

## II. ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОПРОДУКТИВНОСТИ МОРЕЙ

551.464.7 : 581.526.325(261)

### ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ ВОД БРАЗИЛЬСКО-ГВИАНСКОГО РАЙОНА ЛЕТОМ 1969 г.

Н. В. Аржанова, М. А. Буркальцева

Настоящая работа написана на основе результатов исследований на НПС «Академик Книпович», проведенных в Бразильско-Гвианском районе по программе Международного семинара ФАО с 26 июня по 2 июля 1969 г. Было выполнено четыре разреза перпендикулярно берегу (рис. 1). На 17 станциях произведены комплексные исследования,

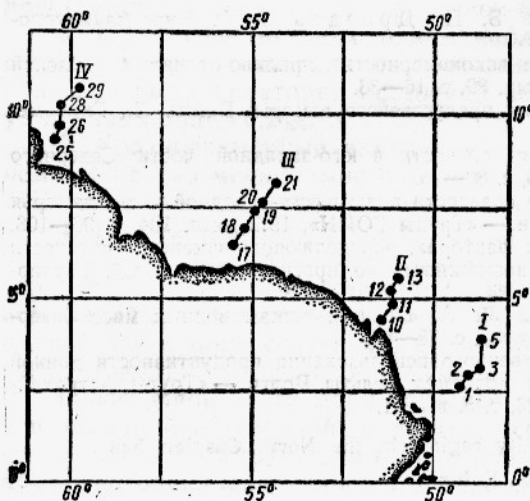


Рис. 1. Схема расположения станций в Бразильско-Гвианском районе (июнь — июль 1969 г.).

в ходе которых по стандартным методикам сделаны определения растворенного в воде кислорода, фосфора, кремния, нитритного азота, величины рН. Кроме того, на 9 станциях радиоуглеродным методом Стиманна Нильсена в модификации Ю. И. Сорокина определена величина первичной продукции.

Бразильско-Гвианский район между устьями рек Амазонки и Ориноко изучен сравнительно слабо. Между тем это один из наиболее продуктивных районов Мирового океана, что подтверждено и нашими исследованиями: первичная продукция в период работ достигала 280—1600 мг С/м<sup>3</sup> в день. Как известно, высокая первичная продукция тропических районов обуславливается хорошим снабжением фотического слоя биогенными элементами. С этих позиций рассмотрим некоторые черты гидрохимического режима в исследованном районе.

Гидрохимический режим Бразильско-Гвианского района формируется под влиянием стока рек Амазонки и Ориноко, динамических условий, биохимических процессов — фотосинтеза и окисления органического вещества.

Амазонка и Ориноко — крупнейшие реки мира: сток Амазонки, например, составляет 6700 км<sup>3</sup> в год (Карасик, 1967). Опреснение океанических вод в Бразильско-Гвианском районе под влиянием речного сто-

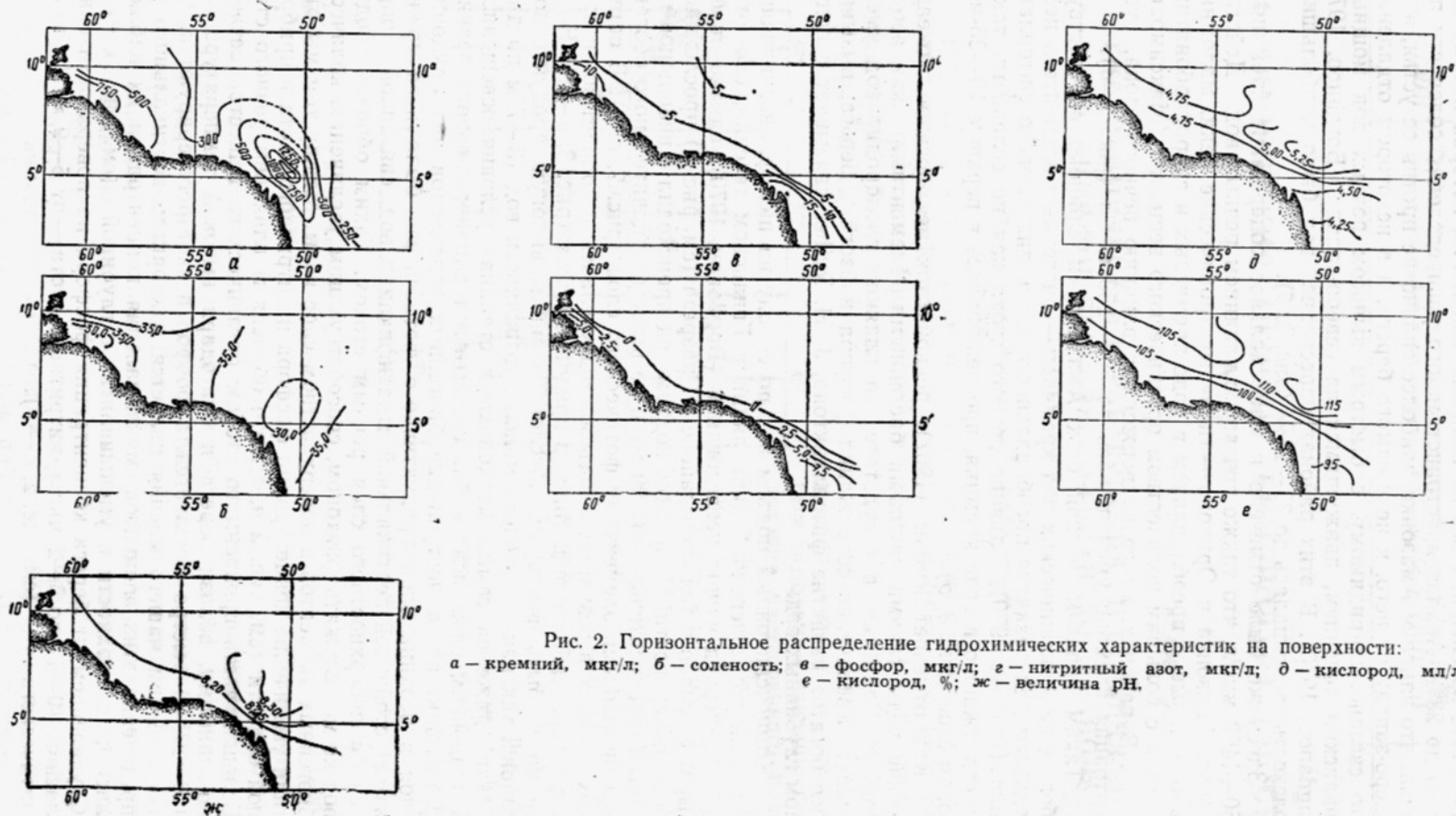
ка хорошо прослеживалось по величине солености, которая изменялась от 36 до 28‰. Анализ пространственного распределения солености показал, что влияние Амазонки наиболее сильно не против ее устья, а к северо-западу от него, и не у самого берега, а в некотором отдалении. Это связано, по-видимому, с быстрым выносом речных вод мощным Гвианским течением, движущимся на северо-запад (Богданов, 1970; Bogdanov, 1970). В этих районах опреснение вод было наибольшим: соленость уменьшалась до 30—28‰ (рис. 2, б).

Здесь же было отмечено и максимальное содержание кремния — 750—1400 мкг/л, что также связано с влиянием речных вод. Действительно, Амазонка и Ориноко — типичные тропические реки, маломинерализованные, с преобладанием в воде кремневых и гидрокарбонатных ионов и с большим количеством органического вещества (Максимович, 1955). В районах, менее подверженных влиянию речного стока, концентрация кремния уменьшалась до 300—250 мкг/л (рис. 2, а).

Таким образом, речной сток Амазонки и Ориноко способствует обогащению океанических вод кремнием — биогенным элементом, необходимым для развития преобладающего здесь диатомового фитопланктона (Ivanov, 1970). Влияние речного стока как по солености, так и по содержанию в воде кремния, прослеживалось в верхнем 10—25-метровом слое (рис. 3, д).

Как отмечает Ryther (1967), речной сток не обогащает океанические воды такими важными биогенными элементами, как азот и фосфор. Напротив, в результате его влияния плодородие вод уменьшается. Увеличение содержания фосфора и азота у берега, вызывающее богатое развитие фитопланктона, J. H. Ryther связывает с подъемом глубинных вод.

Компенсационный подъем вод по склону на шельф, возникающий в результате поперечной циркуляции в Гвианском течении, был отмечен и в период наших исследований (Bogdanov, 1970), однако он был выражен слабо и только в районе III разреза (см. рис. 1) прослеживался до поверхности. Но и здесь подъем вод происходил с небольшой глубины (приблизительно со 100 м) и не вызывал значительного обогащения биогенными элементами фотического слоя (рис. 2, в, г). В остальных районах в результате подъема вод увеличение концентрации азота и фосфора наблюдалось лишь в придонном слое (рис. 3, г—е). Но это не могло быть фактором, обуславливающим высокую продуктивность района, так как из-за очень малой прозрачности вод (3—7 м по диску Секки) даже на самых мелководных станциях условия освещенности в придонном слое были неблагоприятными для нормального развития фитопланктона, а поступление биогенных элементов из придонного слоя в верхний слой продуктивного фотосинтеза было невозможным из-за устойчивой вертикальной стратификации вод, связанной с опреснением поверхностного слоя речным стоком. Таким образом, подъем вод не мог служить фактором, способствующим увеличению количества биогенных элементов в поверхностном слое воды. Между тем мы отметили увеличение концентрации фосфора и нитритного азота в прибрежной области (см. рис. 2 в, г), что объясняем влиянием речного стока. Большая часть приносимого стоком органического вещества остается, по-видимому, вблизи берега и благодаря высокой температуре воды (26—27°С) быстро окисляется, а фосфор и азот регенерируются. Подтверждением нашего мнения является и характер вертикального распределения этих элементов: максимальная концентрация их наблюдалась на поверхности и уменьшалась с глубиной (см. рис. 3, г—е). С удалением от берега концентрация фосфора на поверхности снижалась от 10—17 до 5—2 мкг/л, нитритного азота — от 5—9 мкг/л до аналитического нуля (см. рис. 2, в—г).



Таким образом, наиболее благоприятные условия для развития фитопланктона в период наших исследований существовали в прибрежной области, причем это обусловлено, вероятно, тем, что биогенные вещества постоянно поступали в фотический слой, и концентрация их все время поддерживалась на том уровне, который обеспечивает интенсивное развитие фитопланктона. В связи с этим в прибрежной об-

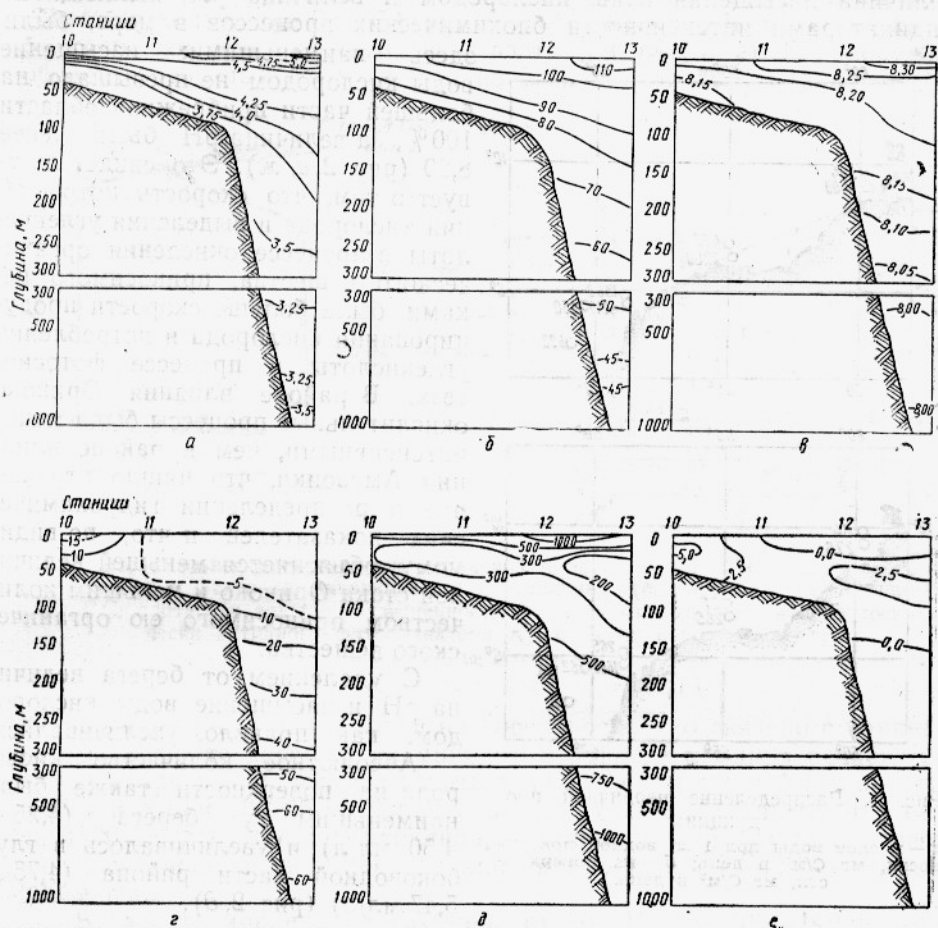


Рис. 3. Распределение гидрохимических характеристик на разрезе II: а — кислород, мг/л; б — кислород, %; в — величина рН; г — фосфор, мкг/л; д — кремний, мкг/л; е — нитритный азот, мкг/л.

ласти наблюдалась максимальная биомасса планктона — 2—6 г/м<sup>3</sup> (Иванов, 1970) с преобладанием фитопланктона до 95%. Здесь же отмечена и наибольшая величина первичной продукции — 280—1600 мг С/м<sup>3</sup> в день (1400—4040 мг С/м<sup>2</sup> в день) (рис. 4).

Методика сбора проб и их экспонирования не дала возможности достаточно полно охарактеризовать продукцию глубоководной области, однако отмечена четкая тенденция к уменьшению величины первичной продукции по направлению к открытому океану. На поверхности величина продукции снижалась до 20—80 мг С/м<sup>3</sup> в день; во всем фотическом слое она оставалась достаточно высокой (около 500 мг С/м<sup>2</sup> в день), но по сравнению с прибрежной областью была в 3—4 раза ниже. Минимальная величина первичной продукции (4 мг С/м<sup>3</sup> в день) отмечена на глубоководной ст. 5.

Исключением является район II разреза, где влияние речного сто-

ка было наиболее сильным. Здесь везде от прибрежной до океанической части в поверхностном слое преобладал фитопланктон в отличие от остальных районов, где с удалением от берега начинал доминировать зоопланктон (Ivanov, 1970). Величина первичной продукции не снижалась менее  $265 \text{ мг С/м}^3$  в день ( $1360 \text{ мг С/м}^2$  в день).

Несмотря на самый активный фотосинтез в прибрежной области, величина насыщения воды кислородом и величина рН, являющиеся индикаторами интенсивности биохимических процессов в море, были

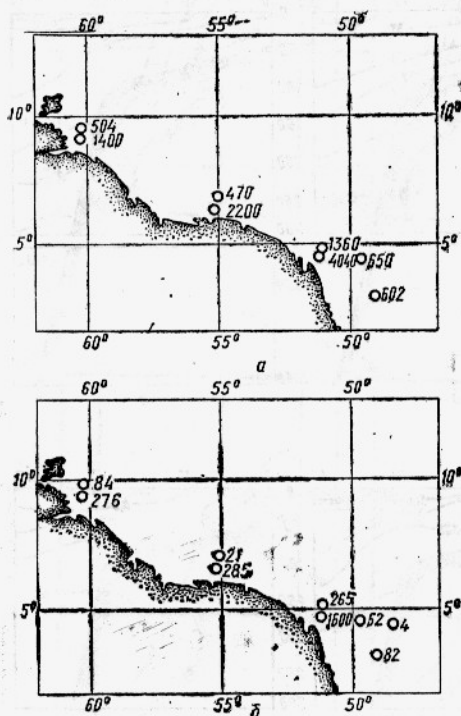


Рис. 4. Распределение первичной продукции:

а — в слое воды под  $1 \text{ м}^2$  водной поверхности,  $\text{мг С/м}^2$  в день; б — на поверхности,  $\text{мг С/м}^3$  в день.

здесь наименьшими: насыщение воды кислородом не превышало на большей части прибрежной области 100%, а величина рН была менее 8,20 (рис. 2, е, ж). Это свидетельствует о том, что скорость потребления кислорода и выделения углекислоты в процессе окисления органического вещества, приносимого реками, была больше скорости продуцирования кислорода и потребления углекислоты в процессе фотосинтеза. В районе влияния Ориноко окислительные процессы были менее интенсивными, чем в районе влияния Амазонки, что нашло отражение в распределении гидрохимических показателей и что, по-видимому, объясняется меньшей величиной стока Ориноко и меньшим количеством приносимого ею органического вещества.

С удалением от берега величина рН и насыщение воды кислородом, как правило, увеличивались.

Абсолютное количество кислорода на поверхности также было наименьшим у берега ( $4,25\text{—}4,50 \text{ мл/л}$ ) и увеличивалось в глубокowodной части района ( $4,75\text{—}5,47 \text{ мл/л}$ ) (рис. 2, д).

Характер вертикального распределения гидрохимических показателей зависит как от физических, так и от биохимических факторов. Большое значение имеет процесс фотосинтеза, поэтому прежде всего рассмотрим распределение интенсивности фотосинтеза по вертикали на основе данных по распределению фитопланктона и величины первичной продукции.

Фотосинтетически активный фитопланктон был обнаружен в слое до 25—35 м и редко в небольших количествах глубже 50 м. Максимальные скопления продукционно способного фитопланктона наблюдались, как правило, до глубины 10 м. Как известно, величина первичной продукции определяется не только количеством фотосинтетически активного фитопланктона, но и условиями освещенности. Солнечная радиация в районе наблюдений превышает оптимум, необходимый для нормальной жизнедеятельности фитопланктона. Однако ввиду низкой прозрачности воды (на большей части 3—7 м по диску Секки) освещенность с глубиной быстро уменьшалась, в результате чего максимальная величина первичной продукции отмечалась, как правило, на поверхности или сразу под ней и резко снижалась с увеличением глу-

бины, а толщина фотического слоя была незначительной — 8—20 м (рис. 5).

В пределах слоя продуктивного фотосинтеза содержание кислорода и величина рН были максимальными (4,25—5,47 мл  $O_2$ /л; рН 8,15—8,34), концентрация фосфора — наименьшая (менее 5 мкг/л) (см. рис. 3, а—е). Нитритный азот в слое фотосинтеза отсутствовал. Он наблюдался на двух-трех горизонтах непосредственно под слоем фотосинтеза в количестве 0,5—5,0 мкг/л и исчезал с глубиной в результате быстрого окисления до нитратного азота (см. рис. 3, е). В прибрежной области нитритный азот отмечен во всей водной толще, а концентра-

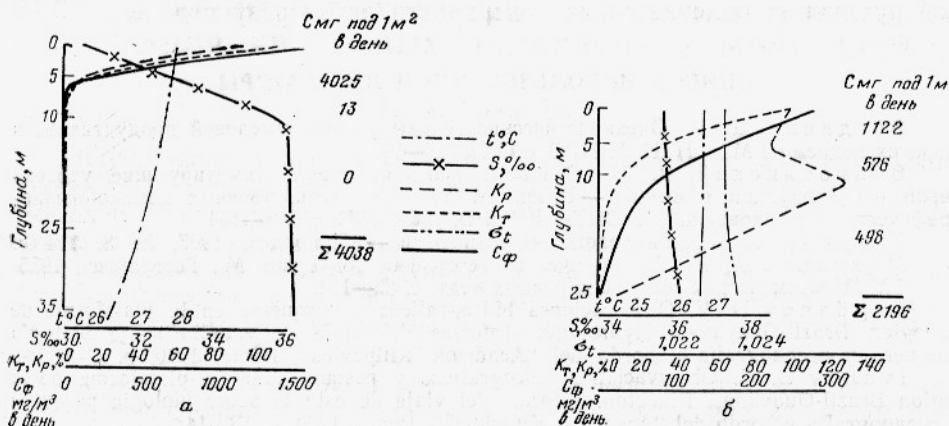


Рис. 5. Вертикальное распределение первичной продукции (мг С/м<sup>3</sup> в день, мг С под 1 м<sup>2</sup> в день) и факторов, влияющих на ее величину (солености S‰, температуры воды t°C, плотности воды  $\sigma_t$ , освещенности K<sub>T</sub> в % от поверхностной, фотосинтетически активного фитопланктона K<sub>p</sub> в % от поверхностного):

а — на ст. 10; б — на ст. 17.

ция фосфора была наибольшей на поверхности, что связано с влиянием речных вод. Что касается кремния, то в районах влияния речного стока, несмотря на процесс фотосинтеза, его концентрация была наибольшей в верхнем 10—25-метровом слое (см. рис. 3, д) (выше 500, иногда 1400 мкг/л). В слое галоклина, возникшего в результате опреснения поверхностных вод, концентрация кремния уменьшалась до 180—300 мкг/л.

В слое термоклина на глубинах от 60—100 до 100—140 м содержание кислорода снижалось с 4,00—4,25 до 3,50—3,75 мл/л, величина рН — с 8,15—8,20 до 8,10—8,15, количество фосфора увеличивалось с 5—10 до 15—20 мкг/л, кремния — с 200—300 до 400—600 мкг/л.

Минимум кислорода и рН отмечен на глубине 400—600 м (2,79—3,19 мл  $O_2$ /л, рН 7,89—7,96). На этой же глубине, как правило, наблюдался и максимум фосфора (60—65 мкг/л). Содержание кремния увеличивалось с увеличением глубины и на горизонте 1000 м превышало 1000 мкг/л.

## Выводы

1. Бразильско-Гвианский район характеризуется высокой первичной продукцией, величина которой составляет 500—4040 мг С/м<sup>2</sup> в день, что обусловлено хорошим снабжением фотического слоя биогенными элементами.

2. Основным фактором, способствующим обогащению фотического слоя биогенными элементами, является речной сток.

3. Обогащение кремнием является результатом непосредственного

влияния речных вод; обогащение океанических вод нитритным азотом и фосфором происходит вследствие окисления органического вещества, приносимого реками.

4. Наиболее благоприятной для развития фитопланктона является прибрежная область, где величина первичной продукции максимальная — 1400—4040 мг С/м<sup>2</sup> в день.

5. В глубоководной части величина первичной продукции в 3—4 раза меньше, чем в прибрежной части, — около 500 мг С/м<sup>2</sup> в день.

6. Небольшая прозрачность вод обуславливает незначительную толщину фотического слоя (8—20 м), а максимальная величина первичной продукции отмечается на поверхности либо сразу под ней.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Богданов Д. В. Океанологические основы рыбопромысловой продуктивности морских водоемов. М., ОНТИ ВНИРО, 1970, с. 57—59.

Волковинский В. В. Основные факторы среды, лимитирующие уровень первичной продукции в океане. — В кн.: Методы рыбохозяйственных химико-океанографических исследований. М., ОНТИ ВНИРО, 1968, ч. II, с. 135—154.

Карасик Г. Я. Гидрологи на Амазонке. — «Природа», 1967, № 8, 114 с.

Максимович Г. А. Химическая география вод суши. М., Географгиз, 1955.

Гл. IV «Химическая география речных вод», с. 82—154.

Bogdanov D. V. Observaciones hidrograficas y pesqueras en la plataforma de la region Brazil-Guayanas. Hydrologia. Informe del viaje de estudio sobre biologia pesquera y oceanografia a bordo del "Academic Knipovich", Roma, 1970, p. 5—7.

Ivanov B. G. Observaciones hidrograficas y pesqueras en la plataforma de la region Brazil-Guayanas. Plancton. Informe del viaje de estudio sobre biologia pesquera y oceanografia a bordo del "Academic Knipovich", Roma, 1970, p. 13—14.

Ryther J. H., Menzel D. W. and Nathaniel Corwin. Influence of the Amazon River outflow on the Ecology of the Western Tropical Atlantic. I. Hydrography and Nutrient Chemistry. J. Marine Research, v. 25, N 1, 1967, p. 69—83.

#### Hydrochemical characteristics and primary production in the Brazil — Guiana waters in the summer of 1969

N. V. Arzhanova, M. A. Burkaltseva

#### SUMMARY

Based on the investigations carried out on board R/V ACADEMIK KNIPOVICH in accordance with the programme of the International Seminar sponsored by FAO the analysis of hydrochemical conditions and primary production in the Brazil — Guiana waters has been made. It is noted that the photic layer is enriched with biogenic elements mainly owing to the runoff of the Amazon and Orinoco Rivers. The most favourable conditions for the development of phytoplankton are observed in the inshore waters where the value of primary production is the highest (1400—4040 mg C/m<sup>2</sup> per day). In proportion to moving off the shore the concentration of biogenic substances becomes lower and the value of primary production decreases by 3—4 times and is as low as 500 mg C/m<sup>2</sup> per day. The depth of the photic layer is only 8—20 m due to inadequate transparency of waters. The maximum values of primary production are found either on the surface or near the surface.