

А. П. Лисицын

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И СОСТАВ ВЗВЕСИ В ВОДАХ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА

СООБЩЕНИЕ I. КОЛИЧЕСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

До самого недавнего времени сведений о распределении и составе взвешенных веществ в океанах было очень мало. Особенно слабо изученным с этой точки зрения был Индийский океан, в частности его южные районы. В последние годы в связи с постановкой ряда новых вопросов осадкообразования, а также в связи с потребностями геохимии, биологии, гидрохимии и физики океанских вод появилась необходимость всестороннего исследования взвеси.

Особенно интересно изучение взвеси для морской геологии. Взвешенные частицы представляют собой, по сути дела, осадок в самых начальных стадиях его формирования [2], на пути от питающих провинций к участкам захоронения на морском дне. Взвесь существенно отличается от донных осадков, но вместе с тем имеет с ними много общего. Взвесь поступает в водоем из водосборного бассейна, а также в результате размыва берегов, в результате химических процессов в остатках организмов, а в некоторых случаях источником ее являются продукты вулканизма и эолового выноса с материков. Поэтому, зная количество и состав взвеси, можно рассматривать вопросы динамики накопления донных осадков в тесной связи с физико-географическими условиями.

Велика роль тонкого взвешенного материала в формировании ряда химических элементов моря, поскольку тонкие частицы имеют огромную поверхность и могут сорбировать целый ряд элементов и соединений. Изучение взвеси важно для того, чтобы выявить историю органического вещества в море и процессы его накопления в донных осадках, а также исследовать связь количественного и качественного состава живых планктонных организмов и их скелетных остатков в донных отложениях.

Можно назвать и многие другие проблемы седиментологии и геохимии, которые невозможно надежно решить без исследования взвеси. Изучение первичного осадочного материала в период его перемещения только начинается и в будущем даст возможность осветить многие неясные до настоящего времени стороны современной седиментации и геохимии.

Крайне важно исследование взвеси также и для биологии, поскольку взвесь является источником питания значительной части донных и глубоководных пелагических организмов, и ее состав и распределение в определенной мере предопределяют распределение и группировки донной фауны.

Имеются различные точки зрения на определение взвеси.

Под взвесью или взвешенными веществами мы понимаем все частицы и мелкие организмы планктона, находящиеся в толще морской воды и имеющие размер от 1 мм до 0,01 м.

Изучение более крупного материала показывает, что он состоит главным образом из организмов зоопланктона, и поэтому исследовать его должны в основном планктонологи. Что касается частиц менее 0,01 м, то методически улавливать их очень трудно. В дальнейшем по мере развития техники выделения тончайших взвешенных частиц, нижний предел практически уловимой взвеси, возможно, придется изменить.

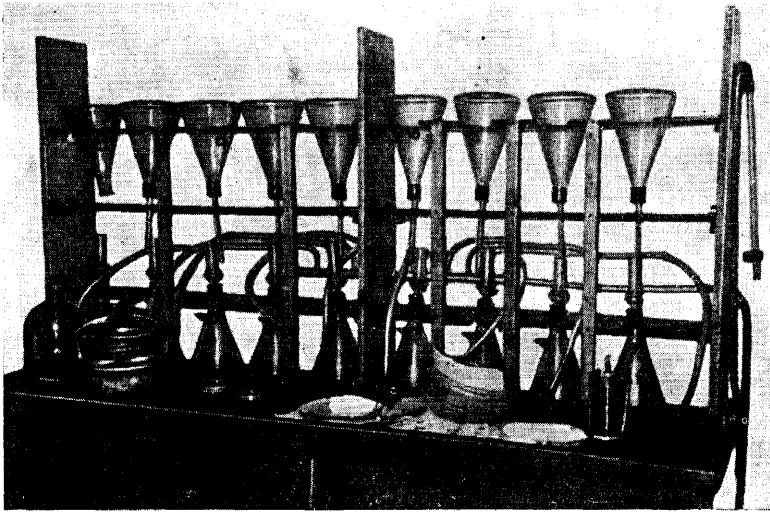


Рис. 1. Полуавтоматическая установка для мембранной ультраfiltrации с колбами на 2 л в геологической лаборатории д/э «Обь»

Несмотря на то, что интерес к изучению взвеси в морях и океанах возник давно [10], эту работу долгое время тормозило отсутствие надежной методики получения больших объемов незагрязненной воды с значительных глубин океана, а также отсутствие методов извлечения незначительного количества взвешенного материала, находящегося в этой воде. Достаточно сказать, что для получения навесок взвеси в 10—20 г при среднем содержании взвеси в океанах 0,5—1 г/м³, необходимо получить и переработать 10—40 т воды.

В последние годы в Институте океанологии АН СССР широко применяются два основных приема массового сбора и выделения взвеси:

1) полуавтоматическая мембранная ультраfiltrация с отделением частиц крупнее 0,7 м (мембранный фильтр № 3 Мытищинской фабрики мембранных ультрафильтров) (рис. 1);

2) сепарация с использованием промышленных и лабораторных суперцентрифуг с тарельчатыми вставками и многокамерных сверхцентрифуг общей производительностью до 150 т воды в сутки (рис. 2, 3).

Для получения проб воды как с поверхности, так и на вертикальных разрезах до максимальных глубин океана для мембранной ультраfiltrации используются батометры объемом в 1—2 л. Питание заборной водой сепарационной установки обеспечивается специальными центробежными насосами из некорродирующих материалов, которые забирают

воду на ходу судна с глубины около 5 м. На стоянках судна при выполнении океанографических станций использовались погружные насосы, подающие по резиновому шлангу с глубины до 200 м до 5—7 т воды в час, а также специальные батометры из нержавеющей стали объемом в 200 л, которые дают возможность брать пробы воды с любых глубин.

Для осаждения наиболее тонкого коллоидного материала, взвешенного в морской воде, используется также прямоточно-коагуляционная установка значительной производительности (рис. 3). При сепарировании морской воды для обеспечения постоянной вязкости независимо от температуры морской воды использован электро- и пароподогрев

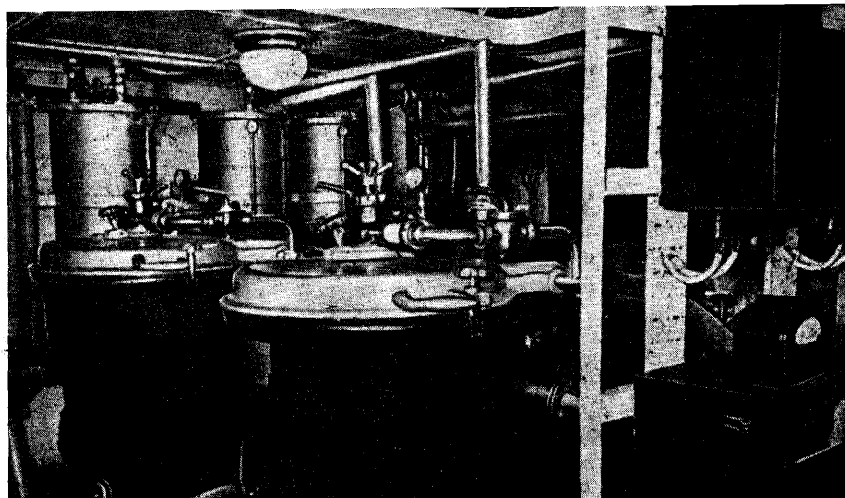


Рис. 2. Каменные сепараторы для извлечения взвеси из морской воды в геологической лаборатории д/э «Обь»

с автоматической регулировкой температуры воды, поступающей в сепараторы на уровне $+35^{\circ}\text{C}$.

Краткое описание этих приспособлений можно найти в статьях [1, 5, 6, 7]. Эти, а также другие методы, в том числе оптические, рассмотрены в более ранних работах [2, 3, 4].

С использованием описанных выше методик в первом и втором рейсах Морской Антарктической экспедиции АН СССР на дизель-электроходе «Обь», проводившихся в связи с Международным геофизическим годом в 1955—1956 гг. и в 1956—1957 гг., удалось получить большое количество проб как из поверхностных слоев океана, так и по вертикальным разрезам.

За время первого рейса д/э «Обь» были получены пробы взвеси из Индийского океана на 123 океанографических станциях (рис. 4) приблизительно с 600 стандартных горизонтов по вертикали и с поверхности, что в общем дало более 1000 основных определений концентрации взвешенного материала. Работы выполнялись с середины марта до середины июня, что соответствует для южного полушария осени и зиме. В этом рейсе были проведены также экспериментальные работы с сепарационной установкой, которые позволили получить более 20 доброкачественных проб и определить режим установки для ее постоянной эксплуатации.

За время второго рейса методом мембранной ультрафильтрации с середины января до конца мая 1957 г. было получено из Индийского океана

2679 количественных проб взвеси, из них более 1100 проб по вертикали от поверхности до дна океана. Кроме того, несколько сотен проб было взято в 1-м и 2-м рейсах на переходах от Кейптауна до Мирного и в 3-м рейсе (1957—1958 гг.) на том же участке, а также вдоль берегов Антарктиды к востоку от Мирного. Таким образом, всего из Индийского океана к настоящему времени имеется более 4000 количественных определений взвеси методом мембранной ультрафильтрации как из поверхностного слоя, так и по вертикальным разрезам на стандартных горизонтах (25, 50, 75, 100, 300, 500, 1000 м и глубже через каждую 1000 м до дна).

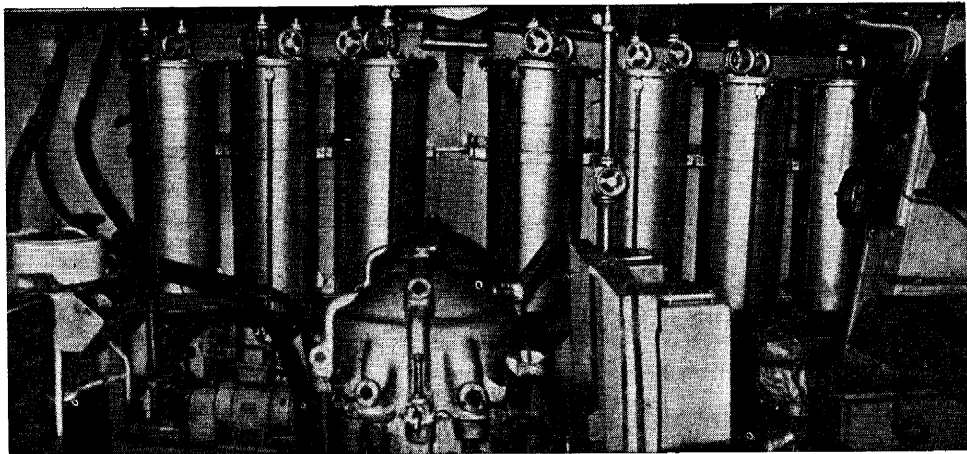


Рис. 3. Прямоточно-коагуляционная установка в геологической лаборатории д/э «Обь»

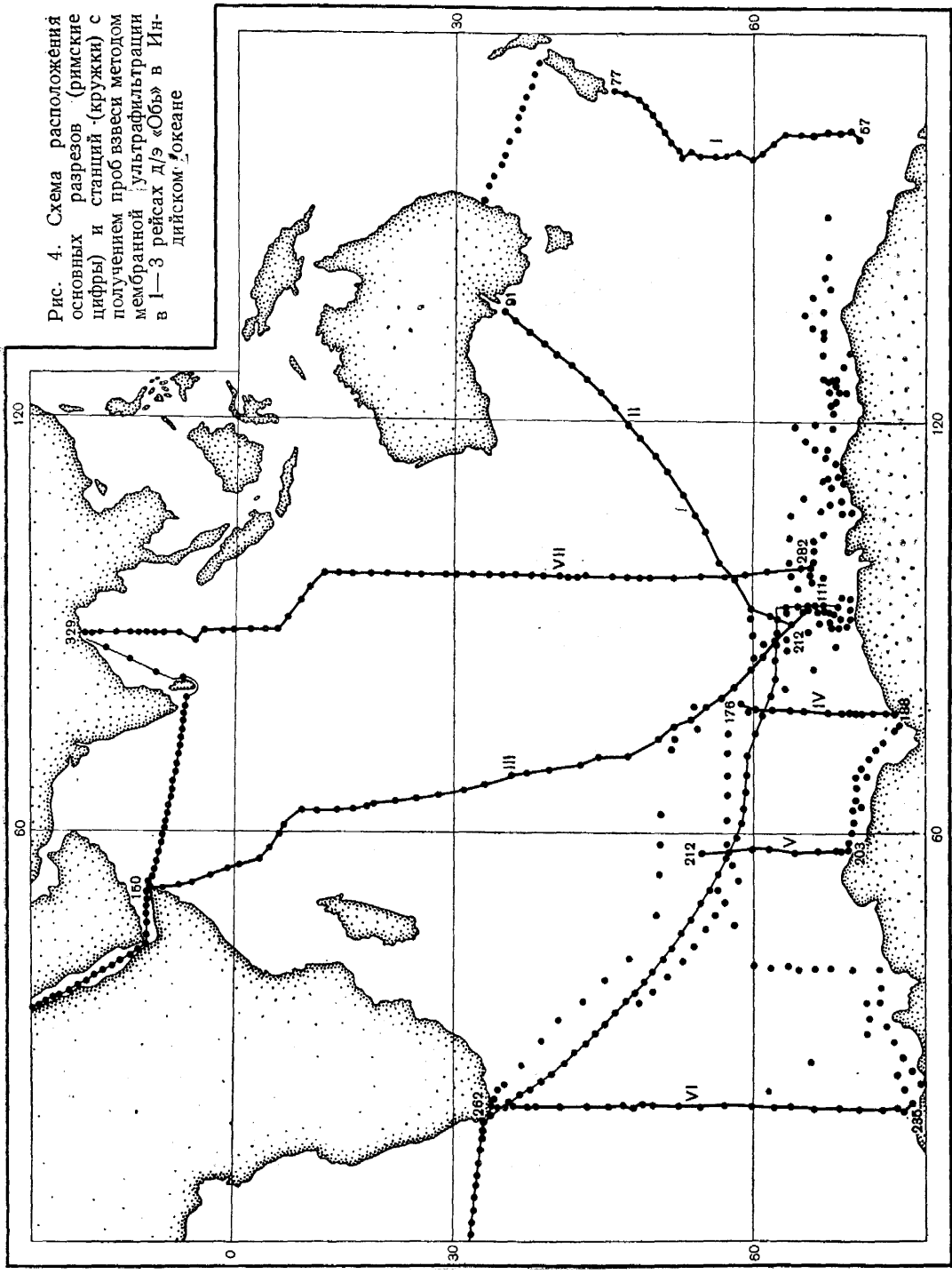
Во втором рейсе круглосуточно проводилась также сепарация взвеси из морской воды, что позволило выделить взвешенные частицы более чем из 10 000 т морской воды как с поверхности, так и с разных глубин до 200 м (переработано 500 т воды). Взвесь получена с 85 отрезков пути судна в Индийском океане (рис. 5), причем на этом участке удалось собрать более 10 кг взвешенного материала.

Использование параллельных проб, которые постоянно отбирались при работе обоими методами, дает возможность получить достаточно надежные данные о количественном распределении взвеси, а также достаточное количество материала для всестороннего исследования его вещественного состава.

В выполнении работ по сбору взвеси помимо автора принимали участие С. Е. Алферов, В. М. Басов, Е. И. Баранов, А. Ф. Береснев, Е. И. Сняжков, В. В. Шипорин, А. Ф. Шмырев и многие другие сотрудники геологического отряда экспедиции, которым автор выражает благодарность.

Данные по количественному распределению взвеси, полученные в первом рейсе экспедиции (рис. 6), показывают, что в марте — июне в поверхностном слое наибольшие площади Индийского океана заняты водами, содержащими взвешенного материала 0,5—1 г/м³. Только в одном случае определена концентрация менее 0,5 г/м³ (к югу от Маскаренских о-вов, станция 128—0,39 г/м³). Максимальное содержание взвеси (2,2 г/м³) было обнаружено на станции 41 у берегов Земли Банзаре. Значительная область холодных антарктических вод на участке от 120° в. д. до о-вов Баллени имеет концентрацию взвешенного материала в пределах от 1 до 2 г/м³, что связано с развитием фитопланктона близ кромки

Рис. 4. Схема расположения основных разрезов (римские цифры) и станций (кружки) с получением проб взвеси методом мембранной ультрафильтрации в 1—3 рейсах д/э «Обь» в Индийском океане



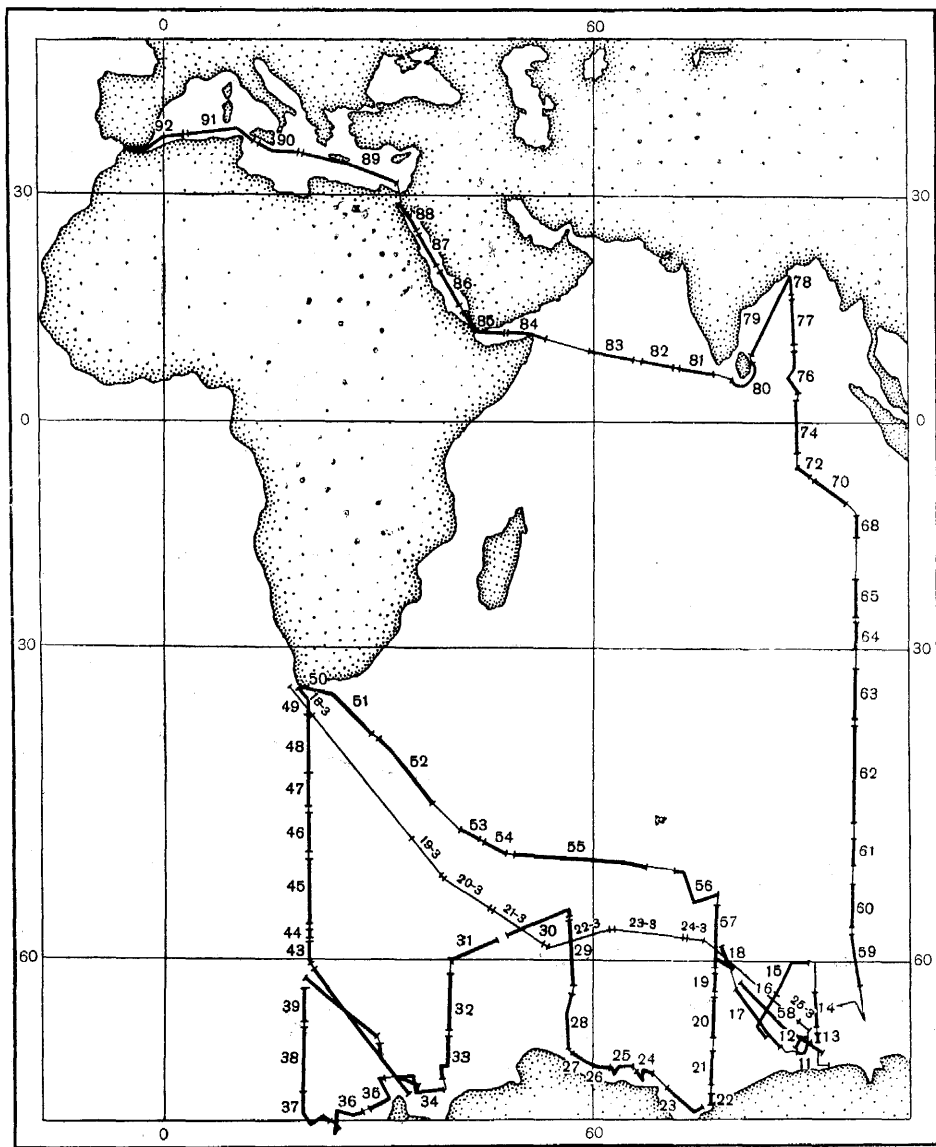


Рис. 5. Схема расположения станций с получением проб взвеси методом сепарации во 2—3 рейсах д/э «Обь» в Индийском океане

льдов. Появление отдельных участков с повышенной концентрацией взвеси обычно связано в антарктических водах с развитием диатомовых водорослей.

Возрастание концентрации взвеси отмечается также и по мере приближения к островам или материкам, но в некоторых случаях это отмечается

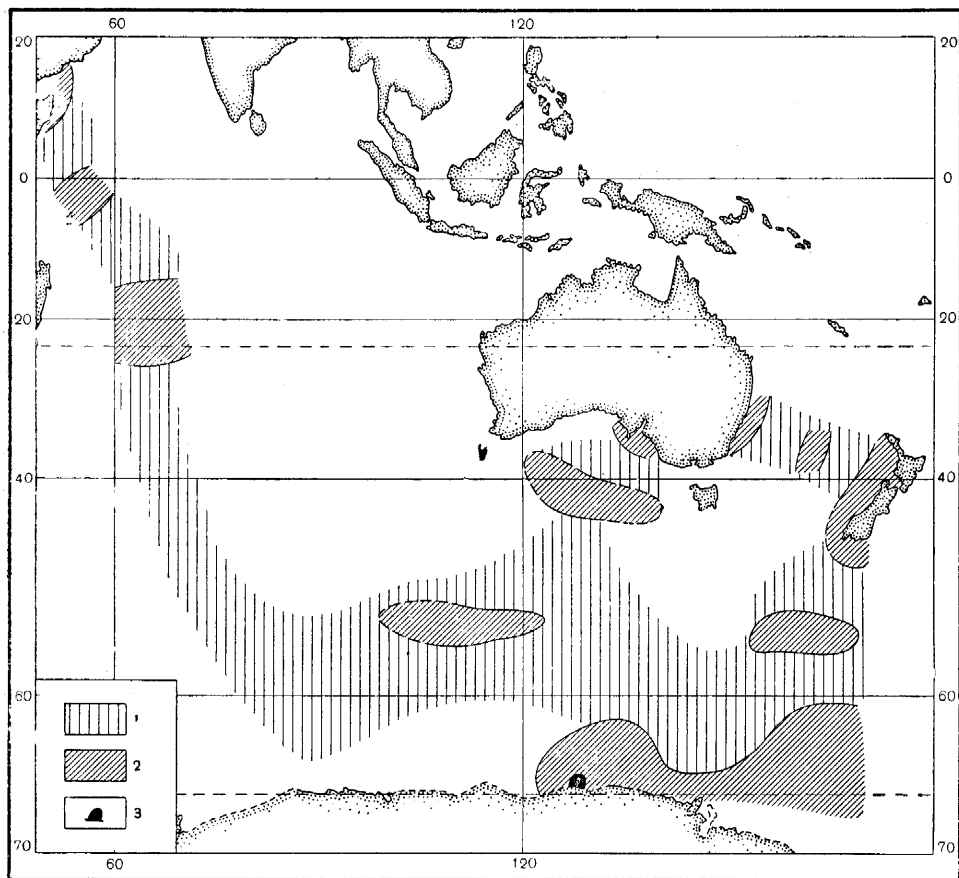


Рис. 6. Схема количественного распределения взвеси в поверхностном слое Индийского океана по данным мембранной ультрафильтрации в 1-м рейсе д/э «Обь»

1 — 0,5–1 г/м³, 2 — 1–2

нечетко. Так, возрастание концентрации взвеси прослеживается при приближении к Маскаренским и Сейшельским о-вам, Аденскому заливу (в этом случае большую роль играет эоловый материал), а также к берегам Новой Зеландии и Австралии. Поскольку исследования проходили в основном в осенне-зимний период, влияние фитопланктона на содержание взвеси было минимальным.

Средние данные по содержанию взвеси в поверхностных водах Индийского океана и других водоемов приведены в таблице. Из таблицы видно, что содержание взвеси в поверхностных водах Индийского океана, включая и антарктические его воды, оказывается в осенне-зимнее время очень незначительным.

Более полные данные о содержании взвеси в поверхностных водах Индийского океана были получены во время второго рейса Морской Антарктической экспедиции. На рис. 7 приведена схема количественного

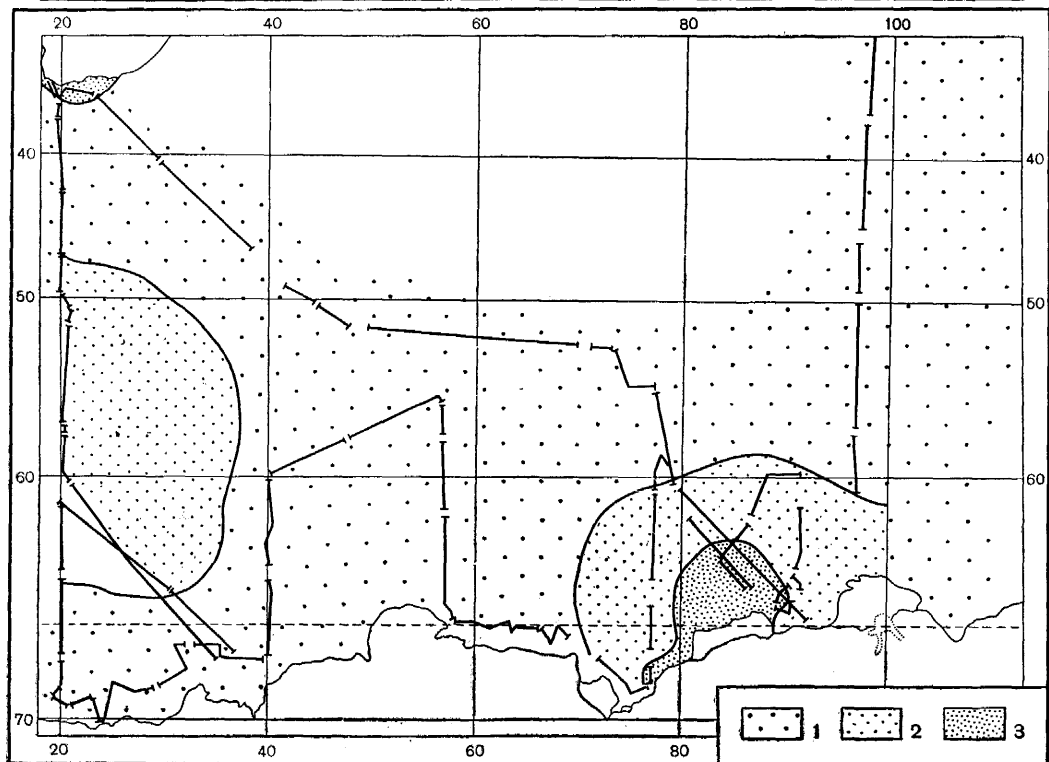
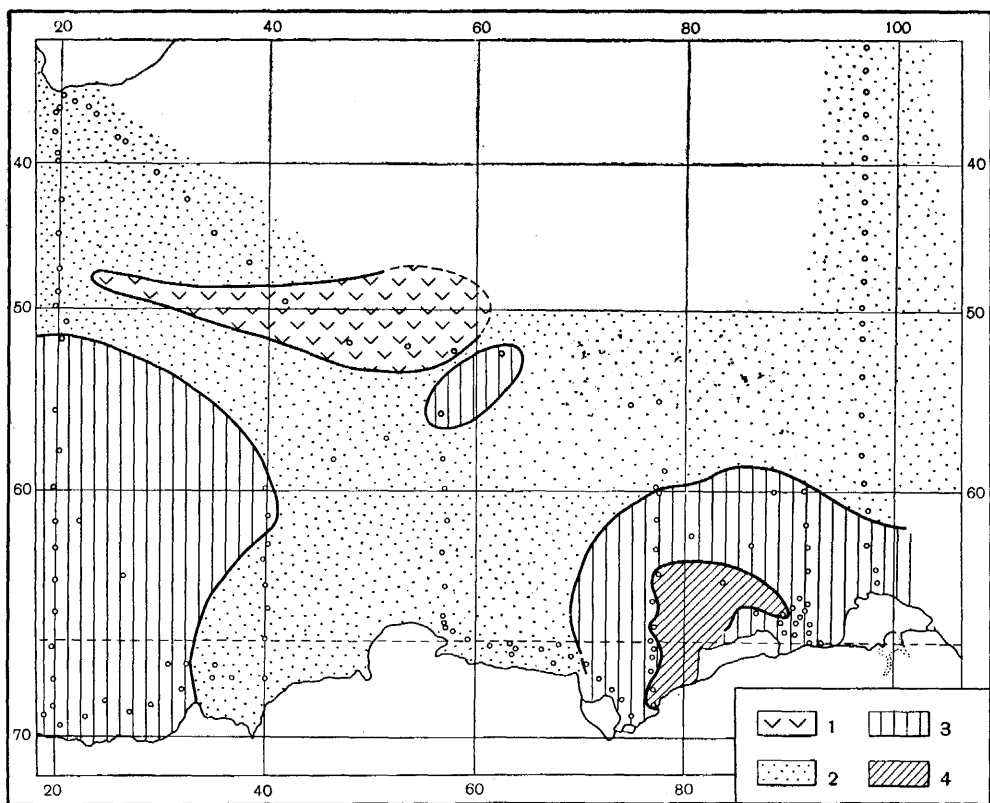


Рис. 7. Схема количественного распределения взвеси в поверхностном слое Индийского океана (во 2-м рейсе д/э «Обь»)

вверху — по данным мембранной ультрафильтрации 1 — меньше $0,5 \text{ г/м}^3$, 2 — $0,5-1 \text{ г/м}^3$, 3 — $1-2 \text{ г/м}^3$,
 4 — $2-4 \text{ г/м}^3$; внизу — по данным сепарации. Отрезки соответствуют номерам проб (ср. рис. 5);
 1 — меньше 1 г/м^3 , 2 — $1-3 \text{ г/м}^3$, 3 — больше 3 г/м^3

Таблица

Район исследования	Количество взвеси, г/м ³	Литературный источник
Берингово море	2—4 (до 10—13)	[3]
Курильские проливы	1—4	»
Балтийское море	7—10 (во время «цветения» фитопланктона)	[10]
Кильская бухта	1—3	»
Северо-западная часть Тихого океана	2—4	[3]
Индийский океан	0,39—2,2	»

распределения взвеси, составленная по полученным во 2-м рейсе «Оби» данным мембранной ультрафильтрации, для южной части Индийского океана в январе — апреле (середина южнополярного лета). Она также показывает малое содержание взвеси в поверхностных водах Индийского

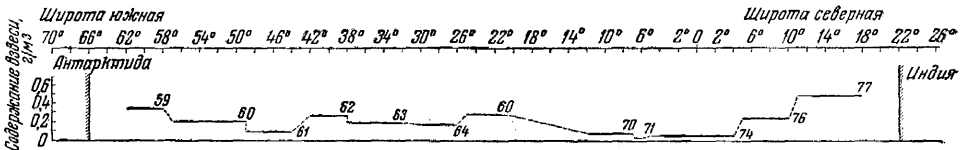


Рис. 8. Схема количественного распределения взвеси на поверхности океана по разрезу от Антарктиды до Индии по данным сепарации, в г/м³

океана (чаще всего 0,5—1 г/м³). При этом к югу от о-вов Принс Эдуард на основании значительного числа проб удается выделить обширную область исключительно чистых вод, содержащих менее 0,5 г взвеси в 1 м³. Максимальная концентрация взвеси у берегов Антарктиды достигает 2,5—3 г/м³, т. е. значительно ниже максимальной концентрации взвеси в морях (более 10—15 г/м³).

Данные о распределении взвеси в поверхностном слое в тот же период, полученные методом сепарации, несколько отличаются от данных ультрафильтрации. Причина отличия состоит прежде всего в том, что пробы для фильтрации отбирались со станций и из отдельных пунктов в определенные сроки по ходу судна, т. е. являются точечными пробами. Сепарационные пробы отбирались на ходу судна между станциями и на переходах и являются, таким образом, интегральными. Кроме того, некоторые отличия неизбежны также в связи с разницей в физической сущности процесса фильтрации с выделением частиц по геометрическим размерам и процесса сепарации с выделением частиц по гидравлической крупности. При некоторых отличиях в деталях оба метода при совместном использовании на значительной площади южной части Индийского океана дают в общем сходную картину. Схема количественного распределения взвеси в поверхностном слое, полученная методом сепарации (рис. 7), в общих чертах совпадает со схемой, полученной для того же района методом мембранной ультрафильтрации. Обширные части океана имеют содержание взвеси менее 1 г/м³, а у берегов Антарктиды прослеживается возрастание концентрации до 2—3 г/м³. Максимальная концентрация взвеси методом сепарации была обнаружена в море Дейвиса, севернее кромки льдов (3,92 и 3,71 г/м³ для проб 12 и 16).

Итак, имеется общая картина количественного распределения взвеси в поверхностном слое вод Индийского океана. На больших пространствах типичны концентрации взвеси от 0,5 до 1 г/см³ (рис. 8), что ниже соответствующих показателей для северо-западной части Тихого океана, и тем более — для шельфовых и окраинных морей. По мере приближения к берегам Антарктиды концентрация взвеси возрастает, достигая максимальных значений (2—4 г/м³) в непосредственной близости к берегам, чаще всего близ кромки льдов. Это связано с поступлением как минерального, так и биогенного материалов, в основном диатомовых водорослей. По мере приближения к островам и материкам общее содержание взвеси в водах, как правило, увеличивается. Картина распределения взвеси в поверхностных водах зависит от сезонных причин, однако общая схема распределения средних и максимальных концентраций остается принципиально той же. К северу сезонные изменения все более стираются и в тропических районах становятся практически незаметными.

Очень интересно также распределение взвеси по вертикали. Мы приводим несколько наиболее характерных разрезов через Индийский океан (рис. 9), положение которых указано на рис. 4.

В 1-м рейсе были составлены: разрез I, от о-вов Баллени до Новой Зеландии (станции 54—77), выполненный с 27 марта по 7 апреля 1956 г., разрез II Австралия — Антарктида (станции 91—112), выполненный с 1 по 14 мая, и основной разрез III через весь Индийский океан от Антарктиды до Аденского залива (станции 111—150), который был проведен с 12 мая по 8 июня 1956 г. Поскольку работы проводились в осенне-зимнее время, на некоторых разрезах из-за сильных штормов есть перерывы. Подходы к берегам Антарктиды были ограничены кромкой сплоченных льдов.

Из разрезов I—III видно, что распределение взвеси по вертикали весьма сложно: содержание взвешенного в воде материала колеблется по вертикали и от места к месту в очень широких пределах (от 0,3—0,5 до 5—10 г/м³). Таким образом, нижний предел содержания взвеси на вертикальных разрезах близок к минимальному ее содержанию в поверхностных слоях воды, а максимальное количество значительно превышает наблюдаемое на поверхности.

Сушественно отметить пестроту картины распределения взвеси в так называемом деятельном слое океана (горизонт 0—200 м). Глубже распределение взвеси становится более равномерным, размеры ареалов значительно возрастают, а их контрастность, как правило, уменьшается.

Значительные изменения концентрации взвеси в пределах слоя 0—200 м связаны как с развитием разнообразных планктонных организмов (для антарктических вод — в основном диатомовых водорослей), так и с гидрологическими условиями, в частности с положением слоя скачка плотности. В антарктических водах слой скачка расположен обычно на глубинах 100—200 м. Для шельфа Антарктиды типично перемешивание вод, связанное с опусканием холодных и подходом теплых промежуточных вод, что приводит к исчезновению слоя скачка в пределах материковой отмели этого континента.

Ниже деятельного слоя воды Индийского океана чаще всего содержат от 1 до 1,5—2 г/м³ взвешенных веществ. Как правило, по мере приближения к берегам концентрация взвеси в глубинных слоях океанских вод возрастает до 2—4 г/м³, т. е. до максимальных значений, отмеченных для поверхностного слоя, а в отдельных случаях достигает 5—10 г/м³. При рассмотрении разрезов видно, что от областей склона материков, а также подводных поднятий и цоколей островов в толще вод протягиваются обычно довольно длинные, иногда до нескольких сотен километров, «языки» повышенных концентраций взвеси. Они располагаются

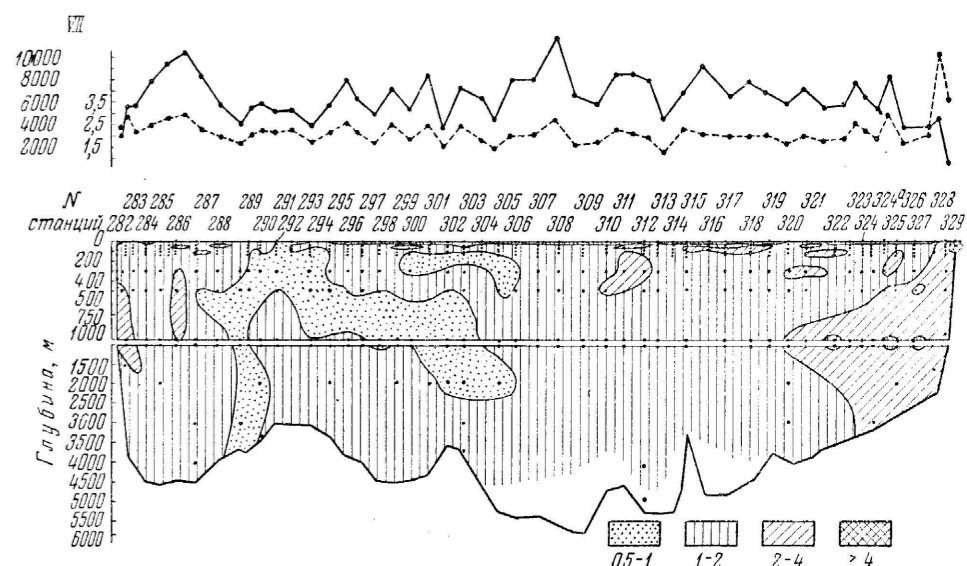
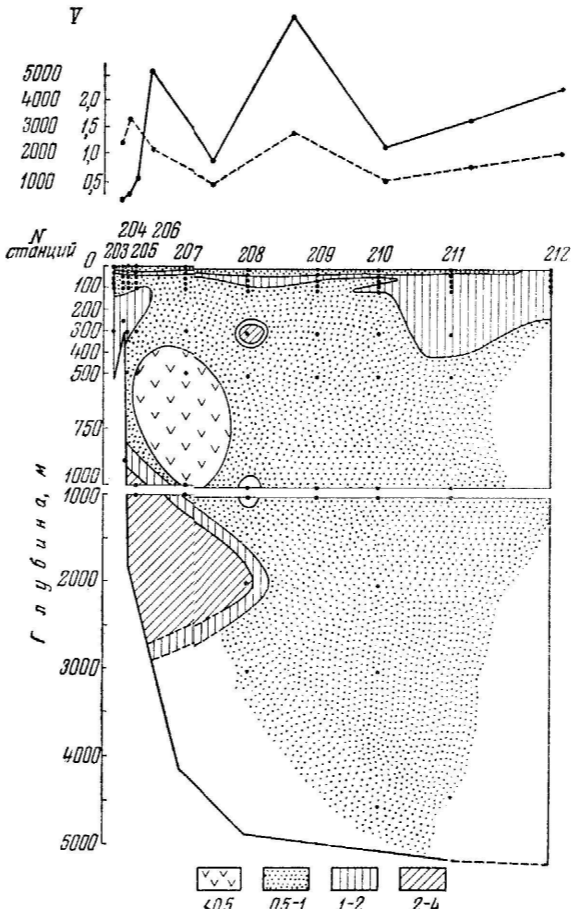
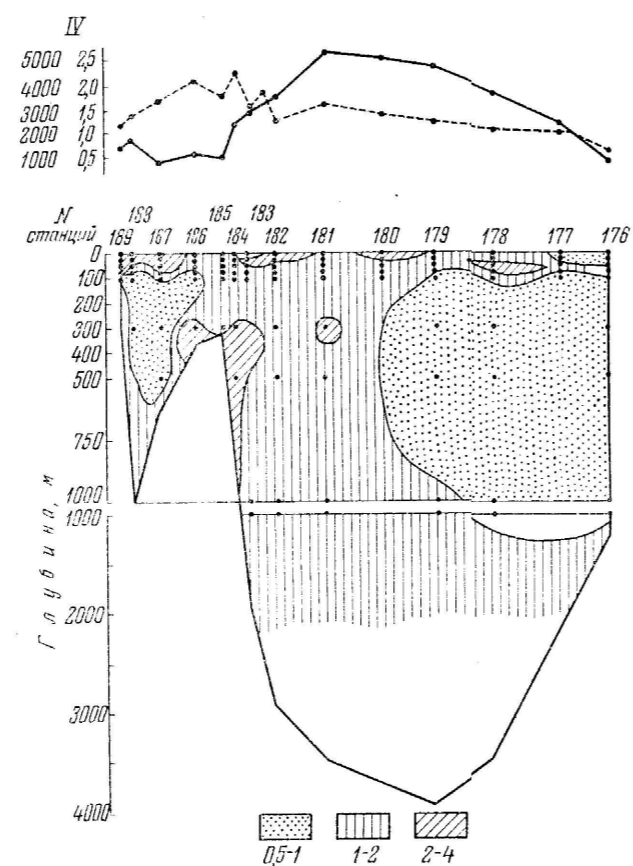
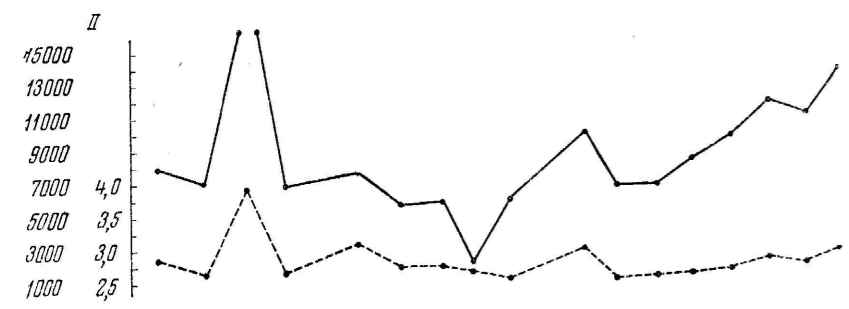
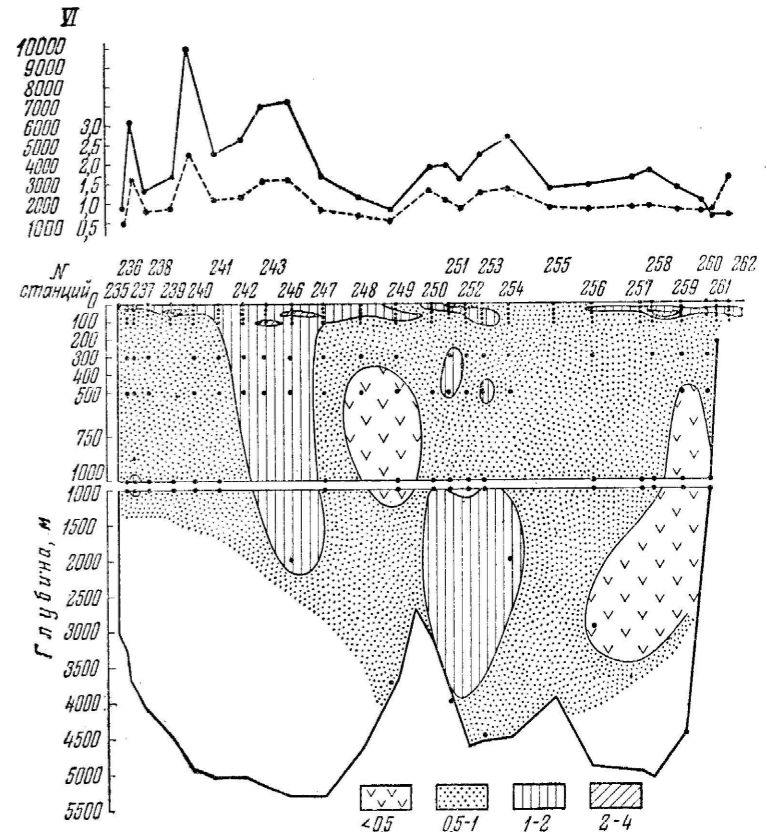
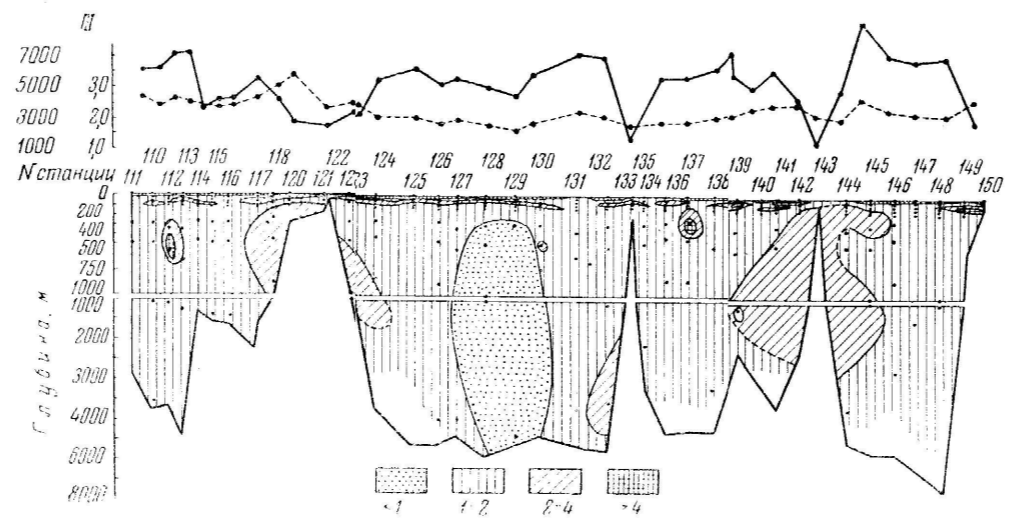
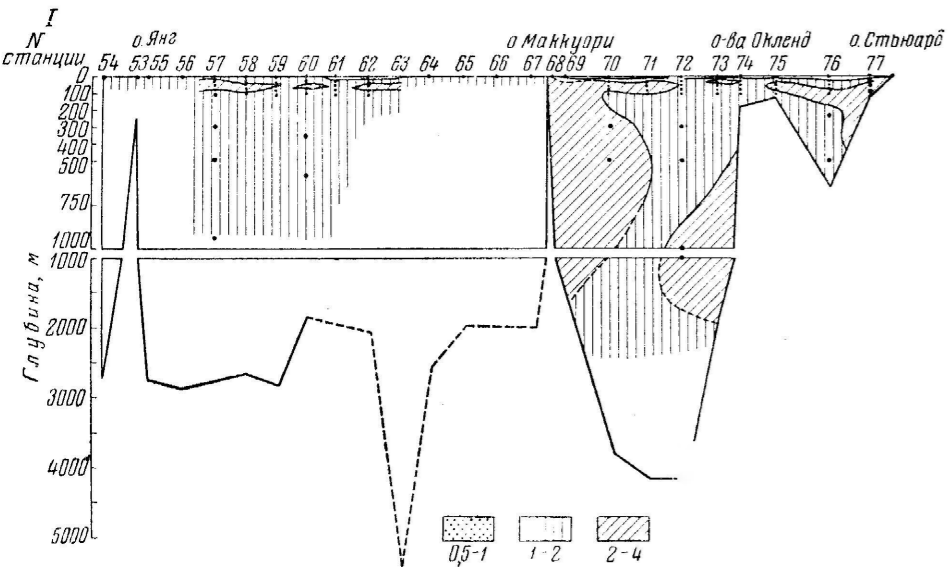


Рис. 9. Разрезы:

I — от о. Баллени до Новой Зеландии, II — от Австралии до Антарктиды, III — от Антарктиды до Аденского залива, IV — к северу от берега Ингрид Кристensen, V — к северу от берега Кемпа, VI — от Антарктиды до южного окончания Африки, VII — от Антарктиды до Индии.
 Количественное распределение взвеси на разрезах дано в г/м³, точками показаны горизонты получения проб, зад разрезом пунктиром показаны средние взвешенные содержания в г/м³, сплошной линией — абсолютные количества взвеси от поверхности до дна в г.

на разных глубинах, от 0 (редко) до 2000—4000 м. Их форма часто весьма сложна, что обусловлено как особенностями поступления осадочного материала, так и гидрологической обстановкой, в частности течениями и распределением плотности. По мере удаления от материкового склона или подводного подножия мощность языка, как правило, уменьшается, часто на нем появляются «пережими», которые при дальнейшем развитии отчлениют отдельные части «языка», давая начало подводным «облакам» и «пятнам» с повышенным содержанием взвеси. «Облака» и «пятна» прослеживаются на значительных расстояниях от берегов, достигая иногда центральных районов океана.

Разрезы, составленные во 2-м рейсе, существенно дополняют наши представления о распределении взвеси в Индийском океане.

Разрез IV выполнен с 23 по 28 января 1957 г. (станции 176—189) к северу от Земли Ингрид Кристенсен, разрез V был проведен с 2 по 7 февраля к северу от Земли Эндерби (станции 203—212), разрез VI — от берегов Антарктиды до Южной Африки (банка Агульяс) — был проведен с 21 февраля по 12 марта (станции 235—262), разрез VII был выполнен через весь Индийский океан от Антарктиды до Индии (в районе Калькутты) с 9 апреля по 14 мая (станции 282—329).

На первых двух разрезах видно поступление с севера очень прозрачных океанских глубинных вод, содержащих 0,5—1 г/м³ взвешенного вещества, а в некоторых случаях — меньше 0,5 г/м³. В деятельном слое, так же как и на ранее описанных разрезах, имеют место резкие изменения содержания взвеси. На втором разрезе слой скачка плотности хорошо прослеживается на большом протяжении по повышенной концентрации взвеси (1—2 г/м³).

Картина распределения взвеси на разрезе Антарктида — Африка очень сложна, что зависит от общей сложности гидрологической и гидрохимической обстановки в этом районе. Прозрачные глубинные воды Индийского океана, так же как и на первых двух разрезах (2-й рейс), близко подходят к Антарктиде, причем на некоторых участках содержание взвеси в них снижается до 0,1—0,2 г/м³, а чаще всего — около 0,5 г/м³. Интересно отметить на этом разрезе появление «пятна» очень прозрачных вод, содержащих менее 0,5 г/м³ взвеси, у самых берегов Африки, в нижней части материкового склона, где имеются все основания ожидать повышение концентрации взвеси [8]. Возможно, что это исключение из общего правила обусловлено поступлением в район банки Агульяс чистых глубинных вод с юга и с востока, которые оттесняют мутные воды шельфа к западу от банки. Весьма необычна на этом разрезе также область высокой концентрации взвеси (1—2 г/м³), расположенная в верхней части разреза. По-видимому, это остатки «языка», опустившегося в нижней части до 4000 м и перемещающегося к северу. В верхней части этот язык слился

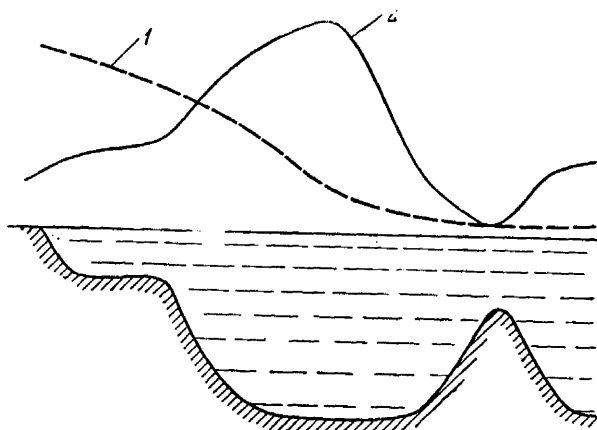


Рис. 10. Схема изменения среднего взвешенного содержания взвеси (1) и абсолютного количества взвеси (2), находящегося под 1 м² океанской поверхности в зависимости от рельефа дна

с поверхностной областью высокой концентрации взвеси (влияние фитопланктона). Остатки такого пятна повышенного содержания фитопланктона имеются в слое 0—200 м в районе станций 250—254, а на горизонте 200—500 м они прослеживаются в виде небольших «пятен». Наконец, весьма показательно на этом разрезе «облако» высокого содержания взвеси ($1-2 \text{ г/м}^3$), расположенное в районе станций 250—255 на глубинах от 1000 до 4000 м. По-видимому, это «облако» оторвалось ранее от материкового склона и смещается, медленно опускаясь, к северу.

Наконец, на разрезе Антарктида — Индия также можно выделить область прозрачных глубинных вод, прослеженную на ранее описанных разрезах, причем обрисовываются ее северная и южная границы. Эта область протягивается на глубине от 0 до 4000 м в центральной части океана от станции 287 до станции 307, имея протяженность около 2500 км. Огромные пространства Индийского океана заняты водами, содержащими от 1 до 2 г/м^3 взвешенного материала. С шельфа Антарктиды протягивается на глубины до 1800 м небольшой «язык» повышенной концентрации взвеси. Очень мощный «язык» прослеживается в Бенгальском заливе в толще вод на расстоянии более 1000 км от устья реки Ганг. У берегов Антарктиды на этом же разрезе можно видеть «пятно» повышенного содержания взвеси, потерявшее связь с материковым склоном и смещающееся, вероятно, к северу.

Из сопоставления приведенных, а также ряда промежуточных разрезов может быть сделано несколько важных выводов.

Прежде всего, в южной части Индийского океана в глубинных слоях воды западных районов океана значительно более прозрачны, чем воды восточных районов. Это хорошо видно по разрезам IV—VI (рис. 9). На первом из них воды, содержащие $0,5-1 \text{ г/м}^3$ взвеси, довольно далеко отстоят от подводного склона материка, на втором и третьем — они уже достигают материкового склона. На разрезах III и VII через Индийский океан также можно встретить эти прозрачные воды: на разрезе III на еще большем удалении от материка, чем на разрезе IV (станции 127—131), а на разрезе VII — снова несколько южнее (станции 287—306). На разрезе II Антарктида — Австралия, так же как и на разрезе I через Новозеландский порог, прозрачных глубинных вод уже нет. По-видимому, в Индийский океан поступает значительная масса прозрачных атлантических вод через весь огромный пролив между Антарктидой и Африкой шириной более 1800 миль. Восточнее область распространения этих вод смещается несколько к северу и уменьшается в размерах. Так, на $65-70^\circ$ в. д. она сужается приблизительно до 600 миль. На разрезе VII (Антарктида — Индия) прозрачные воды уходят еще дальше к северу, достигая южного тропика, и приподнимаются, отрываясь от дна.

Поступление большого количества взвешенного материала, сбрасываемого с шельфа и материкового склона, в глубинах океана прослеживается четко на разрезе II у берегов Антарктиды и Австралии, на разрезе IV на склонах подводного поднятия, на разрезе V у берегов Антарктиды, а также на разрезах III и VII на склонах подводных поднятий близ материков.

На основании изложенного становится ясно, что в западную часть Индийского сектора Антарктики поступает меньше осадочного материала, чем в восточную. По мере удаления от Антарктиды к северу количество осадочного материала, который мы можем проследить в транзитном состоянии, значительно снижается, вновь возрастая только в Бенгальском заливе. Естественно ожидать соответствующих изменений скорости временного осадкообразования.

Существенные выводы могут быть сделаны также и в отношении распределения сестоноядных бентических организмов: условия для их суще-

ствования более благоприятны на шельфе и в особенности в верхних частях материкового склона Антарктиды. При этом наиболее подходящими условиями в смысле поступления взвеси обладает восточная часть Индийского сектора по сравнению с его западной частью, где поступление взвеси значительно ниже. Соответственно в восточной части Индийского сектора Антарктики можно ожидать наиболее пышного развития сестоноядных организмов и, следовательно, обогащения осадков скелетными остатками таких организмов как губки, мшанки и др. В природе биомасса этих организмов определяется не только поступлением питательного материала в виде взвеси, но также и рядом других факторов. Однако наличие достаточного количества питательного материала является одним из основных факторов.

Для ориентировочных вычислений и для общих заключений большой интерес представляет среднее содержание взвешенного материала во всей массе воды от поверхности и до дна. На основе данных о количественном распределении взвеси по вертикали нетрудно определить и значения средних величин. Наиболее удобным средним показателем является среднее взвешенное, так как наблюдения производятся с разной степенью точности (с разным весом). Наиболее точные и частые определения имеются для верхних слоев воды, когда пробы отбираются с интервалом 25 м (до 100 м), а глубже интервал отбора проб возрастает до 200, 500 и 1000 м. Для определения среднего значения содержания взвеси в слое пользуемся средним арифметическим из величин содержания взвеси на верхней и нижней границах этого слоя. Зная средние арифметические для отдельных слоев и мощность этих слоев в метрах, нетрудно произвести определение средних взвешенных по формуле:

$$P_{\text{ср}} = \frac{h_1 P_1 + h_2 P_2 + \dots + h_n P_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n},$$

где $P_{\text{ср}}$ — среднее взвешенное содержание взвеси от поверхности и до дна океана (в $г/м^3$), h — мощность слоя воды (в м), P — среднее арифметическое содержание взвеси для слоя (в $г/м^3$). На приведенных выше разрезах $P_{\text{ср}}$ показано пунктирной линией.

Из рассмотрения распределения средних содержаний взвеси по разрезам видно, что колебания величин концентрации взвеси для всей толщи воды не так значительны, как для отдельных горизонтов. Минимальные значения средней составляют 0,5 $г/м^3$, максимальные достигают 2—4 $г/м^3$. Лишь в очень редких случаях наблюдаются более низкие и высокие величины, обусловленные обычно своеобразием местных условий. Так, в Бенгальском заливе близ устья Ганга (разрез VII) значения среднего взвешенного повышаются от 4,0 до 6,3 $г/м^3$, что обусловлено поступлением больших масс мутных речных вод в эту часть залива.

При рассмотрении разрезов можно видеть, что для большинства случаев среднее содержание взвеси в столбе океанской воды от поверхности и до дна обычно колеблется в пределах от 1 до 1,5 $г/м^3$, и это значение может быть принято как среднее содержание взвеси в водах Индийского океана.

По мере приближения к материкам в области материкового склона, а также шельфа, на склонах некоторых подводных возвышенностей и подводных цоколей островов среднее содержание взвеси в столбе воды обычно увеличивается. В открытом океане при ровном дне колебания среднего значения содержания взвеси незначительны.

Зная среднее содержание взвеси в каждом слое воды и мощность слоя, легко подсчитать также абсолютное количество взвеси, находящейся под 1 м² океана от его поверхности и до дна. Эта величина имеет весьма важное значение как для определения общей поверхности частиц, так и вообще для выяснения влияния взвеси на гидрохимический облик вод различных районов океана.

Данные по абсолютным содержаниям взвеси океана по станциям были сведены нами на разрезы, где они показаны в виде сплошных линий. Как следует из разрезов, колебания в среднем содержании взвеси весьма значительны: от 20—30 до 10 000—13 000 г. Можно отметить некоторые общие черты в распределении этих величин на разрезах: на шельфе общее количество взвеси даже при высокой ее концентрации обычно очень невелико, что определяется малой глубиной вод. По мере удаления от берегов в сторону открытого моря абсолютное содержание взвеси возрастает, причем максимум чаще всего приходится на нижнюю часть материкового склона и прилежащие к нему районы океана (рис. 10). В открытом океане общее содержание взвеси зависит главным образом от рельефа дна, поскольку другой множитель — среднее содержание взвеси, как мы видели выше, изменяется незначительно.

При приближении к подводным поднятиям абсолютное количество взвеси уменьшается; таким образом, существует обратная связь между абсолютным содержанием взвеси в столбе воды и рельефом дна. В некоторых случаях, при повышенной мутности воды на склонах подводных поднятий, недалеко от их оснований, наблюдаются повышенные абсолютные содержания взвеси, как это отмечалось и для районов, расположенных около нижних частей материкового склона.

Средние абсолютные количества взвеси в открытом океане обычно колеблются в пределах от 3000 до 6000 г, составляя чаще всего около 4000—5000 г. В областях материкового склона абсолютное содержание взвеси возрастает до 8000—12 000 г, а в отдельных случаях — даже выше.

Приведенные разрезы позволяют выделить районы, где влияние взвеси на воды наиболее активно. Это районы, в которых содержится больше всего взвеси под 1 м² поверхности океана и где взвесь должна осаждаться достаточно долго, что обусловливает продолжительность ее воздействия на водные массы. Мы видели, что в районах наибольших глубин в открытом океане, где можно было бы ожидать максимального воздействия взвеси в связи с большой продолжительностью ее оседания на океанское дно, абсолютные содержания взвеси невелики — 4000—5000 г. В областях океана, прилежащих к материковым склонам, глубины почти так же велики, как и в открытом океане, а абсолютное содержание взвеси возрастает по сравнению с открытым океаном в 2—3 раза. Поэтому части океанов, прилежащие к материковым склонам, являются областями максимального влияния взвеси на водные массы. Эти рассуждения справедливы только при однородном гранулометрическом и вещественном составе взвеси. В одном из следующих сообщений будет показано, что существуют значительные различия в гранулометрическом и вещественном составе взвеси. Несмотря на эти различия, концентрация взвеси является одной из основных движущих сил процесса взаимодействия тонкого материала, взвешенного в морской воде, и водных масс.

ABSTRACT

By suspension we understand particles of different origin suspended in sea water from 1 mm to 0.1—0.01 mm in size. Water samples were obtained with sunken pumps and bathometers for 200 litres. The suspensions were obtained by the method of semi-automatic membrane ultrafiltration and

separation with industrial plate and many chamber separators. In the Indian Ocean 4,000 samples were collected from the surface and vertical sections. This provides quantitative and qualitative data about the contents of the suspended material. The separation method provided samples of suspension weighing several tens and several hundreds of grams. According to collected materials maps were compiled of the quantitative distribution of the suspension in the surface waters, and also the vertical sections across the southern part of the Indian Ocean, and two meridional sections running across the whole ocean. For the surface waters of the Indian Ocean the 0,5—1 g/m^3 of suspension contents is typical, which is less than the corresponding data of the Pacific. Towards the coasts the suspension concentrations grows and reaches maximum values near the ice edge due to the development of the phytoplankton. The most striking changes in the concentration of the suspension along the vertical sections were observed in the 0—200 m layer, below this the waters of the Indian Ocean contain usually from 1 to 2 g/m^3 of suspension. Towards the continental slopes the concentration reaches 2—4 g/m^3 , and sometimes 10 g/m^3 . In the shelf regions and on the continental slopes in the waters of the open ocean «tongues» and «clouds» could be found with a larger content of suspension. This originates from the fault of the fine sediment material from the shelf. The value of the mean content of suspension for every station was obtained by the method of mean suspended, which turned out to be equal to 1—1,5 g/m^3 for the whole bulk of water. The absolute quantity of suspension under the 1 m^2 of the ocean's surface to the bottom was usually estimated from 3000 to 6000 g .

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Живаго и А. П. Лисицын. Новые данные о рельефе дна и осадках морей Восточной Антарктики. Изв. АН СССР, серия геогр., № 1, 1957.
2. А. П. Лисицын. Атмосферная и водная взвесь как исходный материал для образования морских осадков. Труды Ин-та океанологии АН СССР, т. XIII, 1955.
3. А. П. Лисицын. Некоторые данные о распределении взвеси в водах Курило-Камчатской впадины. Там же, т. XIX, 1955.
4. А. П. Лисицын. Методы сбора и исследования водной взвеси для геологических целей. Там же, т. XIX, 1956.
5. А. П. Лисицын и А. В. Живаго. Современные методы изучения геоморфологии и осадков дна морей Антарктики. Изв. АН СССР, серия геогр., № 6, 1958.
6. А. П. Лисицын и А. В. Живаго. Морские геологические работы. Описание экспедиции на д/э «Обь» 1955—1956 гг. Труды Компл. антарктич. экспедиции АН СССР, Изд. АН СССР. М., 1958.
7. А. П. Лисицын и А. В. Живаго. Рельеф дна и осадки южной части Индийского океана. Сообщение 1. Изв. АН СССР, серия геогр., № 2, 1958. Сообщение 2. Изв. АН СССР, серия геогр., № 3, 1958.
8. А. П. Лисицын. Новые данные о распределении и составе взвешенных веществ в морях и океанах в связи с вопросами геологии. ДАН СССР (в печати).
9. П. И. Усачев. Методика сбора и обработки планктона. Труды Первой Всекаспийской научной рыбохозяйственной конференции, т. 1, Пищепромиздат, 1936.