

Экспериментальные и экспедиционные исследования

УДК 551.483.8.550.47(261)

З.П.Бурлакова, Л.В.Еремеева, А.Л.Морозова

Взвешенное вещество в эстуариях Гвинейского шельфа (ноябрь-декабрь 1990 г.)

Приводятся результаты исследований распределения и состава взвешенного вещества в прибрежной зоне Гвиней (эстуарии рек Тонкима и Табунсу) в ноябре-декабре 1990 г. Показано влияние приливно-отливных явлений, морфологии дна и берегов на закономерности распределения и формирования биохимического состава взвеси. Определено содержание во взвеси органического углерода, азота, общего фосфора и хлорофилла.

Распределение взвешенного вещества в эстуариях является сложным процессом и определяется соотношением поступления взвеси и ее потерь. Источники взвешенного вещества могут быть внешними (речной сток), приграничными (эрозия береговой линии) и внутренними (в основном биологическая продукция). Потери взвеси в эстуарной системе происходят в результате седиментации, внезапного притока воды и окисления органического вещества. Оба эти процесса связаны с сезонными циклами и в зависимости от сезона один из них может преобладать над другим. Кроме того, осажденная взвесь может быть ресуспендирована и перераспределена течениями и в результате волновой деятельности.

Нами проведены исследования распределения суммарного взвешенного вещества, его фракционного состава, элементного состава органической взвеси (взвешенного органического углерода, азота и общего фосфора) и суммарного хлорофилла в эстуариях рек Тонкима и Табунсу. Работы выполнены в переходный период от влажного к сухому сезону (ноябрь-декабрь 1990 г.).

В связи с тем, что изменчивость гидрофизических и гидрохимических полей в эстуарии в большей степени определяется фазой прилива, измерения выполнялись в последовательности, обеспечивающей наименьшее отставание от приливной волны. Во время прилива съемка выполнялась от шельфа к устью рек, при отливе — от устья рек в сторону шельфа. Время, затраченное на выполнение полигонов, не превышало 2,5-3 ч.

Несинхронность выполнения съемки по отношению к фазе приливной волны, безусловно, ведет к некоторому искажению полей наблюдаемых характеристик. Однако съемка по указанной методике позволяет провести корректный сравнительный анализ данных, полученных в разные приливные фазы.

Пробы воды отбирали шельфовым измерительным комплексом Морского гидрофизического института НАН Украины (ШИК-01), снабженным кассетой батометров и позволяющим одновременно с зондированием измерять температуру и соленость.

Суммарное взвешенное вещество ($\sum_{\text{вв}}$) собирали последовательной фильт-

рацией под слабым вакуумом проб воды объемом 0,5-1 л на фильтры "Sartorius" с диаметром пор 8; 3 и 0,45 мкм. Пробы воды предварительно пропускали через газ N 38 для удержания частиц размером более 160 мкм. Для освобождения от солей фильтры с осадками промывали бидистиллятом, доводили до постоянного веса в сушильном шкафу при $T=105^{\circ}\text{C}$, после чего их взвешивали на аналитических весах. Величину $\sum_{\text{вв}}$ получали суммированием веса осадков всех трех фракций.

Для количественного определения взвешенного органического углерода ($\text{C}_{\text{вов}}$), азота ($\text{N}_{\text{вов}}$) и общего фосфора во взвеси ($\text{P}_{\text{общ}}$) взвешенное вещество концентрировали на предварительно прокаленные при $T=400^{\circ}\text{C}$ стекловолокнистые фильтры GF/C, удерживающие частицы от 0,6 мкм и более (объем проб 0,15-1,5 л). Фильтры с осадками обрабатывали 0,01 N соляной кислотой для удаления карбонатов. Содержание $\text{C}_{\text{вов}}$ и $\text{N}_{\text{вов}}$ определяли на CHN-анализаторе, $\text{P}_{\text{общ}}$ — путем сжигания второй половины фильтра в плаве кислых солей [1].

Определение содержания пигментов фитопланктона проводили с помощью стандартного спектрофотометрического метода [2]. Пробы воды объемом 0,25-3 л фильтровали через мембранные фильтры "Синпор" с размером пор 0,6 мкм. Спектр пропускания ацетонового экстракта записывали на спектрофотометре СФ-46. На всех станциях определяли прозрачность воды по глубине видимости диска Секки.

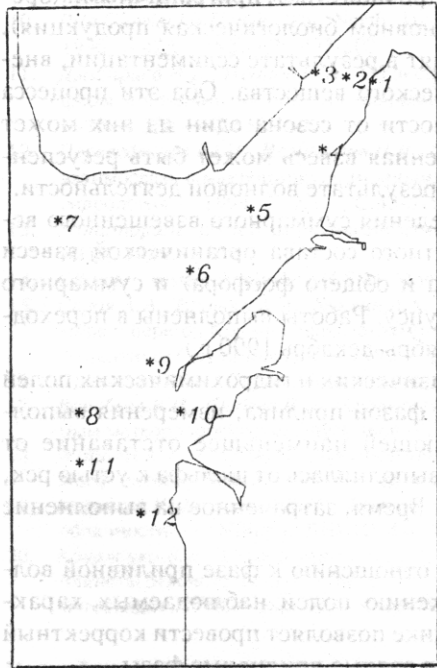


Рис. 1. Схема расположения станций в эстуарии р. Тонкима

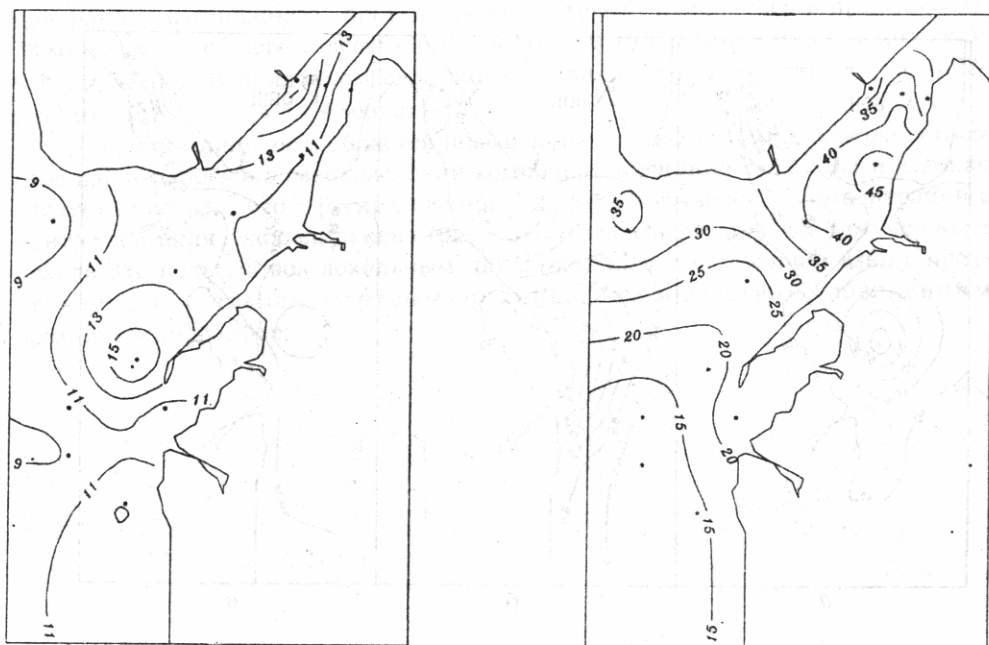
Исследования в эстуарии реки Тонкима были выполнены 12 (прилив) и 14 (отлив) ноября 1990 г. (рис.1).

Основные особенности распределения взвешенного вещества в этот период были обусловлены тремя основными факторами: а) сокращением объема речного стока (в 2 раза по сравнению с максимальным, который в сентябре составил $2 \cdot 10^3 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$); б) динамикой вод в пределах приливной барьерной зоны; в) отсутствием вертикальной стратификации вод.

Распределение суммарной взвеси в поверхностном и придонном слоях во время прилива представлено на рис.2.

В поверхностном слое на фоне низких концентраций взвеси ($8-11 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$) обнаружены две зоны ее повышенного содержания. Одна, с концентрацией $13-21 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, расположена вдоль правого берега в устье эстуария, другая ($13-17 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$) — в его центральной части (рис.2,а).

Область повышенных концентраций суммарной взвеси вдоль правого берега в устье эстуария можно объяснить наличием двух разнонаправленных потоков: течением реки и приливным. Течение реки выносит больше взвеси, чем ее находится в эстуарии. Сила Кориолиса струю реки прижимает к правому берегу, а приливное течение распространяется вдоль левого. Поэтому изолинии низких



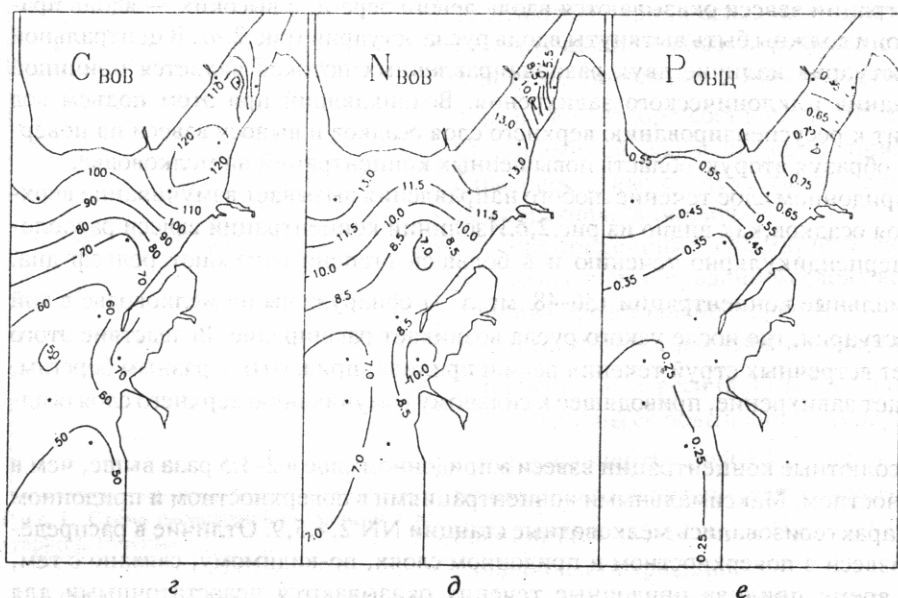
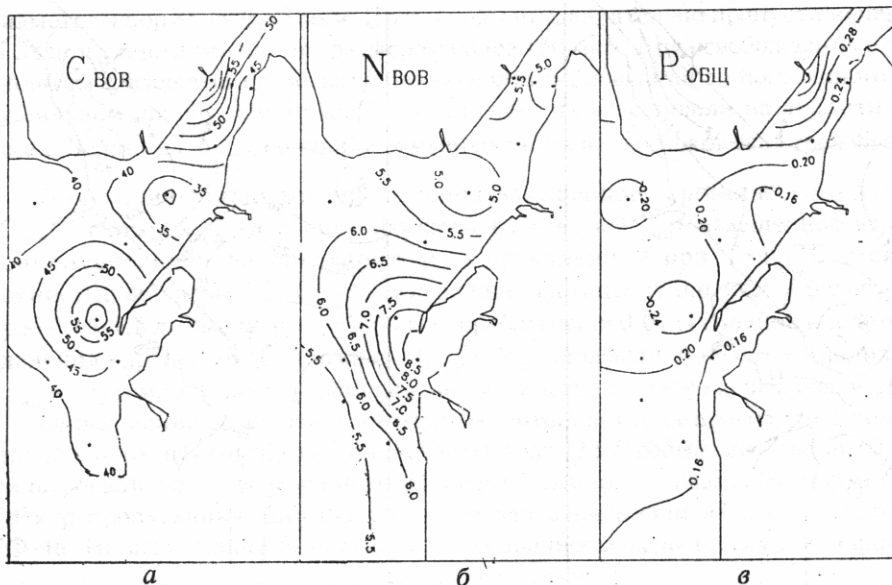
Р и с. 2. Распределение $\Sigma_{\text{вв}}$ (мг·л⁻¹) в эстуарии р.Тонкина во время прилива (12 ноября 1990 г.):
 а — в поверхностном, б — в придонном слоях

концентраций взвеси оказываются вдоль левого берега, а высоких — вдоль правого, и они должны быть вытянуты вдоль русла эстуария (рис.2,а). В центральной части эстуария наличие двух разнонаправленных потоков является причиной образования циклонического завихрения. Возникающий при этом подъем вод приводит к ресуспензированию верхнего слоя осадков и выносу взвеси на поверхность, образуя вторую область повышенных концентраций на мелководье.

В придонном слое течение любого направления вызывает взмучивание верхнего слоя осадков, как видно из рис.2,б. Изолиний концентраций взвеси расположены перпендикулярно течению и в большей степени отражают рельеф дна. Максимальные концентрации (36–48 мг·л⁻¹) обнаружены на мелководье в той части эстуария, где после узкого русла возникает расширение. Вследствие этого и за счет встречных струй течения реки и прилива, прижатых к разным берегам, возникает завихрение, приводящее к сильному взмучиванию верхнего слоя осадков.

Абсолютные концентрации взвеси в придонном слое в 2–3,5 раза выше, чем в поверхностном. Максимальными концентрациями в поверхностном и придонном слоях характеризовались мелководные станции NN 2,4,5,9. Отличие в распределении взвеси в поверхностном и придонном слоях, по-видимому, связано с тем, что во время прилива придонные течения оказываются недостаточными для широкого вовлечения донных осадков во взвесь, а движение морских вод, направленное в сторону суши, приводит к локализации взвеси в верхней и центральной частях эстуария.

Во время прилива характер распределения $C_{\text{вов}}$, $N_{\text{вов}}$ и $P_{\text{общ}}$ в целом соответствует распределению суммарной взвеси (рис.3). В поверхностном слое кон-



Р и с. 3. Распределение компонентов ВОВ ($\text{мкг} \cdot \text{ат} \cdot \text{л}^{-1}$) в поверхностном (а,б,в) и придонном (г,д,е) слоях в эстуарии р.Тонкима во время прилива 12 ноября 1990 г.

центрации взвешенного органического углерода изменялись в пределах 30-78 $\text{мкг-ат}\cdot\text{л}^{-1}$, общего взвешенного фосфора 0,16-0,43 $\text{мкг-ат}\cdot\text{л}^{-1}$, азота 4,5-9,1 $\text{мкг-ат}\cdot\text{л}^{-1}$. В придонном слое они составили 45-129 $\text{мкг-атC}\cdot\text{л}^{-1}$ и 0,22-0,69 $\text{мкг-атP}\cdot\text{л}^{-1}$, 1,4-14,4 $\text{мкг-атN}\cdot\text{л}^{-1}$.

Существование двух областей повышенных концентраций в поверхностном слое наблюдалось и в распределении компонентов органической взвеси. Однако следует отметить, что в распределении $P_{\text{общ}}$ зона повышенных концентраций в центре эстуария слабо выражена (рис.3,в). Это подтверждает, что взмученная в результате подъема вод локальным циклоническим образованием взвесь представлена в основном мертвым органическим веществом, обедненным органическим фосфором.

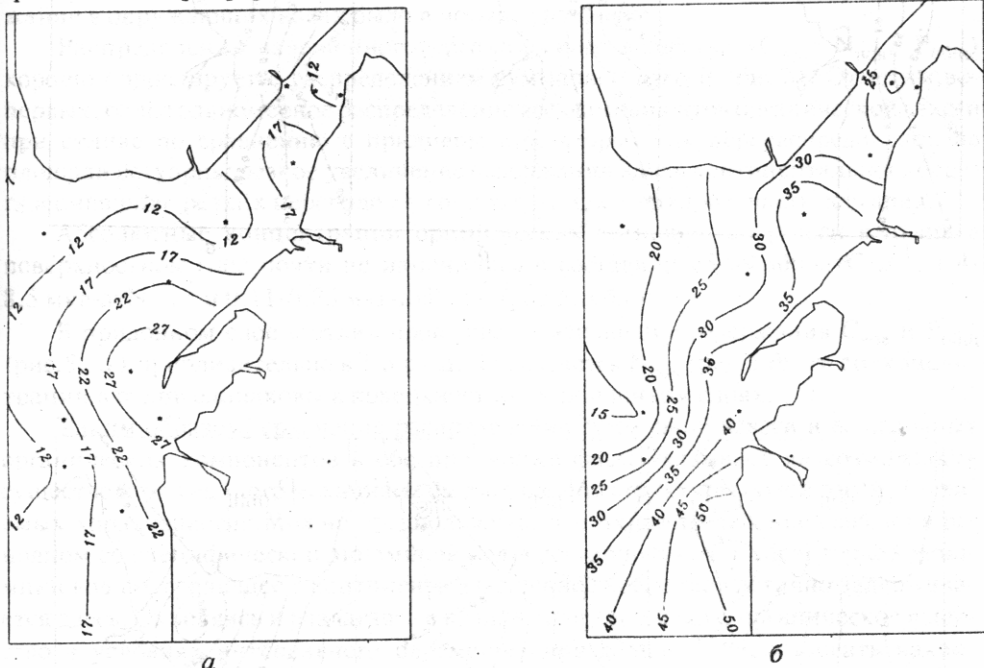
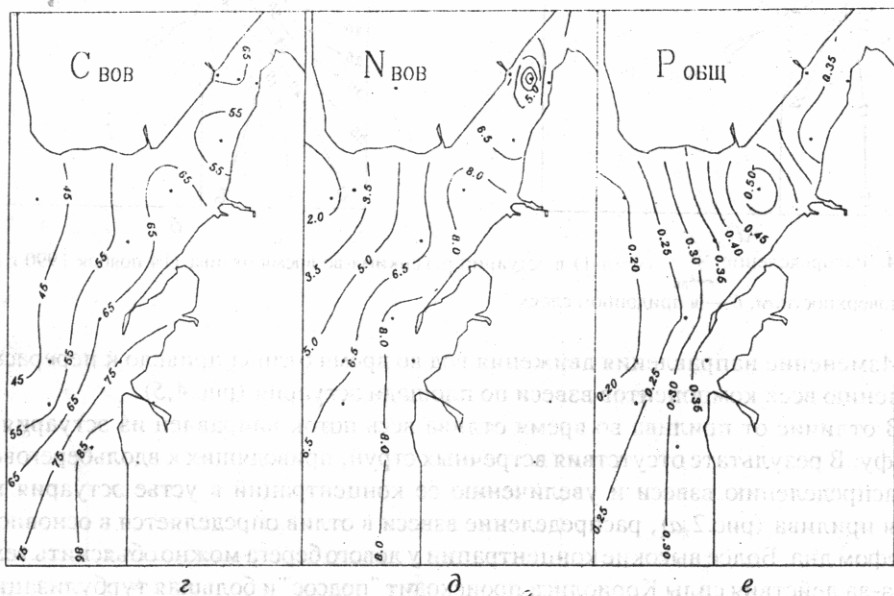
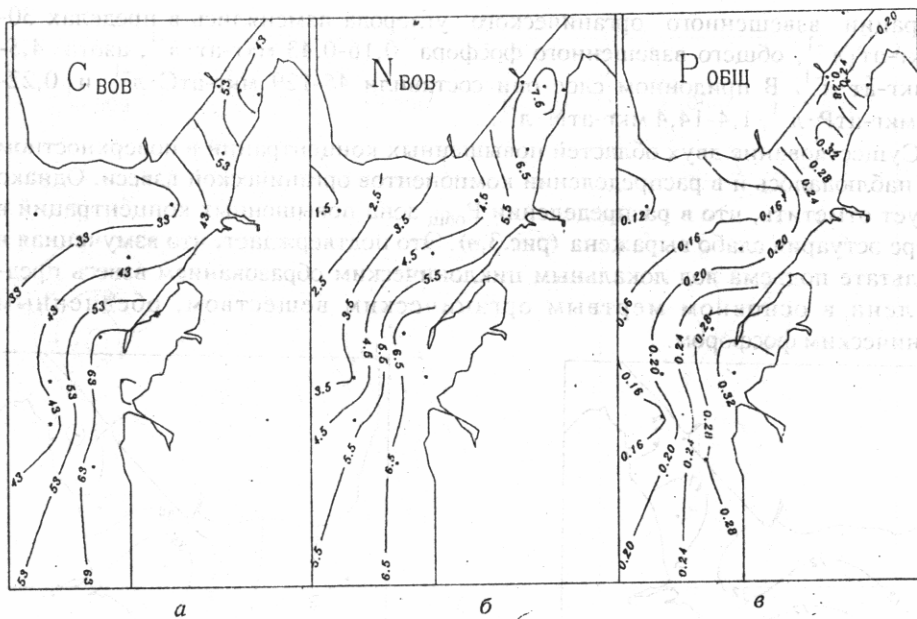


Рис. 4. Распределение $\sum_{\text{вв}}$ ($\text{мг}\cdot\text{л}^{-1}$) в эстуарии р.Тонкима во время отлива (14 ноября 1990 г.): а — в поверхностном, б — в придонном слоях

Изменение направления движения вод во время отлива привело к перераспределению всех компонентов взвеси по площади эстуария (рис.4,5).

В отличие от прилива во время отлива весь поток направлен из эстуария к шельфу. В результате отсутствия встречных струй, приводящих к вдольбереговому распределению взвеси и увеличению ее концентраций в устье эстуария во время прилива (рис.2,а), распределение взвеси в отлив определяется в основном рельефом дна. Более высокие концентрации у левого берега можно объяснить тем, что из-за действия силы Кориолиса происходит "подсос" и большая турбулизация придонного пограничного слоя, приводящая к увеличению взвешенного вещества на поверхности и у дна. Из-за отсутствия разнонаправленных потоков изолинии концентраций взвеси в поверхностном слое расположены нормально к направлению течения. По этой же причине вихревое образование в центре эстуария менее выражено и обусловлено лишь рельефом дна.



Р и с. 5. Распределение компонентов ВОВ ($\text{мкг} \cdot \text{ат} \cdot \text{л}^{-1}$) в поверхностном (а, б, в) и придонном (г, д, е) слоях в эстуарии р. Тонкима во время отлива 14 ноября 1990 г.

Рассмотрим более детально распределение суммарной взвеси и ее органических компонентов по площади эстуария. В устье эстуария концентрации суммарной взвеси в поверхностном слое остались в тех же пределах, как и во время прилива (рис.4,а). В придонном слое ее содержание уменьшилось в 1,5 раза (рис.4,б).

Ниже, у континентального берега, были зарегистрированы повышенные концентрации суммарной взвеси, значения которых постепенно уменьшались в северо-западном направлении.

Воды с повышенным содержанием взвеси во время отлива по каньону выносятся за пределы эстуария на шельф. Поток таких вод был пересечен на расстоянии 12 миль от станции 12. Концентрация взвеси в нем $16,4 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, ее содержание в окружающих водах было в четыре раза ниже.

Распределение взвешенного органического вещества ($C_{\text{вov}}$, $N_{\text{вov}}$, $P_{\text{общ}}$) хорошо коррелирует с распределением суммарной взвеси (рис.5). Отметим, во-первых, более равномерное распределение всех компонентов органической взвеси при отливе по сравнению с приливом и, во-вторых, их перераспределение по площади эстуария: резкое увеличение содержания вдоль континентального берега и смещение резких перепадов в концентрациях в нижнюю часть эстуария.

Абсолютные концентрации органических компонентов взвеси в отлив в поверхностном слое почти не изменились и составили $23\text{--}69 \text{ мкг} \cdot \text{атС} \cdot \text{л}^{-1}$, $1,4\text{--}8,5 \text{ мкг} \cdot \text{атN} \cdot \text{л}^{-1}$ и $0,11\text{--}0,35 \text{ мкг} \cdot \text{атP} \cdot \text{л}^{-1}$ (рис.5,а,б,в).

В придонном слое в отлив произошло уменьшение содержания $C_{\text{вov}}$ и $P_{\text{общ}}$ (рис.5,з,е) приблизительно в 1,5 раза. Что касается $N_{\text{вov}}$ (рис.5,д), то его концентрации в отлив одинаковы в поверхностном и придонном слоях.

Таким образом, сравнение распределения суммарной взвеси и ее основных органических компонентов в обе приливные фазы указывает на возможность существования единого механизма формирования структуры полей рассматриваемых характеристик. Можно предположить, что их распределение связано в основном со специфической динамикой вод в эстуарии. За счет характерной динамики вод поступающее с континента взвешенное вещество частично задерживается здесь. Окисляясь и разлагаясь в водной толще и осадках, органическое вещество в условиях интенсивного перемешивания должно способствовать накоплению в воде биогенных элементов, что стимулирует активное развитие фитопланктона. Высокая продуктивность фитопланктона способствует образованию дополнительной массы взвешенного биогенного материала в самом эстуарии. По данным А.А.Безбородова [3], биогенная взвесь, образующаяся в приливной зоне шельфа Гвинеи (глубины менее 15 м) за счет только продукции фитопланктона, оценивается величинами $0,41 \text{ млн.т}$ сухого вещества в первую половину года и $0,28 \text{ млн.т}$ — во вторую.

Показателем биомассы фитопланктона является хлорофилл "а". Концентрации суммарного хлорофилла "а" различались незначительно, составляя на поверхности во время прилива $0,8\text{--}2,2 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ и $1\text{--}2,8 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ в отлив. В обе приливные фазы пониженные концентрации отмечались в западной части эстуария. В прилив повышенное содержание было отмечено только в устье эстуария. В отлив высокие концентрации хлорофилла наблюдались вдоль всего каньона.

Рассчитанная по хлорофиллу "а" биомасса фитопланктона ($\text{хл"а"} \times 35$) [4] составила в поверхностном слое в прилив в среднем $49 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-3}$, в отлив $\sim 77 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-3}$. Доля фитопланктона от органической взвеси в поверхностном слое

равнялась 9 и 12% соответственно в прилив и отлив. Из этого следует, что роль фитопланктона в образовании взвешенного органического вещества здесь в переходный период незначительна.

Чтобы дать некоторую информацию о биохимическом составе взвешенного вещества, были рассчитаны атомарные отношения $C_{\text{нов}}: N_{\text{нов}}: P_{\text{общ}}$.

В прилив в поверхностном слое отношение $C:N$ изменялось в пределах 4,8-12,5. Высокие значения (8-12,5) зарегистрированы на станциях, расположенных в устье эстуария; на остальной части эстуария они были в пределах 4,8-7,5. Максимальные отношения $C:P$ (235-294), напротив, были зарегистрированы на станциях, примыкающих к шельфу. Это связано, возможно, с поступлением в эту часть эстуария более обедненного фосфором взвешенного вещества шельфовых вод. Минимальные отношения $C:P$ (178-200) были отмечены в устье эстуария.

В придонном слое отношение $C:N$ изменяется в пределах 5,8-11,9 с минимальными значениями (5,8-7,3) в районе каньона в нижней части эстуария; отношение $C:P$ — в пределах 143-278. Относительно низкие соотношения $C:P$ (143,178) отмечены на ст. 4 и 5 в центральной части эстуария.

В отлив отношение $C:N$ в поверхностном слое изменялось в пределах 4,8-15,9. В отличие от прилива относительно низкие значения отмечены в устье эстуария и на ст. 11. Максимальные значения 13,7-15,9 обнаружены в западной части эстуария, где содержание всех компонентов взвеси характеризовалось низкими величинами. Отношение $C:P$ изменялось в пределах 161-250, низкие величины отмечены на ст. 3, 4, 5.

В придонном слое отношение $C:N$ изменялось в пределах 6,1-11,5, за исключением ст. 7 (26,3); отношение $C:P$ — 132-333, минимальные значения (132, 147) — на станциях в центральной части эстуария. Отсутствие четких различий в отношениях $C:N$ и $C:P$ во взвешенном органическом веществе между поверхностным и придонным слоями в обе приливные фазы связано с вертикальным перемешиванием вод практически на всей площади эстуария. Если принять во внимание, что отношение $C:N$ в живом веществе изменяется, как правило, от 2,5 до 7,0 [5], то можно предположить, что большая часть органического вещества в исследуемый период в эстуарии р. Тонкима представлена детритом на разной стадии разложения.

О природе взвешенного вещества в эстуарии можно судить по процентному содержанию в нем органической составляющей. Процентное содержание ВОВ во время прилива практически одинаково как в поверхностном, так и в придонном слоях и изменяется в пределах 6-12%. Повышенное содержание ВОВ во взвеси наблюдалось в поверхностном слое в устье р. Тонкима и районах проток. В придонном слое доля органического вещества во взвеси практически одинакова по всему полигону (6,3-7,7%), за исключением ст. 8 и 11 (10,6; 12,2%) в западной части эстуария. В отлив доля ВОВ во взвеси и в поверхностном слое, и у дна ниже (в среднем 7,8 и 5,8% соответственно). Несколько повышенное содержание (8,6-8,8%) отмечено на устьевых станциях и только в поверхностном слое. Таким образом, в обе приливные фазы в переходный период взвешенное вещество представлено в основном минеральными частицами, поступающими со стоком реки и в результате взмучивания донных осадков.

Взвешенное вещество является одним из основных компонентов эстуарных систем, определяющих осадконакопление. Процессам осадконакопления и движения донных наносов в эстуариях континентального шельфа Мирового океана

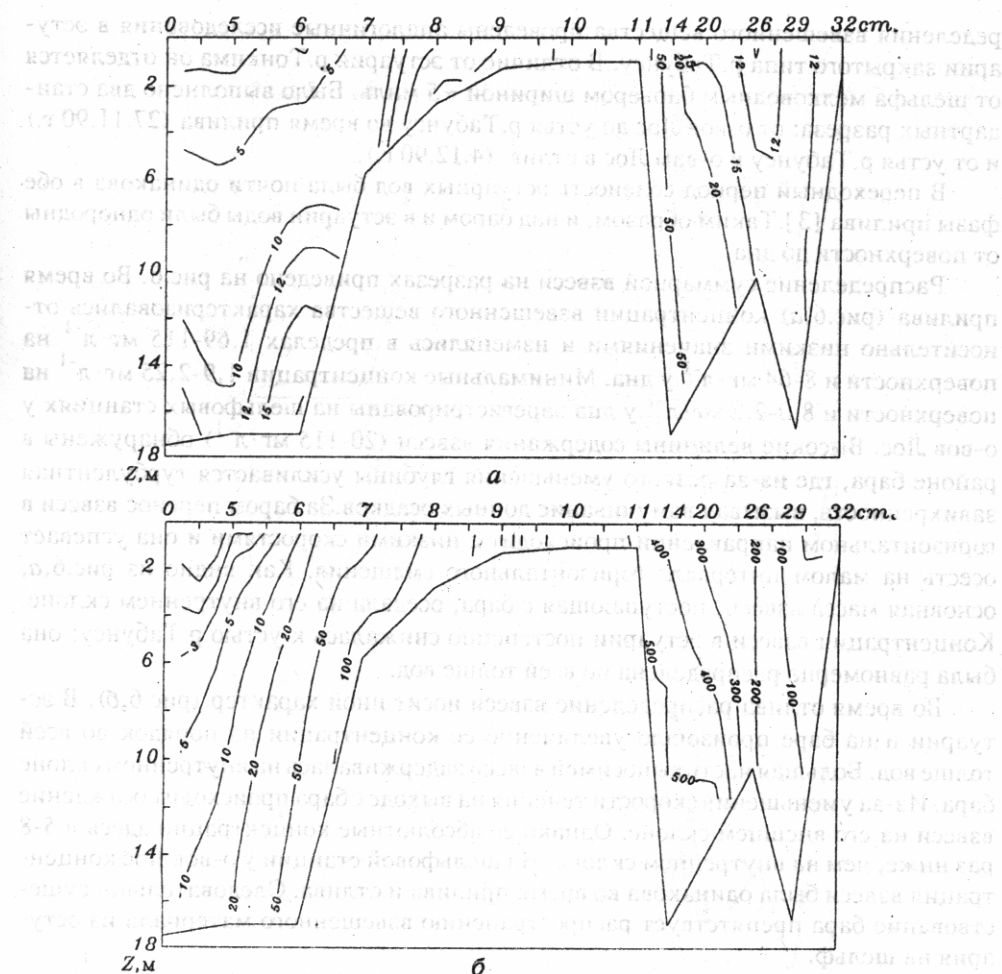


Рис. 6. Распределение $\Sigma_{вн}$ (мг·л⁻¹) в эстуарии р.Табун: а — во время прилива (27 ноября 1990 г.), б — во время отлива (4 декабря 1990 г.)

посвящено большое количество работ [3,6-11].

Осадконакопление зависит от фракционного состава взвеси в толще вод. В связи с этим нами были проведены дополнительные исследования взвешенного вещества по отдельным фракциям. В составе взвеси по всей площади эстуария во время прилива и отлива преобладали частицы более 8 мкм. Относительное содержание крупных частиц (>8 мкм) в поверхностном слое изменялось в пределах 54-88%, а в придонном слое 78-93%. Максимальное содержание крупных частиц во время прилива и отлива наблюдалось в зонах с высокими скоростями течения.

Относительное содержание мелких частиц взвеси (>0,45-3,0 мкм) в поверхностном слое в два-три раза больше, чем у дна, при этом их абсолютные концентрации практически одинаковы.

Таким образом, можно ожидать, что в наиболее динамически активных зонах эстуария осадки образуются за счет более крупных частиц. В менее активных зонах в образовании осадков возрастает роль мелкой фракции (<8 мкм).

Эстуарий р.Тонкима — открытого типа. Для сравнения содержания и расп-

ределения взвешенного вещества проведены аналогичные исследования в эстуарии закрытого типа р. Табунсу. В отличие от эстуария р. Тонкима он отделяется от шельфа мелководным барьером шириной ~5 миль. Было выполнено два стандартных разреза: от о-вов Лос до устья р. Табунсу во время прилива (27.11.90 г.) и от устья р. Табунсу к о-вам Лос в отлив (4.12.90 г.).

В переходный период соленость эстуарных вод была почти одинакова в обе фазы прилива [3]. Таким образом, и над баром и в эстуарии воды были однородны от поверхности до дна.

Распределение суммарной взвеси на разрезах приведено на рис. 6. Во время прилива (рис. 6, а) концентрации взвешенного вещества характеризовались относительно низкими значениями и изменялись в пределах $1,69-115 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ на поверхности и $8-64 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ у дна. Минимальные концентрации $1,9-2,25 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ на поверхности и $8,0-2,2 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ у дна зарегистрированы на шельфовых станциях у о-вов Лос. Высокие величины содержания взвеси ($20-115 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$) обнаружены в районе бара, где из-за резкого уменьшения глубины усиливается турбулентная завихренность, вызывая взмучивание донных осадков. За баром перенос взвеси в горизонтальном направлении происходит с низкими скоростями и она успевает осесть на малом интервале горизонтального смещения. Как видно из рис. 6, а, основная масса взвеси, поступающая с бара, оседала на его внутреннем склоне. Концентрация взвеси в эстуарии постепенно снижалась к устью р. Табунсу; она была равномерно распределена по всей толще вод.

Во время отлива распределение взвеси носит иной характер (рис. 6, б). В эстуарии и на баре произошло увеличение ее концентрации на порядок во всей толще вод. Большая часть выносимой взвеси задерживалась на внутреннем склоне бара. Из-за уменьшения скорости течения на выходе с бара происходит осаждение взвеси на его внешнем склоне. Однако ее абсолютные концентрации здесь в 5-8 раз ниже, чем на внутреннем склоне. На шельфовой станции у о-вов Лос концентрация взвеси была одинакова во время прилива и отлива. Следовательно, существование бара препятствует распространению взвешенного материала из эстуария на шельф.

Размерный состав взвешенных частиц в обе приливные фазы различен на шельфе, баре и в эстуарии. Общей закономерностью является преобладание относительно крупной фракции ($>8- <160 \text{ мкм}$) в придонном слое шельфа и эстуария — 65-95% во время прилива и 77-97% в отлив, с максимальными величинами в эстуарии. В поверхностном слое возрастает роль мелких фракций, которые на шельфе составляют ~50% от суммарной взвеси, а в эстуарии 30%. В районе бара в обе приливные фазы взвешенный материал практически весь (до 99%) состоял из частиц $>8- <160 \text{ мкм}$. Это связано с тем, что донные течения на баре были большими для вовлечения во взвесь крупных частиц седиментов. Такую же связь между скоростью течения и вовлечением во взвесь крупных частиц осадков наблюдал Р. М. Меаде [10] в эстуарии р. Купер на Атлантическом побережье. При скорости приливного течения $\sim 60 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ крупные пески в этом эстуарии переходили во взвесь, при уменьшении скорости течения происходило их осаждение.

Определенное значение в изменении фракционного состава взвеси имеет биогенная фильтрация вод. Так, в районе плантации устриц фракционный состав взвеси на входе, выходе и в центре сильно различался. На входе и выходе превалировала доля крупных частиц (соответственно 86 и 74% от суммарной взвеси).

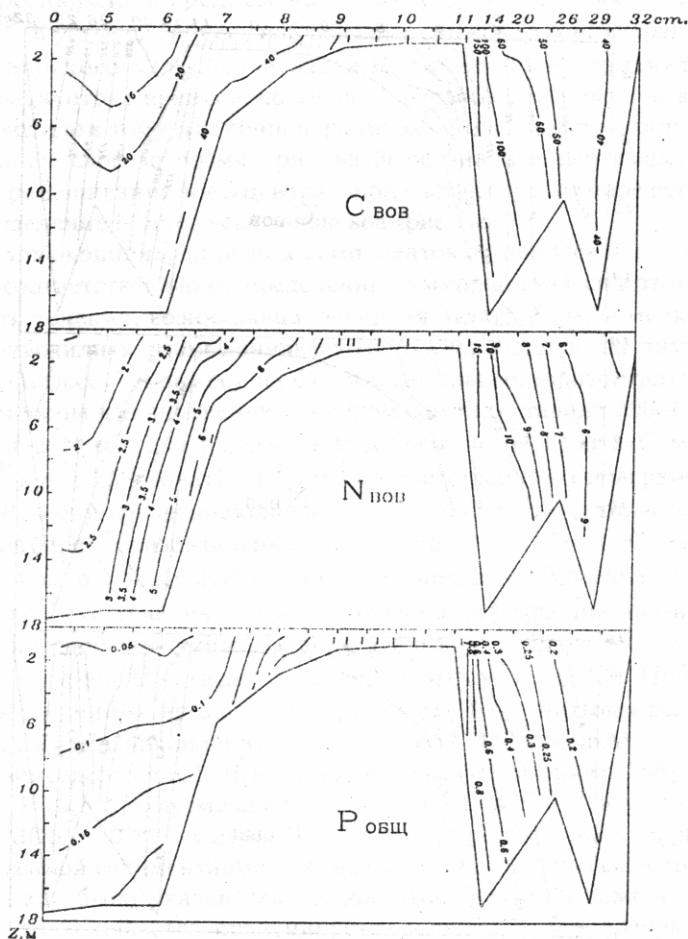
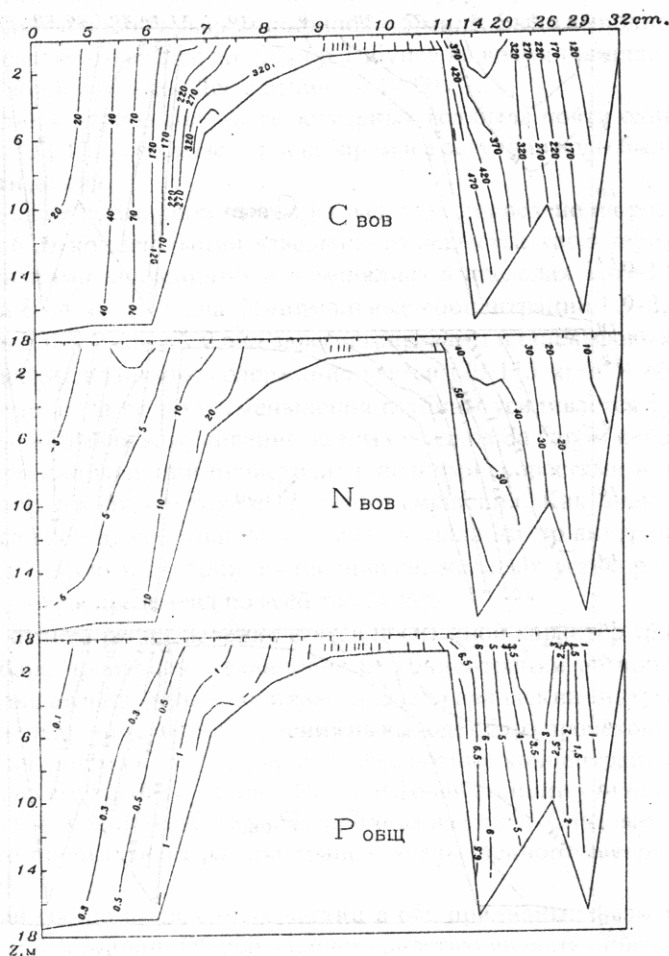


Рис. 7. Распределение компонентов ВОВ ($\text{мкг}\cdot\text{ат}\cdot\text{л}^{-1}$) в эстуарии р.Табунсу во время прилива (27 ноября 1990 г.)

В центре плантации их доля уменьшается до 33%, а относительное содержание фракции 3-8 мкм увеличилось до 54%.

Как указано выше, в формировании состава осадков эстуария определенную роль играют биологические процессы — продукция органического вещества и его трансформация. Содержание $C_{\text{вов}}$, $N_{\text{вов}}$ и $P_{\text{общ}}$ во время прилива и отлива представлено на рис. 7, 8.

Структуры полей распределения суммарной взвеси и всех исследованных компонентов органической взвеси хорошо соответствуют друг другу. Это позволяет предположить, что распределение взвешенного органического вещества в основном определяется динамикой вод и рельефом дна. По распределению органической взвеси на профиле шельф-эстуарий четко выделялись в обе приливные фазы пять зон: шельфовая, внешний склон бара, бар, внутренний склон бара, центральная часть эстуария.



Р и с. 8. Распределение компонентов ВОВ ($\text{мкг-ат} \cdot \text{л}^{-1}$) в эстуарии р. Табунсу во время отлива (4 декабря 1990 г.)

Во время прилива происходило увеличение содержания органической взвеси от шельфа к эстуарию с горизонтальными градиентами концентраций на поверхности: $2,75 \text{ мг-атС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$; $0,23 \text{ мг-атN} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$ и $0,004 \text{ мг-атP} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$ — на шельфе; $13,25 \text{ мг-атС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$; $1,71 \text{ мг-атN} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$ и $0,071 \text{ мг-атP} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$ — над внешним склоном бара; $46,58 \text{ мг-атС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$; $4,71 \text{ мг-атN} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$ и $0,316 \text{ мг-атP} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$ — на бара. При этом абсолютные содержания компонентов ВОВ изменялись в пределах $8,83\text{--}236,70 \text{ мг-атС} \cdot \text{м}^{-3}$; $1,44\text{--}26,43 \text{ мг-атN} \cdot \text{м}^{-3}$ и $0,037\text{--}1,532 \text{ мг-атP} \cdot \text{м}^{-3}$. Горизонтальные градиенты были максимальными на внутреннем склоне бара ($186,25 \text{ мг-атС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$; $18,143 \text{ мг-атN} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$ и $1,264 \text{ мг-атP} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$), что связано с резким уменьшением содержания органической взвеси за счет ее осаднения. Абсолютные концентрации всех компонентов ВОВ оставались высокими.

В центральной части эстуария содержание компонентов ВОВ практически однородно и составляло в среднем $45,67 \text{ мг-атС} \cdot \text{м}^{-3}$; $6,5 \text{ мкг-атN} \cdot \text{м}^{-3}$ и $0,255 \text{ мг-атP} \cdot \text{м}^{-3}$. В устье р. Табунсу наблюдалось снижение концентраций взвешенного органического углерода и азота. Наличие даже незначительных вертикальных градиентов в поле солености на шельфовых станциях и на внешнем склоне бара приводило к тому, что концентрации всех компонентов органической взвеси в придонном слое во время прилива были значительно выше, чем на поверхности. Перемешивание вод в центральной части эстуария определило равномерное распределение ВОВ во всей толще вод (рис. 7, 8).

Во время отлива концентрации всех компонентов органической взвеси резко возрастали, что соответствовало распределению суммарной взвеси в этот период. Высокие скорости течения, возникающие во время отлива в самой мелководной области бара, приводили к размыванию верхнего слоя осадков на внутреннем склоне бара, их "подсосу" и выносу на бар. Максимальные горизонтальные градиенты были отмечены над внутренним склоном бара и составили $290,4 \text{ мг-атС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$; $49,21 \text{ мг-атN} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$; $2,55 \text{ мг-атP} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$ и $164,17 \text{ мг-атС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$; $35,5 \text{ мг-атN} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$; $1,26 \text{ мг-атP} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$ соответственно на поверхности и в придонном слое. Резкое уменьшение концентраций компонентов органической взвеси наблюдалось на бере с горизонтальными градиентами $306,17 \text{ мг-атС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$; $55,0 \text{ мг-атN} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$ и $3,58 \text{ мг-атP} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{км}^{-1}$. На внешнем склоне бара в результате снижения скорости течения за счет изменения рельефа дна происходило осаждение органической взвеси. Выноса ее на шельф не наблюдалось. Концентрации $C_{\text{ВОВ}}$ и $P_{\text{общ}}$ у о-вов Лос характерны для шельфовых вод [3]. При уменьшении скоростей течений во время смены приливных фаз, учитывая рельеф дна эстуария, можно ожидать накопления большой массы ВОВ в осадках.

Относительное содержание ВОВ в суммарной взвеси эстуария р. Табунсу низкое и составило 6,1–16,6% во время прилива и 2,0–14,7% в отлив (за исключением ст. 6–7, где доля ВОВ ~30%). Однако несмотря на преобладание терригенной взвеси, роль биогенной седиментации значительна, поскольку абсолютные концентрации ВОВ, как было указано выше, достаточно велики даже у дна, где обычно органического вещества продуцируется меньше, чем в поверхностном слое.

Распределение суммарного хлорофилла (таблица 1) в обе приливные фазы аналогично распределению суммарной и органической взвеси. Минимальные концентрации хлорофилла в поверхностном слое отмечены на шельфе и на станциях у внешнего склона бара. В эстуарии р. Табунсу концентрации хлорофилла на порядок выше. Максимальные концентрации обнаружены на бере, причем во время прилива наблюдалось их увеличение по направлению к эстуарию, в отлив — по направлению к шельфу.

Абсолютные концентрации хлорофилла в отлив в 3–14 раз выше, чем в прилив, за исключением крайних станций — шельфовой (ст. 4) и в устье р. Табунсу (ст. 29, 32), где влияние приливных течений ослабевает. Основное увеличение концентраций суммарного хлорофилла отмечено на станциях в центре эстуария. По-видимому, в этой части эстуария производится основная масса фитопланктона. На бере увеличение концентраций хлорофилла в значительной степени связано с выносом фитопланктона из эстуария и вовлечением во взвесь разрушенных клеток из осадков в результате динамических процессов.

Биомасса фитопланктона, рассчитанная по хлорофиллу, в прилив на повер-

Распределение суммарного хлорофилла "а" в эстуарии реки Табунсу

Номер станции	Горизонт	Прилив		Отлив	
		Диск, м	$C_{\text{хл}}, \text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$	Диск, м	$C_{\text{хл}}, \text{мкг} \cdot \text{л}^{-1}$
4	0	11,00	0,35	6,00	0,31
	Придонный		1,12	—	—
5	0	14,00	0,34	1,20	1,81
	Придонный		1,29	—	—
6	0	11,00	0,30	1,25	0,91
	Придонный		1,63	—	—
7	0	4,00	0,35	1,10	1,42
	Придонный		1,08	—	—
8	0	1,25	0,60	0,30	8,59
	Придонный		1,31	—	—
9	0	0,90	2,91	0,04	30,42
10	0	0,25	20,50	0,07	38,55
11	0	0,15	20,00	0,08	20,74
14	0	1,25	6,26	0,08	22,44
	Придонный		11,47	—	—
20	0	1,10	6,13	0,08	15,59
26	0	1,25	3,32	0,10	12,68
29	0	1,30	4,32	0,20	3,79
32	0	1,10	3,15	0,35	3,06
Устричная плантация:					
начало	0	—	5,44	—	13,64
середина	0	—	3,38	—	9,83
на выходе	0	—	4,29	—	15,60
протока	0	—	—	—	10,09

хности находилась в пределах $11,9\text{--}507,5 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-3}$. Минимальные значения ($11,9\text{--}14,7 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-3}$) отмечены на шельфе и внешнем склоне бара, максимальные — на बारे; на внутреннем склоне бара и в эстуарии они составили соответственно 217,0 и $126,0 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-3}$. Доля биомассы фитопланктона в $C_{\text{вов}}$ изменялась в пределах 7-35% с относительно низкими значениями на шельфе и внешнем склоне бара (9,8 и 7,9%) и высокими на बारे и в эстуарии (29,6-34,7%).

В отлив происходит увеличение биомассы фитопланктона в поверхностном слое по всему разрезу. Ее величины составляли в среднем $39 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-3}$ на шельфе и внешнем склоне бара и $307\text{--}903 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-3}$ в эстуарии и на बारे. При этом доля биомассы фитопланктона в $C_{\text{вов}}$ на बारे характеризовалась такими же величинами, как в прилив. В эстуарии и на внешнем склоне бара эти значения уменьшались в два раза, составив 15,3 и 3,4% соответственно.

Соотношение основных компонентов органической взвеси по всей исследованной акватории неоднородно в обе приливные фазы.

В отлив наблюдалось увеличение отношения C:N в поверхностном слое (6,5-38,5), в придонном слое оно несколько уменьшилось (5,3-11,5). Отношение C:P в поверхностном слое изменялось в пределах 40-556; в придонном — 69-227. Максимальные отношения C:N (33,0 и 38,5) и C:P (526 и 556) в поверхностном слое были зарегистрированы на предбаровых ст. 6, 7. Отношение C:N на шельфе и в эстуарии изменялось в поверхностном слое в пределах 6,5 - 14,5, в придонном — 5,3-11,5. В отлив наблюдалось значительное уменьшение C:P в поверхностном (40-143) и в придонном (72-111) слоях в эстуарии. Отметим, что в водах эстуария с низкими отношениями C:P наблюдалось повышенное содержание фосфатов, обусловленное, по-видимому, их десорбцией из взвеси.

Локальные изменения отношений C:N и C:P связаны с неоднородностями распределения планктона и детрита, возникающими в условиях сложной циркуляции вод и рельефа дна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Таким образом, впервые проведены исследования распределения суммарного взвешенного вещества и его органических компонентов (углерода, азота, общего фосфора и суммарного хлорофилла) в эстуариях рек Тонкима (открытого типа) и Табунсу (закрытого типа) в переходный период. Установлено, что изменчивость компонентов взвеси определяется приливно-отливными явлениями, морфологией дна и берегов.

Взвешенное вещество эстуариев формируется в основном за счет терригенного материала с преобладанием (87-90%) частиц размерностью $> 8 - < 160$ микрон. Однако несмотря на преобладание терригенной взвеси абсолютное содержание ВОВ в эстуариях отличается высокими величинами. Определенная по содержанию хлорофилла доля фитопланктона во взвеси невелика, но, учитывая его высокую скорость роста, можно предположить значительную роль фитопланктона в накоплении массы ВОВ в эстуариях. Недонасыщенность вод эстуариев кислородом [3] является причиной накопления значительных количеств ВОВ в придонных слоях обоих эстуариев.

Характерной особенностью сравнительно открытого эстуария реки Тонкима является то, что его воды отличались более низкими концентрациями всех компонентов взвеси и пигментов фитопланктона, чем воды закрытого эстуария реки Табунсу. В эстуарии р. Тонкима по каньону происходит вынос взвеси во время отлива на шельф. Наличие бара в эстуарии р. Табунсу препятствует ее выносу на шельф. Это дает возможность предположить, что эстуарий р. Табунсу представляет собой закрытую систему с внутренним круговоротом вещества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Люцарев С.В., Миркина С.Д. Определение общего фосфора во взвешенном веществе // Методы гидрохимических исследований океана. — М.: Наука, 1978. — С. 176-179.
2. Jefferey S.W., Humphrey G.L. New spectrophotometric equations for determining chlorophyll— a, b, c₁, and c₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton // Biochem. Physiol. Pfl. — 1975. — N 167. — P. 191-194.
3. Безбородов А.А., Овсяный Е.И., Камера С. Фронтальные и барьерные зоны океана. Взвесь и донные отложения приливной барьерной зоны шельфа Гвинеи. — Севастополь, 1987. — 39 с. — (Препринт/АН УССР. МГИ).
4. Ryther J.H., Menzel D.W. On the production, composition and distribution of organic matter in the western Arabian Sea // Deep-Sea Res. — 1965. — N 12. — P. 199-209.
5. Hobson L.A., Menzel D.W., Barber R.T. Primary productivity and sizes of pools of organic carbon in the mixed layer of the ocean // Mar. Biol. — 1973. — N 19. — P. 298-306.

6. Allen G.P., Sanzay G., Gastring P. Transport and deposition of suspended sediment in the Gironde estuary, France // Estuarine Processes (Ed.M.Wiley). — 1976. — 11, N 5. — P.63-81.
7. Biggs R.B. Sources and distribution of suspended sediment in Northern Chesapeake Bay // Mar.Geol. — 1970. — 2, N 3. — P.187-201.
8. Head P.C. Organic processes in estuaries // Estuarine Chemistry (Ed.Burton J.D.a.Liss P.S.). — Academic Press, London. — 1976. — P.54-91.
9. Meade R.M. Transport and deposition of sediments in estuaries // Geol.Soc.Amer.Mem. — 1972. — N 133. — P.91-120.
10. Meade R.M. Landward transport of bottom sediments in estuaries of the Atlantic coastal plain // J.Sediment. Petrol. — 1969. — 39. — P.222-233.
11. Безбородов А.А., Бурлакова З.П., Еремеева Л.В. Распределение и состав взвеси в водах северо-восточной части Тропической Атлантики // Океанология. — 1989. — 29, вып.1. — С.112-118.

Институт биологии южных морей НАН Украины,
Севастополь
Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь

Материал поступил
в редакцию 27.06.95
После доработки 06.12.95

ABSTRACT The results of the investigation of distribution and composition of suspended matter in Guinea's coastal zone (Tonkima and Tabunsu) carried out in November — December 1990 are submitted in the paper. Tidal events, bottom topograhp and coastal configuration are shown to influence the formation and distribution of the biochemical composition of suspended matter. The concentrations of organic carbon, nitrogen, total phosphate and chlorophyll have been determined.