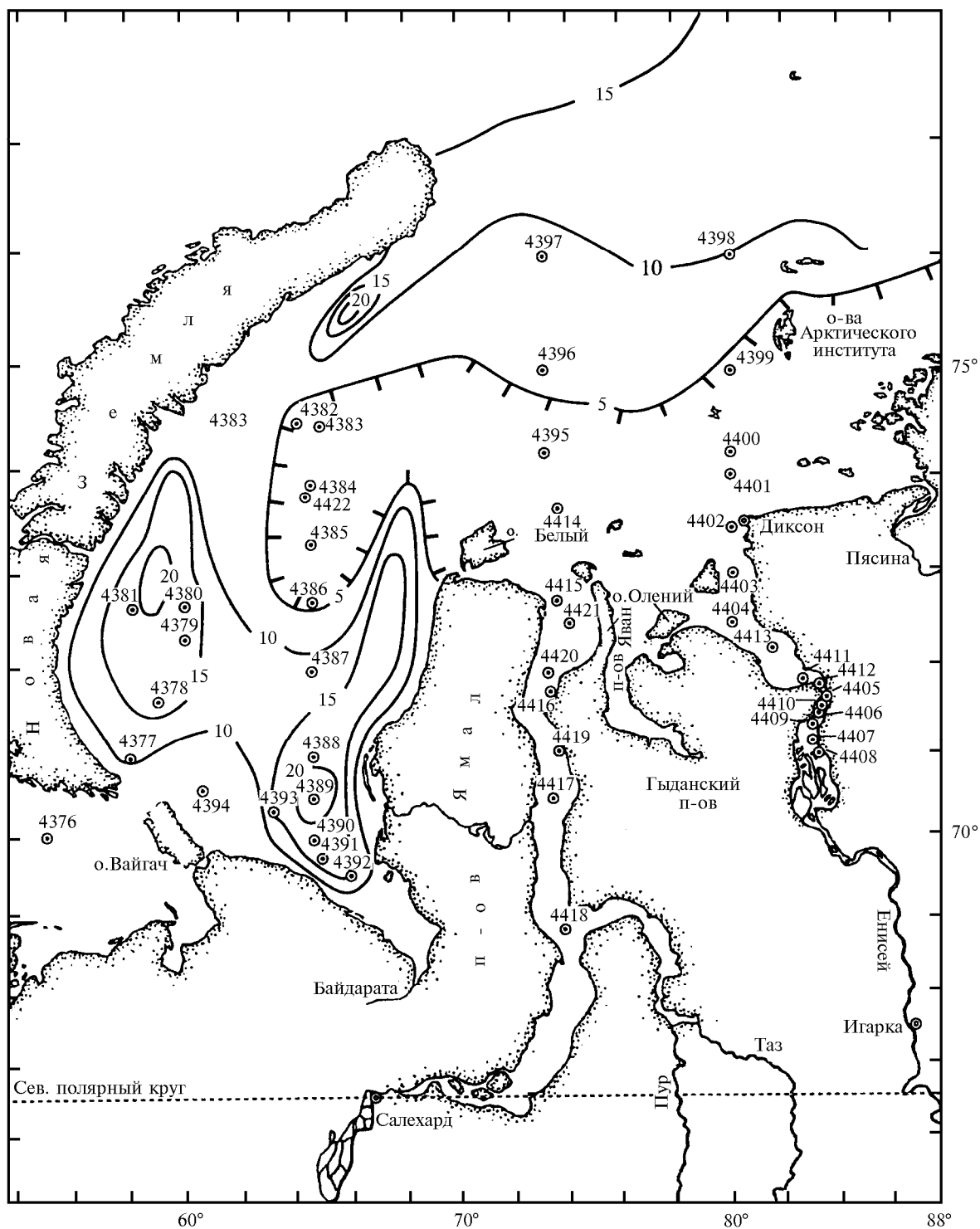


Рис. 3. Распределение глубины видимости белого диска в Карском море (по архивным данным и наблюдениям в 49-м рейсе НИС «Дмитрий Менделеев») [18]

Обсуждение результатов

Полученные результаты рассматриваются для морей Лаптевых, Карского, Баренцева и Норвежского, которые выстраиваются в ряд по уменьшению влияния речного стока (с востока на запад), продолжительности

ледового покрова, продуктивности планктона, влиянию атлантических вод и климату.

Наиболее суровыми условиями отличается море Лаптевых. Исследования по оптике и взвеси проведены здесь с борта НИС «Яков Смирницкий» в августе – сентябре 1991 г. [7]. На разрезе, уходящем на север от устья реки

Лены (рис. 4), показано изменение содержания взвеси в сопоставлении с температурой и соленостью вод. Четко видна связь между содержанием взвеси (а следовательно, и показателем ослабления) и соленостью. Выявляются два океанологических фронта с очень высокими градиентами падения взвеси, которые отвечают изохалинам 10 и 20‰. Среднее содержание взвеси в р. Лене 20–40 мг/л [30], а за пределами изохалины 20‰ – меньше 0,3 мг/л, т.е. происходит падение содержания взвеси примерно в 100 раз.

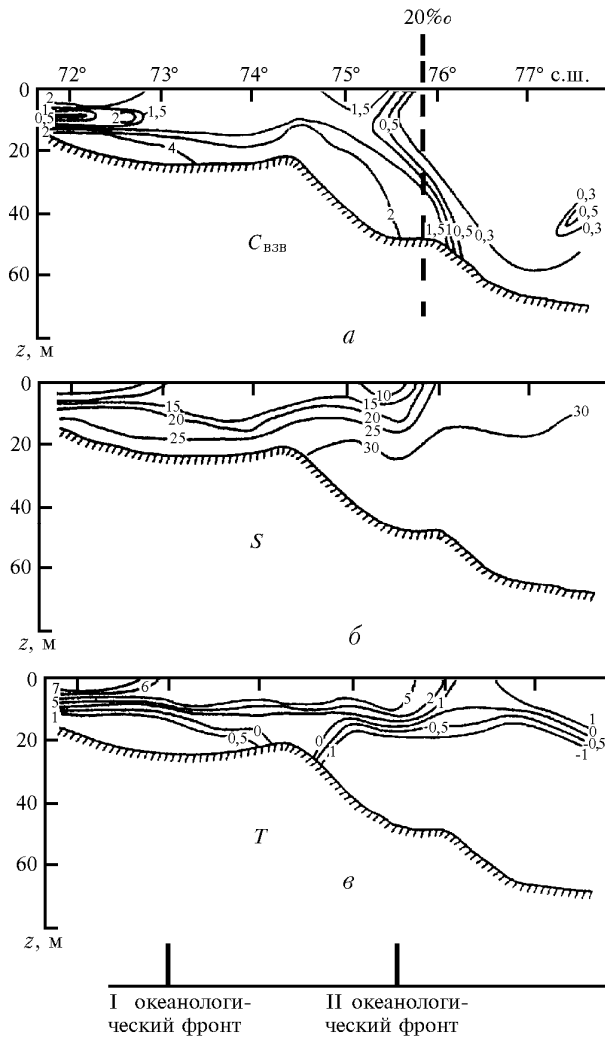


Рис. 4. Распределение содержания взвеси $C_{взв}$ (а), солености S (б) и температуры T (г) на разрезе по 130° в.д. в море Лаптевых в конце августа – начале сентября 1991 г. [7]

Сходная картина выявляется и для поверхностных вод – здесь в соответствии с распределением солености по мере удаления от устья р. Лены содержание взвеси падает приблизительно в 10 раз, причем также отмечается наиболее резкое падение в содержании близ изохалины 15–20‰ (рис. 5).

Наиболее детальные исследования удалось провести в Карском море в сентябре – октябре 1993 г. в 49-м рейсе НИС «Дмитрий Менделеев» [6, 9, 26, 28]. Наибольший интерес представляют два меридиональных разреза от устья р. Енисей (среднее содержание взвеси в реке 20–40 мг/л) и от эстуария Оби, Пура и Таза (среднее содержание взвеси 33 мг/л для Оби, 25 для Пура, 20 мг/л

для Таза), рис. 6. И здесь, как и в море Лаптевых, отмечается резкое падение содержания взвеси по мере повышения солености с резким скачком на 20‰. Это падение (в десятки и сотни раз) отвечает сложным процессам в зоне смешения речных и морских вод. Здесь последовательно, по мере удаления в сторону моря, сменяются процессы гравитационного осаждения, физико-химические процессы в коллоидных системах (коагуляция и флокуляция, образование Fe-сорбентов и С-сорбентов из растворов) и, наконец, биологические процессы (развитие фитопланктона с использованием биогенных элементов речной воды, с переводом растворенных форм элементов в биогенную взвесь и процессы биофильтрации – удаление всех видов взвеси организмами – фильтраторами зоопланктона, в основном рачками-копеподами) [31]. Скорость биофильтрации, как было установлено исследованиями в этом рейсе, очень велика – весь объем воды эстуариев профильтровывается за 1–3 сут с удалением тончайших частиц взвеси, превращением их в крупные пищевые комки – пеллеты, которые быстро осаждаются на дно [31–33].

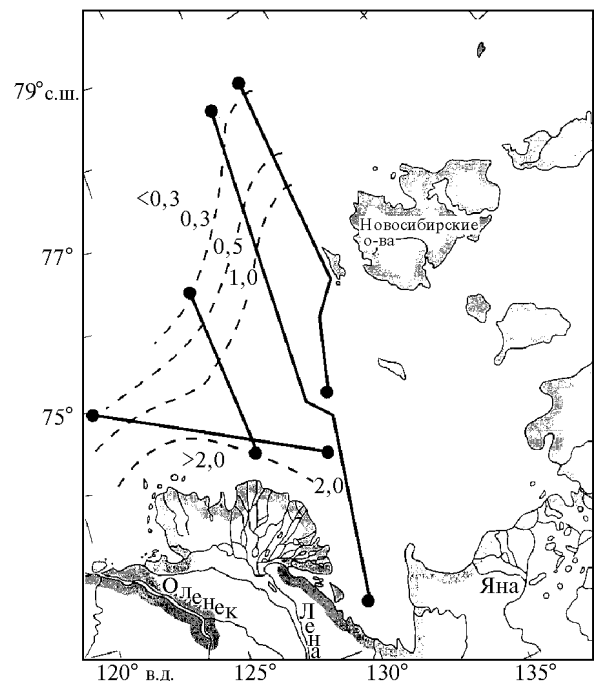


Рис. 5. Распределение содержания взвеси (мг/л) в поверхностном слое моря Лаптевых в конце августа – начале сентября 1991 г.: сплошные линии – разрезы; штриховые – изолинии содержания взвеси, мг/л [7]

Установлено, что на границе река – море осаждаются 90–93% речных взвесей и около 30–40% растворенных форм элементов, причем это явление, названное одним из авторов «маргинальным фильтром», имеет место не только в морях Арктики – это явление глобального порядка. Не вдаваясь в детали, можно сказать, что до изохалины 20‰ распределение взвеси и изменение оптических свойств идут по особым законам. Здесь осаждение идет с лавинными скоростями, и эта область Мирового океана названа зоной лавинной седиментации 1-го уровня [34].

Каковы же закономерности распределения взвеси и показателя ослабления за пределами маргинальных фильтров?

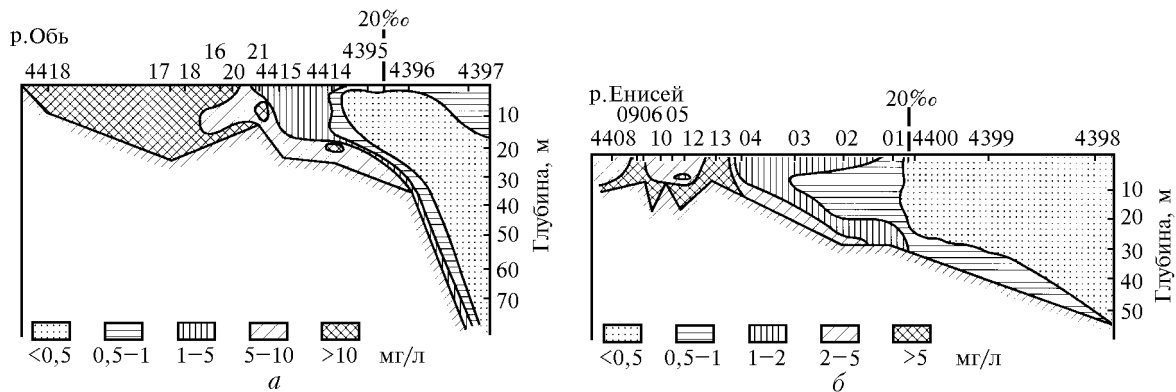


Рис. 6. Распределение содержания взвеси на разрезах река–море в устьевых зонах рек Обь (а) и Енисей (б) в сентябре 1993 г. [9]

Другая важная закономерность распределения взвеси и мутности вод в Арктике выявляется при анализе распределения взвеси в поверхностных водах желоба Святой Анны (рис. 7). Северная часть района во время исследований была покрыта паковыми льдами. По границе паковых льдов отмечается повышение содержания взвеси в 5–10 раз по сравнению с районами, удаленными от кромки льдов. Это явление MIZ (Marginal Ice Zone) связано с разгрузкой осадочного материала (взвеси) при таянии льдов [35, 36].

Среднее содержание взвеси во льдах Арктики, по нашим данным, в 10–30 и более раз выше, чем в морской воде. Кроме криозольного материала при таянии разгружаются также биогенные элементы, содержащиеся во льдах, что приводит к локальному цветению фитопланктона.

На протяжении лета происходит постепенное перемещение фронта таяния с юга на север. Идет «ковровая разгрузка» осадочного вещества льдов (криозолей) в сочетании с цветением фитопланктона и развитием комплекса биофильтраторов, соответственно идет изменение оптических свойств вод и содержания взвеси.

Третья общая для Арктики закономерность связана с вертикальным распределением взвеси за пределами маргинальных фильтров. Как видно из рис. 8, на вертикальных разрезах почти постоянно отмечается резкое изменение показателя ослабления и содержания взвеси над слоем скачка. Возникает явление «жидкого дна», при котором концентрируется значительное количество взвеси.

В Арктике, в условиях значительного распреснения поверхностных вод, слой скачка плотности особенно резко выражен.

Еще одна закономерность вертикального распределения выясняется для придонного слоя вод Арктики. При замерзании морская вода разделяется на пресную часть (лед) и на рассол, происходит холодная дистилляция морской воды. Это приводит к возникновению в Арктике в зонах интенсивного ледообразования тяжелых холодных вод, которые распространяются у дна подобно тяжелым жидкостям. Эти тяжелые воды вместе со взвесью стекают по понижениям дна в общем направлении к материковому склону, а дальше опускаются по склону на большие глубины (явление каскадинга) [37].

Нам удалось наблюдать это явление при гидрооптическом зондировании вод, а также при прицельном отборе взвеси. Понятно, что наибольших масштабов поток тяжелых вод достигает при замерзании льдов, т.е. осенью, а также зимой в полыньях при образовании внутри-

водных льдов, что устанавливается при круглогодичных наблюдениях. В ряде случаев возникновение придонного слоя мутных вод (нефелоидного слоя) устанавливается также и летом, т.е. это явление в Арктике достаточно инерционное. В отличие от других зон, где возникают только локальные нефелоидные слои около поднятий и на мелководьях, в Арктике нефелоидные слои достигают максимальных масштабов в пространстве и во времени. Так, нефелоидный слой выявляется на разрезе от устья р. Лены (см. рис. 4), он очень четко просматривается в Карском море, в том числе на разрезе до желоба Святой Анны (рис. 6, 9, 10), где видно стекание мутных вод с верхней части материкового склона до глубин 600 м (работы в августе – сентябре 1994 г.) [16], и в Баренцевом море (работы в августе – сентябре 1997 г. в 11-м рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов», рис. 11 и 12) [14, 38].

Круглогодичные наблюдения этого явления на протяжении шести лет удалось впервые провести у основания континентального склона Норвежского моря в месте гибели атомной подводной лодки «Комсомолец» [24, 25]. Здесь четко выделяются два вертикальных слоя обогащения вод взвесью: верхний (до 100 м), в значительной мере связанный с распределением фитопланктона, и нижний, достигающий максимума на глубине 1440 м и более (рис. 13). Детальные исследования сотен проб взвеси, полученных на этом полигоне, показали, что состав взвеси из верхнего слоя существенно отличается от взвеси из нефелоидного слоя. В нефелоидном слое преобладает взесь, снесенная с прилегающих шельфов Баренцева моря (т.е. с глубин менее 200 м) – это доказывается составом фораминифер, кремнистых организмов и др.

Особенности придонного нефелоидного слоя с исключительной полнотой выявляются при анализе взвеси, собранной с помощью седиментационных ловушек (рис. 14). В составе придонного потока осадочного вещества наибольшее значение имеет не биогенная часть, как можно было бы ожидать на основе изучения поверхностного слоя обогащения взвесью, а терригенный материал.

Удалось закартировать пространственное простиранье нефелоидного слоя в этом регионе, установить его мощность и траекторию перемещения у основания континентального склона. Оказалось, что слой постепенно перемещается в северном направлении, к проливу Фрама, достигает склонов Шпицбергена и далее, вероятно, проникает в Центральную Арктику [24, 39]. В этом же направлении будут перемещаться возможные радиоактивные загрязнения от ядерных устройств подводной лодки. Таких явлений на протяжении всего срока наблюдений не отмечалось.

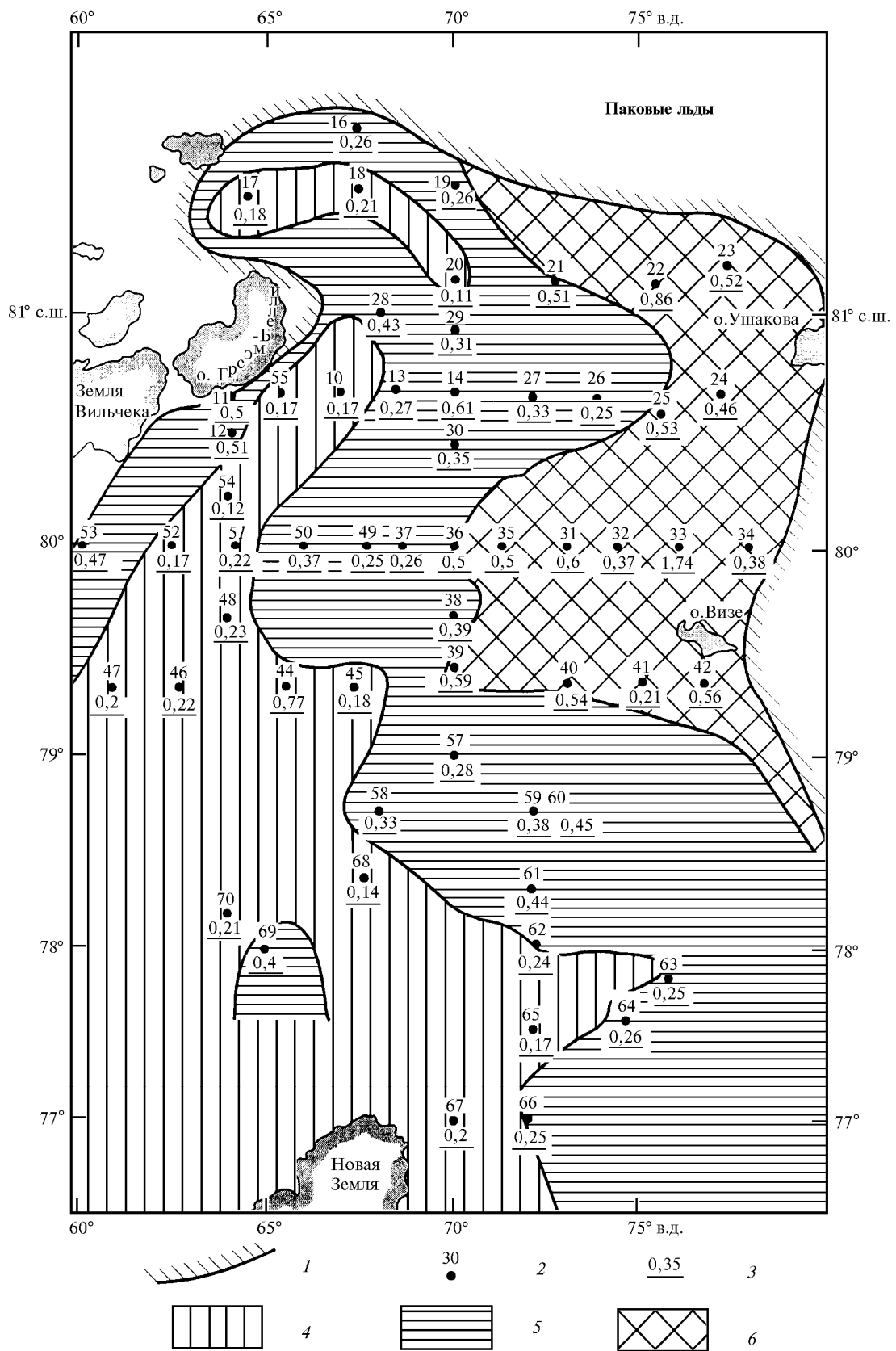


Рис. 7. Распределение взвеси в поверхностном слое воды в желобе Святой Анны в августе 1994 г.: 1 – кромка ледового поля; 2 – номера станций; 3 – содержание взвеси, мг/л; 4 – < 0,25 мг/л; 5 – 0,25–0,5 мг/л; 6 – > 0,5 мг/л [17]

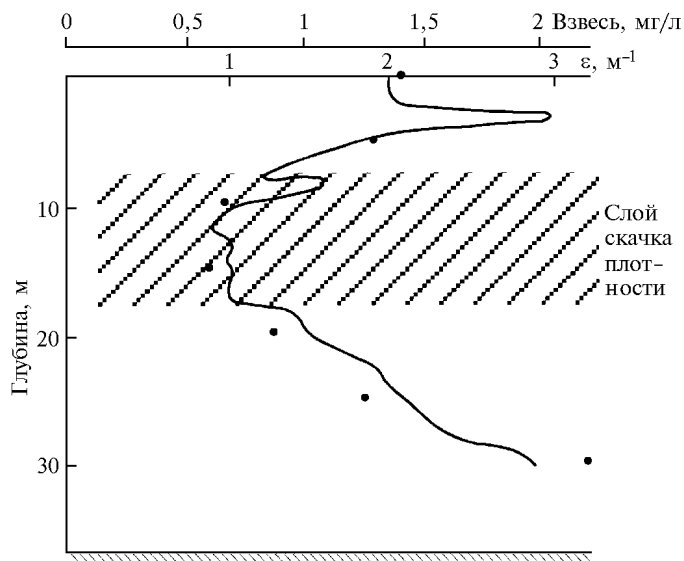


Рис. 8. Распределение содержания взвеси и показателя ослабления света ϵ на ст. 4402, расположенной во внешней части Енисейского залива (49-й рейс НИС «Дмитрий Менделеев», 17 сентября 1993 г.). Точки – взвесь; кривая – ϵ

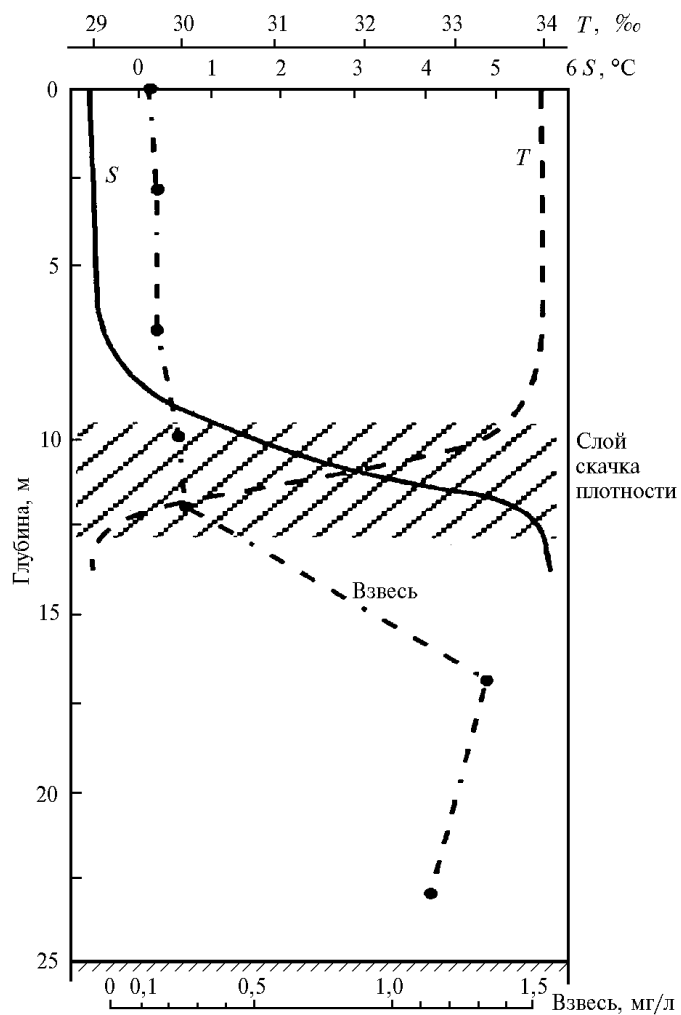


Рис. 9. Распределение температуры (T), солёности (S) и содержания взвеси на ст. 4392 в Байдарцкой губе Карского моря (49-й рейс НИС «Дмитрий Менделеев», 6 сентября 1993 г.)

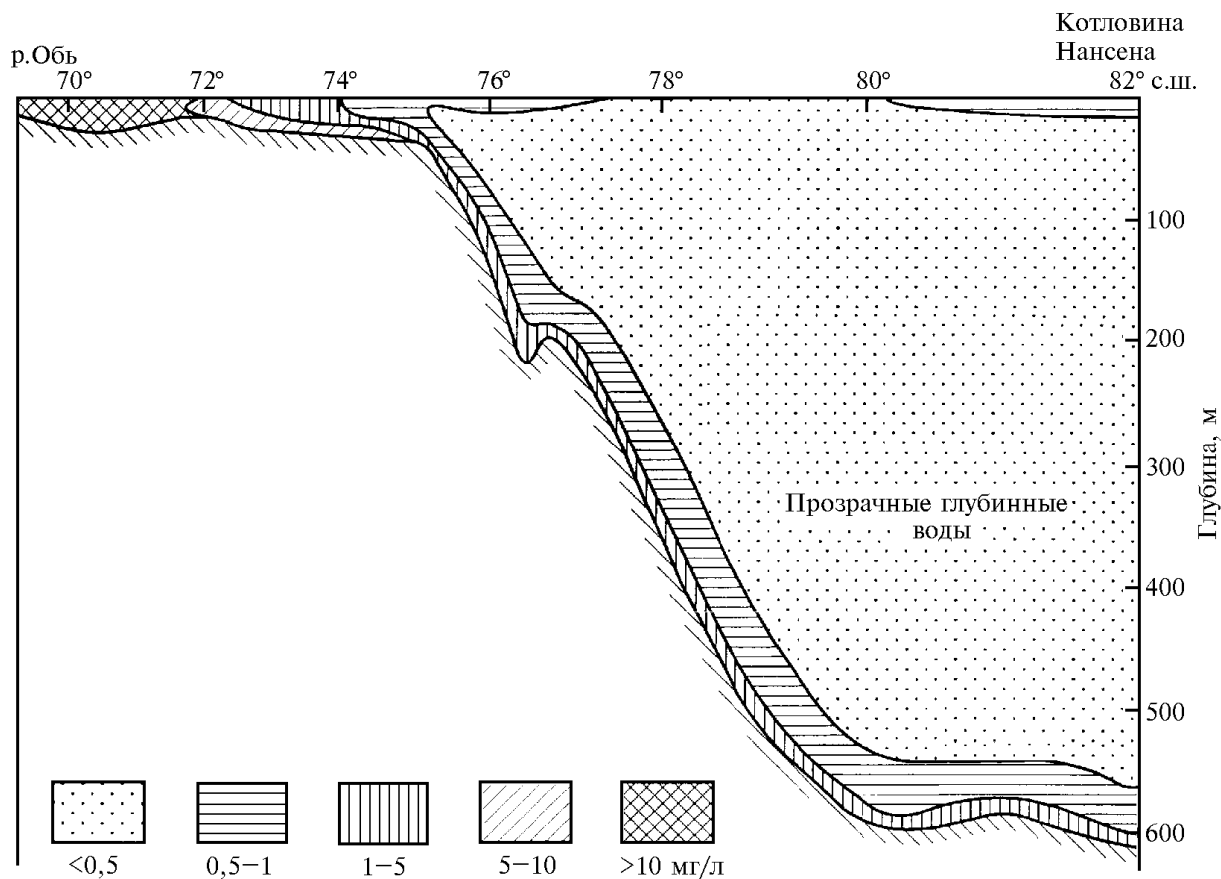


Рис. 10. Распределение взвеси на разрезе от эстуария р. Обь в желоб Святой Анны в августе – сентябре (данные 49-го рейса НИС «Дмитрий Менделеев» и 9-го рейса НИС «Профессор Логачев») [17]

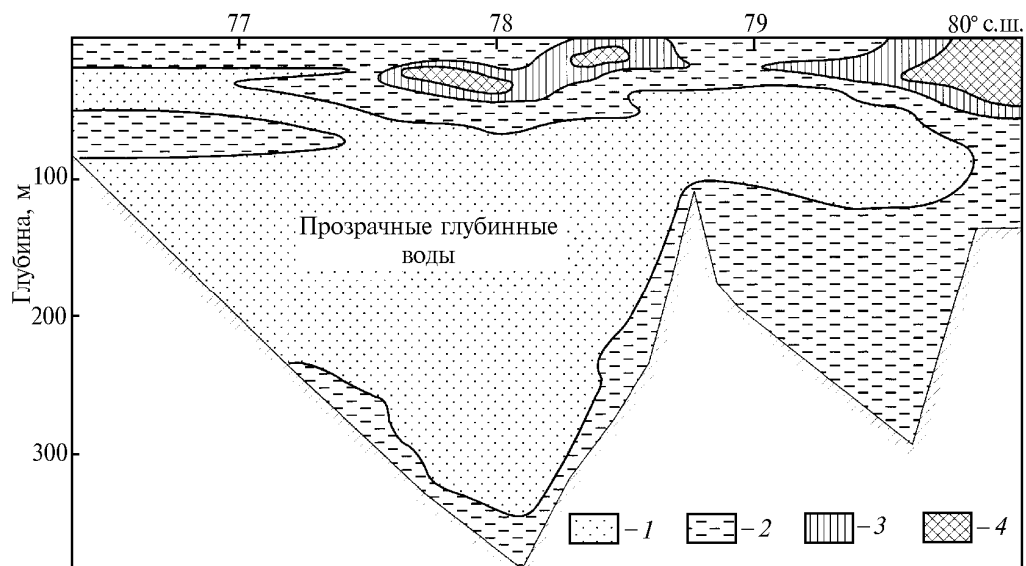


Рис. 11. Распределение взвеси в Баренцевом море на разрезе по 60° в.д., мг/л: 1 – <0,1; 2 – 0,1–0,3; 3 – 0,3–0,5; 4 – >0,5 [14]

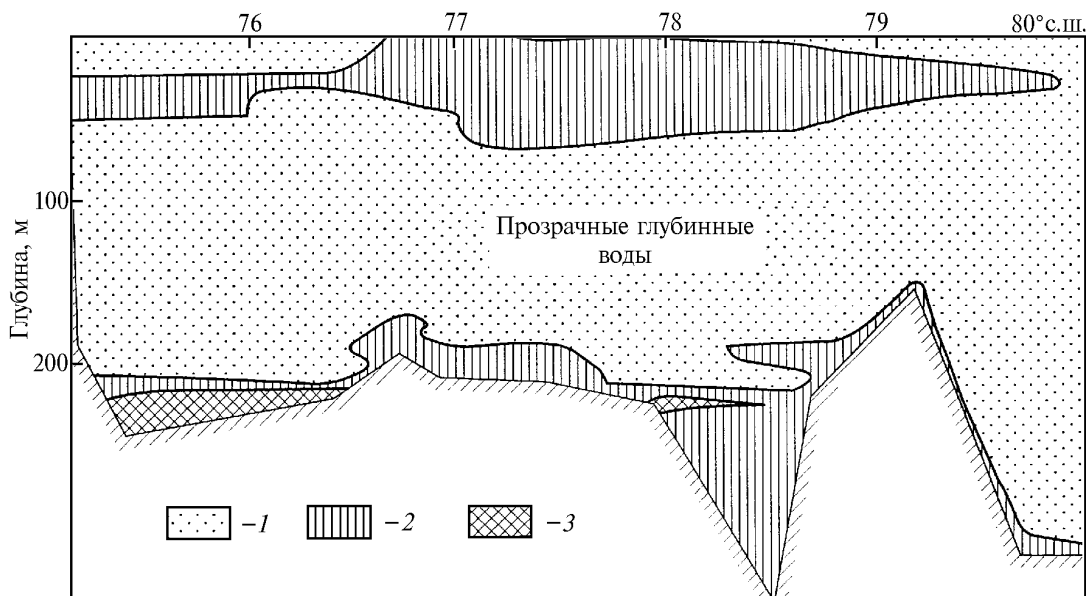


Рис. 12. Распределение взвеси в Баренцевом море на разрезе 40° в.д., мг/л: 1 – $< 0,3$; 2 – $0,3-0,5$; 3 – $> 0,5$ [14]

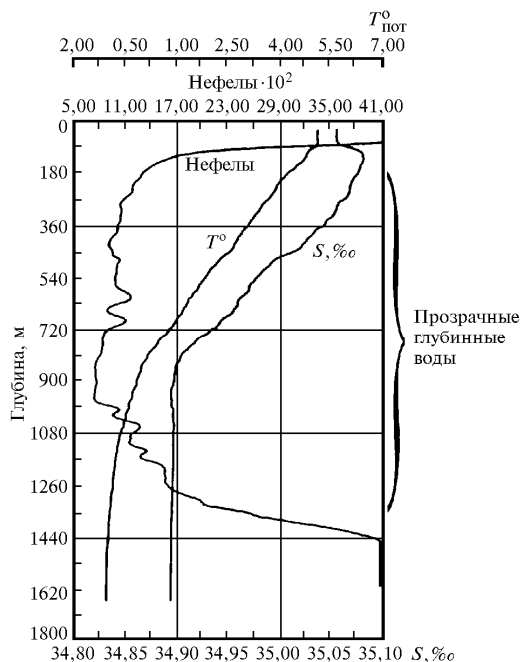


Рис. 13. Распределение гидрофизических характеристик и мутности, типичное для полигона «Комсомолец» [24]

Выводы

Одновременное изучение гидрооптики, взвеси, планктона и физических полей морей Арктики с применением новых методов, в том числе спутниковых наблюдений, проведенное отечественными исследователями за последние годы, позволяет сделать следующие выводы.

1. Главная часть взвеси, определяющая оптические свойства вод, в отличие от других климатических зон океана, связана с поставкой взвеси из рек, ее захватом и перераспределением морскими льдами, а не определяется фитопланктоном.

2. Малый вклад планктона в формирование оптических свойств воды в Арктике определяется не только

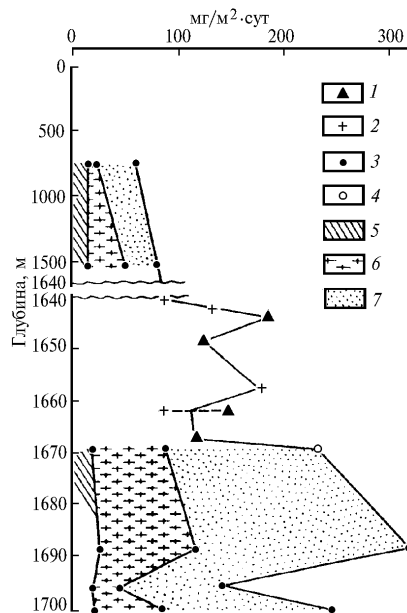


Рис. 14. Структура вертикального потока осадочного материала на полигоне «Комсомолец»: 1 – ст. 2497; 2 – ст. 2498; 3 – ст. 3087; 4 – ст. 3088; 5 – органическое вещество; 6 – биогенный карбонатный материал; 7 – терригенный материал [25]

низкими температурами, ледовым покровом и явлением полярной ночи, но также и незначительным поступлением биогенов. Последнее определяется слабым развитием химического выветривания в водосборах, скованных мерзлотой, отсутствием в холодных почвах азотобактера, а также связыванием значительной части фосфора С-сорбентом и Fe-сорбентом в маргинальных фильтрах.

3. Для рек Арктики, в том числе для великих сибирских рек, характерны низкие содержания взвеси – чаще всего от 20 до 50 мг/л при среднем содержании взвеси для рек мира – 490–500 мг/л.

4. Среднее содержание взвеси в поверхностных водах морей Арктики равно $0,1-0,5$ мг/л, а в Центральной Арктике даже меньше $0,1$ мг/л.

5. Установлены тесные прямые связи между содержанием взвеси и показателем ослабления света (уравнение линейной регрессии) с коэффициентом корреляции в морях Западной Арктики в пределах 0,90–0,97. Воды арктических морей отличаются высокой прозрачностью, приближающейся к прозрачности вод тропической Атлантики (за исключением западной части Баренцева и Норвежского морей).

6. Многолетние исследования в Арктике на разрезах река – море показали, что подавляющая часть речных взвесей осаждается близ устьев в пределах изохалины 20‰, где идет лавинное осаждение взвеси, осветление вод (маргинальный фильтр по Лисицыну, 1994). В маргинальных фильтрах рек Арктики осаждается 90–93% взвеси рек и около 30–40% растворенных форм элементов. Эти фильтры – многоступенчатые со сменой гравитационной, физико-химической и биологической частей.

7. За пределами маргинальных фильтров на распределение оптических свойств воды, определяемых взвесью, главное влияние оказывают морские льды. При летнем таянии льдов и их отступлении на север по внешней кромке таяния идет развитие фитопланктона и фильтраторов зоопланктона (явление MIZ). Эта фронтальная зона продвигается весной и летом к северу, происходит ковровая разгрузка льдов от осадочного вещества (его во льдах примерно в 10–20 раз больше, чем в воде) и от заключенных в них биогенных элементов, необходимых для планктона. Возникает широкая зона повышенной мутности, постепенно смещающаяся к внешним частям шельфа.

8. Для морей Арктики типична резко выраженная сезонность, причем главные изменения происходят за 2–3 летних месяца. Пик речного стока сменяется пиком цветения планктона, а осенью – пиком ледообразования и возникновения рассолов – тяжелых вод, обогащенных солями, «отжатыми» из морской воды при ее замерзании (холодная дистилляция). В зимнее время по крупным полыньям возникают пики образования внутриводного льда, которым отвечают зимние пики возникновения тяжелых вод, обогащенных взвесью (нефелюидный слой).

9. Тяжелые воды, обогащенные взвесью (нефелюид), перемещаются по понижениям дна в общем направлении к континентальному склону. Здесь придонный нефелюидный слой стекает по склону (каскадинг) и далее в зависимости от плотности происходит его растекание по изопикническим поверхностям. Наиболее плотные воды с взвесью распространяются у дна.

10. Для распределения нефелюидного слоя в Центральной Арктике характерна его связь с поступлением атлантических промежуточных вод, которые поступают из пролива Фрама и далее против часовой стрелки огибают глубоководную часть Арктики (контурное течение). Они прослежены по оптическим свойствам и взвеси на глубинах от 200 м близ пролива Фрама с углублением до 1700 м в Канадской котловине.

11. Таким образом, для морей Арктики характерна резко выраженная двуслойная структура вод с двумя максимумами взвеси: на поверхности (над пикноклином) и у дна (нефелюидный слой).

12. Сочетание круглогодичных наблюдений в глубинных слоях с помощью седиментационных ловушек и спутниковых наблюдений (SeaWiFS) позволяет выяснить изменения оптических свойств и содержания и состава

взвеси не только по поверхности и на глубинах (3-D исследования), но также и во времени (4-D исследования). Это открывает возможности для круглогодичного оптического мониторинга и прогноза.

13. Под толщей паковых льдов прозрачность вод Арктики, по имеющимся пока неполным данным, близка или превышает прозрачность вод Саргассова моря – содержание взвеси менее 0,1 мг/л.

14. Приведенные закономерности определяют распределение и состав взвешенных форм загрязнений по поверхности, в толще вод, в разные сезоны года.

Авторы признательны экипажам научно-исследовательских судов «Яков Смирницкий», «Дмитрий Менделеев», «Профессор Логачев», «Академик Мстислав Келдыш», «Академик Сергей Вавилов», «Polarstern» за помощь.

Авторы благодарны коллегам, принимавшим участие в совместных исследованиях взвеси в арктических морях: Н.А. Айбулатову, В.А. Артемьеву, А.А. Буровкину, В.С. Быковой, Г.И. Иванову, В.М. Купцову, В.Н. Лукашину, В.А. Матюшенко, Н.В. Политовой, Е.М. Потехиной, В.Ю. Русакову, О.В. Севериной, В.В. Сивкову, В.Р. Таскаеву, А.Н. Храпко.

Авторы признательны И.В. Садовниковой за выполнение графических работ.

Исследования проводились при финансовой поддержке Миннауки РФ (грант «Глобальные изменения природной среды и климата. Направление № 1»), РФФИ (проекты № 99-05-64919 и 97-05-64576) и ИНТАС (грант INTAS-97-1881).

1. Белов Н.А. // Труды АНИИ. Л.: Гидрометеиздат, 1976. Т. 319. С. 95–100.
2. Медведев В.А., Потехина Е.М. // Океанология. 1986. Т. 26. № 4. С. 639–645.
3. Медведев В.А., Потехина Е.М. // Современные процессы осадконакопления на шельфах Мирового океана. М.: Наука, 1990. С. 110–120.
4. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Северина О.В. и др. // Геология морей и океанов: Тезисы докл. 11-й международной школы морской геологии. М.: ИО РАН, 1994. Т. 1. С. 86–87.
5. Шевченко В.П., Герасимова М.В., Корсун С.А. и др. // Биологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях океанического перигляциала: Тезисы докл. международной научной конференции. Мурманск, 1996. С. 71.
6. Шевченко В.П., Северина О.В., Майорова Н.Г., Иванов Г.В. // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1996. № 3. С. 81–86.
7. Буренков В.И., Купцов В.М., Сивков В.В., Шевченко В.П. // Океанология. 1997. Т. 37. № 6. С. 920–927.
8. Шевченко В.П., Леин А.Ю., Зернова В.В. и др. // Доклады Академии наук. 1997. Т. 355. № 6. С. 805–807.
9. Shevchenko V.P., Lisitsin A.P., Ivanov G.I. et al. // Natural Conditions of the Kara and Barents Seas. Oslo: Norsk Polarinstut, 1997. P. 431–435.
10. Бадюков Д.Д. // Новая Земля. Природа. История. Археология. Культура. Кн. 1. М., 1998. С. 87–100.
11. Герасимова М.В., Митяев М.В., Корсун С.А. Морской перигляциал и оледенение Баренцево-Карского шельфа в плейстоцене // Тезисы докл. международной конференции. Мурманск, 19–21 ноября 1998 г. Апатиты, 1998. С. 26–27.
12. Герасимова М.В., Митяев М.В., Шевченко В.П. Морской перигляциал и оледенение Баренцево-Карского шельфа в плейстоцене // Тезисы докл. международной конференции. Мурманск, 19–21 ноября 1998 г. Апатиты, 1998. С. 27–29.
13. Korsun S., Hald M. // Arctic and Alpin Res. 1998. V. 30. № 1. P. 61–77.

14. Айбулатов Н.А., Матюшенко В.А., Шевченко В.П. и др. // Геоэкология. 1999. № 6. С. 526–540.
15. Lukashin V.N., Ljutsarev S.V., Krasnyuk A.D. et al. The Kara Sea Expedition of RV «Akademik Boris Petrov» 1997: First Results of a Joint Russian–German Pilot Study. // Berichte zur Polarforschung. 1999. № 300. P. 155–178.
16. Shevchenko V.P., Ivanov G.I., Shanin S.S., Romankevich E.A. // Berichte zur Polarforschung. 1999. № 342. P. 55–67.
17. Shevchenko V.P., Lisitzin A.P., Aibulatov N.A. et al. // PACON 99 Abstracts. М., 1999. P. 144.
18. Буренков В.И., Гольдин Ю.А., Гуреев Б.А., Судьбин А.И. // Океанология. 1995. Т. 35. № 3. С. 376–387.
19. Матюшенко В.А. // Гидрооптические исследования. М.: ИО АН СССР, 1985. С. 95–104.
20. Матюшенко В.А., Мисоченко И.Л., Попов И.К. // Докл. РАН. 1995. Т. 342. № 3. С. 403–406.
21. Матюшенко В.А., Ушаков И.Е. // Труды Морской арктической комплексной экспедиции. 1993. Т. 2. Вып. 3 «Новая Земля». С. 132–149.
22. Лукин Л.Р., Матюшенко В.А., Воробьев В.В. // Оптика атмосферы и океана. 1998. Т. 11. № 1. С. 61–64.
23. Буренков В.И., Шевченко В.П. // XIII международная школа морской геологии: Тезисы докл. М.: ГЕОС, 1999. С. 122–123.
24. Лукашин В.Н., Богданов Ю.А., Иванов Г.В. // Океанологические исследования и подводно-технические работы на месте гибели атомной подводной лодки «Комсомолец». М.: Наука, 1996. С. 258–263.
25. Лукашин В.Н., Богданов Ю.А., Гордеев В.Ю. и др. // Океанологические исследования и подводно-технические работы на месте гибели атомной подводной лодки «Комсомолец». М.: Наука, 1996. С. 263–287.
26. Лисицын А.П., Виноградов М.Е. // Природа. 1994. № 10. С. 32–43.
27. Gordeev V.V., Shevchenko V.P. // Berichte zur Polarforschung. 1995. № 176. P. 154–169.
28. Александрова О.А., Шевченко В.П. // Океанология. 1997. Т. 37. № 5. С. 715–722.
29. Серова В.В., Горбунова З.Н. // Океанология. 1997. Т. 37. № 1. С. 131–135.
30. Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.
31. Lisitzin A.P. // Biogeochemical Cycling and Sediment Ecology. Kluwer Academic Publishers, 1999. P. 69–103.
32. Лисицын А.П. // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
33. Лисицын А.П., Шевченко В.П., Виноградов М.Е. и др. // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 748–758.
34. Лисицын А.П. Лавинная седиментация и перерывы в осадконакоплении в морях и океанах. М.: Наука, 1988. 309 с.
35. Лисицын А.П. Ледовая седиментация в Мировом океане. М.: Наука, 1994. 448 с.
36. Anderson L.G. // Arctic Oceanography: Marginal Ice Zones and Continental Shelves. Coastal and Estuarine Studies. 1995. V. 49. P. 183–202.
37. Midttun L. // Deep-Sea Res. 1985. V. 32. N 10. P. 1233–1241.
38. Иванов Ю.А., Айбулатов Н.А. // Океанология. 1998. Т. 38. № 4. С. 633–637.
39. McPhee E.E., Nowell A.R.M., Sternberg R.W. // Deep-Sea Res. 1998. P. I. V. 45. N 4–5. P. 719–743.

A.P. Lisitsyn, V.P. Shevchenko, V.I. Burenkov. Hydrooptics and suspended matter in Arctic seas.

General behavior of optical characteristics of the Arctic sea water are determined based on systematic study of distribution and composition of suspended matter and flows of sediment matter in the sea water with simultaneous accounting for physical, chemical, and biological fields of the Arctic.