

АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
МОРСКОГО РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ (АЗЧЕРНИРО)

"Для служебного пользования"

Экз. № 4

УДК 551.464:639.28 (269.7)

№ Гос. регистрации: 80010726

Инвентарный номер



Директор АЗЧЕРНИРО

В.Л. СПИРИДОНОВ

18 декабря 1980 г.

ПРОМЫСЛОВЫЕ РЕСУРСЫ КРИЛЯ И РАЙОНОВ ИНДООКЕАНОСКОГО СЕКТОРА  
АНТАРКТИКИ

Закономерности формирования и изменчивость биогенно-  
химической основы биологической продуктивности  
Индийского океана

ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОБИТАНИЯ  
КРИЛЯ, ОЦЕНКА ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ПРОМЫСЛОВЫХ  
РАЙОНОВ ИНДООКЕАНОСКОГО СЕКТОРА АНТАРКТИКИ  
(заключительный этап).

Шифр темы 3(3)0.74.01.06.05

Зам. директора института по научной  
работе, к.б.н.

Е.П. ГУБАНОВ

Зав. лабораторией промышленной оке-  
анографии, к.г.н.

В.А. БРЯНЦЕВ

Руководитель раздела II и ответствен-  
ный исполнитель, зав. сектором гидрохимии,  
к.г.н.

В.А. ХИМИЦА

Исполнители: мл. научный сотрудник  
инженер

А.Т. КОЧЕРГИН

Т.М. ПАНКРАТОВА

Ильв 435/8  
Дата 23.12.80

Керчь - 1980

К вх. 438/сен 23.12.80

№ 4140  
Библиотека

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

1. КОЧЕРГИН А. Т. - мл. н. сотрудник (3)
2. ПАНКРАТОВА Т. М. - инженер (4)
3. ХИМИЦА В. А. - зав. сектором гидрохимии, К.Г.Н.  
(1,2,5,6)

РЕФЕРАТ

стр. 23

рис. 3

**Ключевые слова:** Гидрохимические условия, криль, первичная продукция, химико-динамические поля, скопление, морские течения, слой продуктивного фотосинтеза

В результате анализа многолетних материалов выявлены гидрохимические условия обитания криля в летний и, частично, в зимний периоды. Показано, что распределение гидрохимических элементов в трехмерном пространстве имеет сложный характер, обусловленный системой морских течений, а в слое продуктивного фотосинтеза — также продукционными процессами. Выяснено, что очаги интенсивного биохимического потребления кремниевой кислоты и фосфатов располагаются в основной зоне Антарктической дивергенции и, как правило, приурочены к мезомасштабным антициклоническим либо к периферии циклонических циркуляций. Показана роль химико-динамических полей и распределения величин первичной продукции в формировании скопления криля.

# СО Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

1. ВВЕДЕНИЕ	5
2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРЕХМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В АНТАРКТИЧЕС- КОЙ ЗОНЕ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА.	6
2.1. Пространственное распределение раство- рённого кислорода	6
2.1.1. Летний период	7
2.1.2. Зимний период	8
2.2. Пространственное распределение биоген- ных элементов	8
2.2.1. Летний период	9
2.2.2. Зимний период	10
3. ДИНАМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЛЕЙ БИОГЕННЫХ ЭЛЕ- МЕНТОВ В АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА	11
3.1. Методика расчёта и исходные материалы	11
3.2. Анализ балансовых составляющих поля биогенных элементов в Индоокеанском секторе Антарктики.	12
4. ОЦЕНКА ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ПРОМЫСЛОВЫХ РАЙОНОВ ИНДООКЕАНСКОГО СЕКТОРА АНТАРКТИКИ	17
5. ВЗАИМОСВЯЗЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОПЛЕНИЯ КРИЛЯ, БИОХИМИЧЕСКОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ КРЕМНЕКИСЛОТЫ И ВЕЛИЧИН ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ	19
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	21

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Исследования гидрохимических условий обитания криля в антарктической зоне Индийского океана АзчерНИРО проводились в период с 1977 по 1980 года. За это время в западной части антарктической зоны (30-100° в.д.) были изучены особенности трехмерного распределения гидрохимических параметров и влияние этого распределения на формирование районов повышенной первичной продукции и распределения криля преимущественно в летний сезон.

По формулам балансового анализа гидрохимических полей были рассчитаны адвективные составляющие баланса биогенных веществ в фотической зоне океана и на этой основе изучено динамическое состояние полей фосфатов и кремниевой кислоты. Было показано, что районы повышенной интенсивности продукционных процессов и значительной биомассы фитопланктона тяготеют, главным образом, к очагам "накопления" питательных солей, а скопления криля в большинстве случаев приурочены к периферии этих очагов в направлении преобладающего переноса вод. Подобная приуроченность скоплений криля была обнаружена в очагах выноса биогенных элементов из аккумулятивного слоя в фотическую зону.

Для оценки пространственного распределения продуктивных районов в антарктической зоне, по гидрохимическим данным различными способами были рассчитаны величины первичной продукции. По особенностям пространственного распределения этого параметра и использования критерия "резко пониженных концентраций биогенных веществ" в слое продуктивного фотосинтеза в западной части антарктической зоны Индийского океана были выделены потенциально-продуктивные районы.

Все эти соображения были изложены в работах /1,2,3/. В настоящем отчете в обобщенном виде приводятся результаты исследований АзчерНИРО в антарктической зоне Индийского океана за 1977-1979 г.г., а также итоги исследований по разделу II темы 3 за 1980 г.

## 2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРЕХМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА

На образование скоплений антарктического криля определённое влияние оказывают гидрохимические условия, которые проявляются через пищу данного промыслового объекта — фитопланктон.

В антарктической зоне растительный планктон распределён неравномерно и это, вероятно, обусловлено (наряду с физико-динамическими и биологическими факторами) тем, что различные виды фитопланктона максимальную биомассу образуют при определённом качественном сочетании и уровне концентрации питательных солей. С этой точки зрения изучение закономерностей трехмерного распределения гидрохимических элементов приобретает конкретный смысл, так как на основе их познания появляется возможность всестороннего изучения механизма формирования промысловых скоплений антарктического криля.

Исследование трехмерного распределения гидрохимических параметров в западной части антарктической зоны Индийского океана (40°–100° в.д.) выполнено по материалам 20 экспедиций АзчерНИРО и Управления "Югрийпромразведка" за период с 1968 по 1979 года. Пространственные осреднения гидрохимических данных проведены по двухградусным трапециям, временное — по двум периодам: октябрь–апрель (условно тёплая часть года), май–сентябрь (холодная часть года). По осредненным данным для указанных выше периодов построены карты концентраций растворённого кислорода, фосфатов и кремниевой кислоты (0, 50, 100, 200, 500 м) и несколько меридиальных разрезов.

### 2.1. Пространственное распределение растворённого кислорода

Воды Антарктики выделяются максимальными в Мировом океане концентрация растворённого кислорода, чему способствует отрицательная температура воды (характерная для большинства сезонов), которая существенно замедляет окислительные процессы и одновременно способствует повышению растворимости этого газа в морской воде.

По характеру вертикального распределения концентраций

кислорода водная толща антарктических вод ( в пределах 0-2000 м) подразделяется на два слоя: верхний однородный (0-100 м) с высокой концентрацией данного газа и слой кислородного минимума, располагающийся на глубинах от 100-200 м до 1750-2000 м. Образование слоя кислородного минимума в антарктической зоне преимущественно обусловлено адвекцией обеднённых кислородом вод с севера, поскольку именно эти воды значительно уменьшают его концентрацию, так <sup>как</sup> биохимическое потребление кислорода в условиях низких температур незначительно.

### 2.1.1. Летний период

Летом в поверхностном слое антарктических вод концентрация кислорода колеблется в интервале 7.0-8.6 мл/л при значительной пространственной неоднородности его величин, причём в общем более высокие значения наблюдаются у побережья Антарктиды, а более низкие - в северной части региона.

На фоне зонального распределения концентраций кислорода его распределение в пространстве имеет существенное различие и особенно в зоне Антарктической дивергенции, в которой зафиксировано чередование очагов с пониженными и повышенными величинами кислорода, соответствующих районам подъёма и опускания вод в центральных частях мезомасштабных циклонических и антициклонических циркуляций.

Самая высокая концентрация кислорода отмечена в заливе Прюде, что является следствием процесса интенсивного продуцирования этого газа при фотосинтезе ( относительное содержание кислорода достигает 110 %). В северной части региона распределение концентраций кислорода отличается "волнообразным" характером, которое отражает картину проникновения вод и льду ( в районе 52°78' и 108° в.д.) с более низкими значениями этого параметра и адвекцию богатых кислородом вод (в районе 45°70' и 90° в.д.) к северу. Судя по величинам насыщения воды кислородом (102-110 %), процесс фотосинтеза ( помимо залива Прюде) интенсивно протекал также в восточной части исследуемой области океана и в зоне, расположенной между 60-75° в.д. На остальной акватории поверхностные воды были недосыщены кислородом.

Наиболее сложное распределение концентраций кислорода отмечается на горизонте 100 м, т.к. во многих районах на этой глубине как бы располагается верхняя часть слоя кислородного

минимума. Это особенно проявляется в зоне Антарктической дивергенции, в которой на глубине 100 м зафиксировано чередование мезомасштабных областей с пониженными (4,4-5,8 мл/л) и повышенными (7,0-8,0 мл/л) величинами кислорода, что косвенно подтверждает сложность её динамической структуры.

Под верхним однородным слоем концентрация кислорода существенно понижается и на глубине 200 м в зоне Антарктической дивергенции она колеблется в пределах 4,2-4,8 мл/л, а южнее и севернее этой зоны - в интервале 6,5-7,5 мл/л (I). На больших глубинах содержание кислорода изменяется в рамках 4,0-4,5 мл/л, достигая в отдельных местах значений 3,8 мл/л, и только в непосредственной близости от побережья Антарктиды концентрация этого газа остаётся высокой (I).

### 2.1.2 Зимний период

Зимний период характеризуется небольшим количеством гидрохимических данных (особенно в южной части региона) и поэтому в настоящем отчёте освещено распределение химических параметров только в районе, расположенном между 40°-70° в.д. Кроме того, следует иметь в виду, что зимой большая часть акватории покрыта льдом и поэтому недоступна для наблюдений с судов.

В поверхностном слое содержание кислорода возрастает в направлении с севера на юг от 7,4 до 8,0 мл/л. Повсеместно поверхностный слой недосыщен кислородом, поскольку в зимний период интенсивность процесса фотосинтеза очень мала. В более глубоких слоях воды в распределении кислорода, по сравнению с поверхностным слоем, отмечается обратная картина, т.е. его концентрации в основном возрастают в северном направлении. На глубине 100 м (зона между 62°-64° в.д.) наблюдается подъём вод из слоя кислородного минимума, к северу и к югу от этой зоны концентрация кислорода возрастает до 5,9-7,8 мл/л. В слое 200-500 м содержание кислорода колеблется в интервале 4,2-6,2 мл/л, достигая максимальных величин в северной части региона.

### 2.2. Пространственное распределение биогенных элементов

В антарктических водах концентрация биогенных элементов всегда остаётся на высоком уровне, даже в период бурной вегетации фитопланктона, хотя в местах интенсивного развития



Фитопланктона содержание питательных солей может уменьшаться в два-три раза по сравнению со "спокойными" районами. Следует отметить, что на различных участках исследуемой зоны океана скорость "выедания" кремнекислоты и фосфатов бывает неодинаковой, что находит отражение в сложном пространственном распределении этих элементов (особенно в летний сезон).

По вертикальному распределению фосфатов водная толща подразделяется на верхний однородный слой (0-100-200 м) и слой максимума (200-800 м). Концентрация кремнекислоты (в пределах 0-2000 м) равномерно возрастает по мере увеличения глубины, достигая максимального значения у нижнего предела измерений.

### 2.2.1 Летний период

В поверхностном слое самые низкие концентрации фосфатов (0,65-0,80 мкг-ат/л) отмечаются в заливе Пруде и море Содружества. В южной части залива Пруде также наблюдается пониженная концентрация кремнекислоты, однако её минимальные значения зафиксированы севернее 60° ю.ш. (в районе между 70-75° в.д.). Очаги повышенной концентрации фосфатов (более 1,70 мкг-ат/л) повсеместно отмечаются севернее 56° в.д. и они соседствуют с очагами пониженного содержания этого биогенного элемента.

В распределении концентраций кремнекислоты наблюдается общая тенденция повышения её величин в направлении с севера на юг. Южнее 60° ю.ш. выделяется ряд районов с повышенными концентрациями кремнекислоты, а в районе 46-52° в.д. отмечается перенос вод к северу, обогащённых этим элементом.

Особой сложностью отличается распределение питательных солей на глубине 100 м, где общий интервал изменения концентраций фосфатов составляет 0,90-2,20, а кремнекислоты-8-79 мкг-ат/л. При этом наблюдается увеличение значений биогенных веществ в направлении с запада на восток и существование ряда областей с повышенными и пониженными концентрациями этих элементов.

В более глубоких слоях воды характер пространственного распределения питательных солей имеет те же черты, что и на горизонте 100 м, но с глубиной отмечается увеличение их концентраций.

По данным рейса РТМ-А "Чатыр-Даг" были выяснены особенности вертикального распределения общего железа на разрезе по  $80^{\circ}$  в.д. (февраль 1979 г.).

По наблюдениям на этом разрезе концентрация железа с увеличением глубины постепенно уменьшается. Верхний однородный слой (около 30 м) характеризуется концентрацией общего железа порядка 0.7 мкг-ат/л. В районе Антарктической дивергенции ( $62-63^{\circ}$  ю.ш.) концентрация железа остаётся практически неизменной до глубины 200 м (нижний предел измерений). Севернее  $63^{\circ}$  ю.ш. концентрация железа с увеличением глубины резко уменьшается, приближаясь на горизонтах 150-200 м к нулевым значениям. К югу от зоны Антарктической дивергенции понижение концентрации железа с глубиной происходит более плавно, однако в районе  $65^{\circ}$  ю.ш. на глубине примерно 100 м отмечается ядро с величинами этого параметра равными 0.60-0.75 мкг-ат/л.

### 2.2.2. Зимний период

В зимний сезон происходит общее повышение концентраций биогенных веществ во всей толще вод (вплоть до глубины 2000 м).

Для поверхностного слоя характерно общее увеличение концентраций питательных солей по мере приближения к побережью Антарктиды, в котором по сравнению с летним периодом содержание фосфатов возрастает на 0.4-0.6 и кремнекислоты на 10-20 мкг-ат/л. На глубине 100 м содержание фосфатов изменяется в интервале 1.40-2.30, кремнекислоты - 10-60 мкг-ат/л. В слое максимума фосфатов их концентрация отличалась высокими величинами (порядка 2.20-2.50 мкг-ат/л); кремнекислота в глубинных слоях воды также достигала больших значений и это является одной из отличительных особенностей антарктических вод в зимний период.

Таким образом в результате анализа многолетних материалов были выявлены гидрохимические условия обитания криля в летний и, частично, в зимний периоды. Показано, что трехмерное распределение гидрохимических параметров имеет сложный характер, обусловленный особенностями трехмерной циркуляции вод, а в слое продуктивного фотосинтеза - продукционными процессами.

## 3. ДИНАМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЛЕЙ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА

В развитии исследований баланса биогенных веществ в антарктической зоне океана был произведён расчёт (наряду с адвективными) диффузионных составляющих баланса фосфатов и кремниевой кислоты, что позволило оценить вклад каждого из перечисленных выше факторов в формирование полей биогенных элементов и выявить районы интенсификации биохимических и продукционных процессов. В результате подобных расчётов появилась возможность рассчитать биохимическую составляющую баланса биогенных веществ и это в свою очередь намного конкретизировало разработку балансового метода расчёта величин первичной продукции, применимой для районов с высокой концентрацией питательных солей в слое продуктивного фотосинтеза.

### 3.1. Методика расчёта и исходные материалы.

Изменение концентрации химического вещества в любой точке океана определяется совместным действием таких факторов, как адвективное и диффузионное перемешивание, а также химическими и биохимическими процессами, что отражает предложенное В.Л. Лебедевым уравнение /4/:

$$C = C'(\Phi) + C'(A) + C'(D) \quad (1).$$

где  $C$  — скорость изменения концентрации химического вещества в точке поля;

$C'(\Phi)$  — составляющая скорости изменения концентрации, вызванная источниками (химическими и биохимическими процессами);

$C'(A)$  — составляющая скорости изменения концентрации, вызванная адвекцией;

$C'(D)$  — составляющая скорости изменения концентрации, вызванная диффузией;

Принимается допущение о незначительности изменения концентрации биогенных элементов в открытом океане за счёт химических процессов (ввиду равновесного ионного состояния). Тогда уравнение (1), при условии стационарности поля ( $C=0$ ) для интересующей нас скорости изменения концентрации фосфатов и кремниевой кислоты в результате действия биохимических факторов имеет вид:

$$-C'(\Phi) = C'(A) + C'(D) \quad (2).$$

$$\text{или } -C'(\Phi) = -u \frac{\partial C}{\partial x} - v \frac{\partial C}{\partial y} - w \frac{\partial C}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} K_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial C}{\partial z} \dots$$

(3).

используя в уравнении (3) суммарное горизонтальное течение (направленное вдоль оси X) и постоянные коэффициенты диффузии

получим:

$$-C'(\Phi) = -u \frac{\partial C}{\partial x} - w \frac{\partial C}{\partial z} + K_L \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + K_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \dots \quad (4)$$

где  $K_L = K_x = K_y$  - коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии;

$K_z$  - коэффициент вертикальной турбулентной диффузии;

В качестве исходных были использованы данные глубоководных наблюдений, полученные экспедициями АзчерНИРО и Управления "Югрия-проимразведка" на НПС "Чатыр-Даг" и "Кара-Даг" в период декабрь-февраль 1972-1973 г.г. в антарктическом секторе Индийского океана, а также карты вертикальной дрейфовой составляющей и суммарных горизонтальных течений, составленных на основе геострофических /5/ и дрейфовых /6/. Коэффициенты горизонтального ( $K_L = 10^8 \text{ см}^2 \text{ сек}^{-1}$ ) и вертикального ( $K_z = 30 \text{ см}^2 \text{ сек}^{-1}$ ) турбулентного обмена взяты из литературных источников (Россби, Монтгомери, Свердруп, 1939; Озмидов, Попов 1966). Столь высокий коэффициент вертикального турбулентного обмена принят исходя из того, что расчёт производился для верхнего 50-метрового слоя, где турбулентные процессы наиболее интенсивны /7/.

Расчёт составляющих баланса биогенных элементов по уравнению /4/ производился по программе, составленной ст. инженером АСБ АзчерНИРО Коршуновой Г.П., на ЭВМ АСВТМ 4030.

### 3.2. Анализ балансовых составляющих поля биогенных элементов в индоокеанском секторе Антарктики.

Анализ карт распределения составляющих баланса фосфатов и кремнекислоты позволил выявить некоторые особенности формирования поля биогенных элементов под влиянием адвективных, диффузионных и химико-биологических факторов.

Наиболее существенная перестройка поля биогенных элементов в результате горизонтальной и вертикальной адвекции происходит на севере района между 50 и 80° в.д., где скорость роста концентрации фосфатов достигает  $2 \times 10^{-7}$ , а кремнекислоты -  $-60-80 \times 10^{-7} \text{ мкг-ат} \times \text{л}^{-1} \times \text{сек}^{-1}$  (рис. 2).

Подавляющая часть исследуемой акватории характеризуется ростом концентрации биогенных элементов под влиянием адвективных факторов. Очаги убыли кремнекислоты (скорость до  $10+20 \times 10 \text{ мкг-ат} \times \text{л}^{-1} \times \text{сек}^{-1}$ ) формируются в основном в крайних западной и восточной, а фосфатов (скорость до  $1 \times 10^{-7} \text{ мкг-ат} \times \text{л}^{-1} \times \text{сек}^{-1}$ ) в центральных частях района.

Биохимические процессы в верхнем 50-метровом слое формируются главным образом под влиянием диффузионного перемешивания.

которое в несколько раз превышает адвективное. Поэтому рассмотрение особенностей биохимических процессов в фотическом слое (до 50 м) отражает и особенности формирования поля биогенных элементов под влиянием диффузионного перемешивания.

По интенсивности биохимического потребления (знак "+") и минерализации (знак "-") основных биохимических факторов исследуемую акваторию можно подразделить на две части: западную и восточную. Западная, располагающаяся от 30 до 60° в.д., характеризуется слабыми биохимическими процессами (скорость изменения концентрации фосфатов до  $10 + 15 \times 10^{-7}$ , кремнекислоты до  $200 + 400 \times 10^{-7}$  мкг-ат  $\times$  л<sup>-1</sup>  $\times$  сек<sup>-1</sup>), которые тормозятся такими особенностями термохалинной структуры, как отсутствие теплой верхней прослойки и слоя скачка температуры, наличие мощной холодной прослойки /9/.

В отличие от западной, в восточной части термохалинная структура и высокий теплозапас вод благоприятствует развитию первичной продукции /9/, что отражается в более выраженных биохимических процессах. Очаги потребления биогенных элементов (скорость убыли концентрации фосфатов до  $15 + 25 \times 10^{-7}$ , кремнекислоты - до  $600 + 1000 \times 10^{-7}$  мкг-ат  $\times$  л<sup>-1</sup>  $\times$  сек<sup>-1</sup>) преобладают здесь как по площади, так и по интенсивности над очагами минерализации органики (скорость роста концентрации фосфатов до  $10 + 15 \times 10^{-7}$ , кремнекислоты - до  $200 + 400 \times 10^{-7}$  мкг-ат  $\times$  л<sup>-1</sup>  $\times$  сек<sup>-1</sup>) /рис. 3/. Расположенная на северо-западе восточной части обширная зона роста концентрации фосфатов (скорость до  $15 \times 10^{-7}$  мкг-ат  $\times$  л<sup>-1</sup>  $\times$  сек<sup>-1</sup>) связана, вероятно, с превышением здесь минерализации над потреблением при продуцировании в связи с более ранней вегетацией фитопланктона и присутствием в данный момент массы взвешенной и растворенной органики.

При сравнении положения циркуляционных систем /5/ и зон интенсивных биохимических процессов следует отметить приуроченность очагов потребления биогенных элементов главным образом к антициклоническим или к периферии циклонических круговоротов, что хорошо согласуется с оценкой продукционных возможностей этих вихрей /6/. Наиболее интенсивные очаги потребления фосфатов и кремнекислоты (т.е. очаги продукционных процессов) формируются в основном в зоне или севернее антарктической дивергенции, являющейся важным тепловым и солевым источником. Исключением является северная часть моря Содружества, для которой характерно интенсивное биохимическое потребление фосфатов (скорость убыли до  $25 \times 10^{-7}$  мкг-ат  $\times$  л<sup>-1</sup>  $\times$  сек<sup>-1</sup>) (рис. 3.3.)

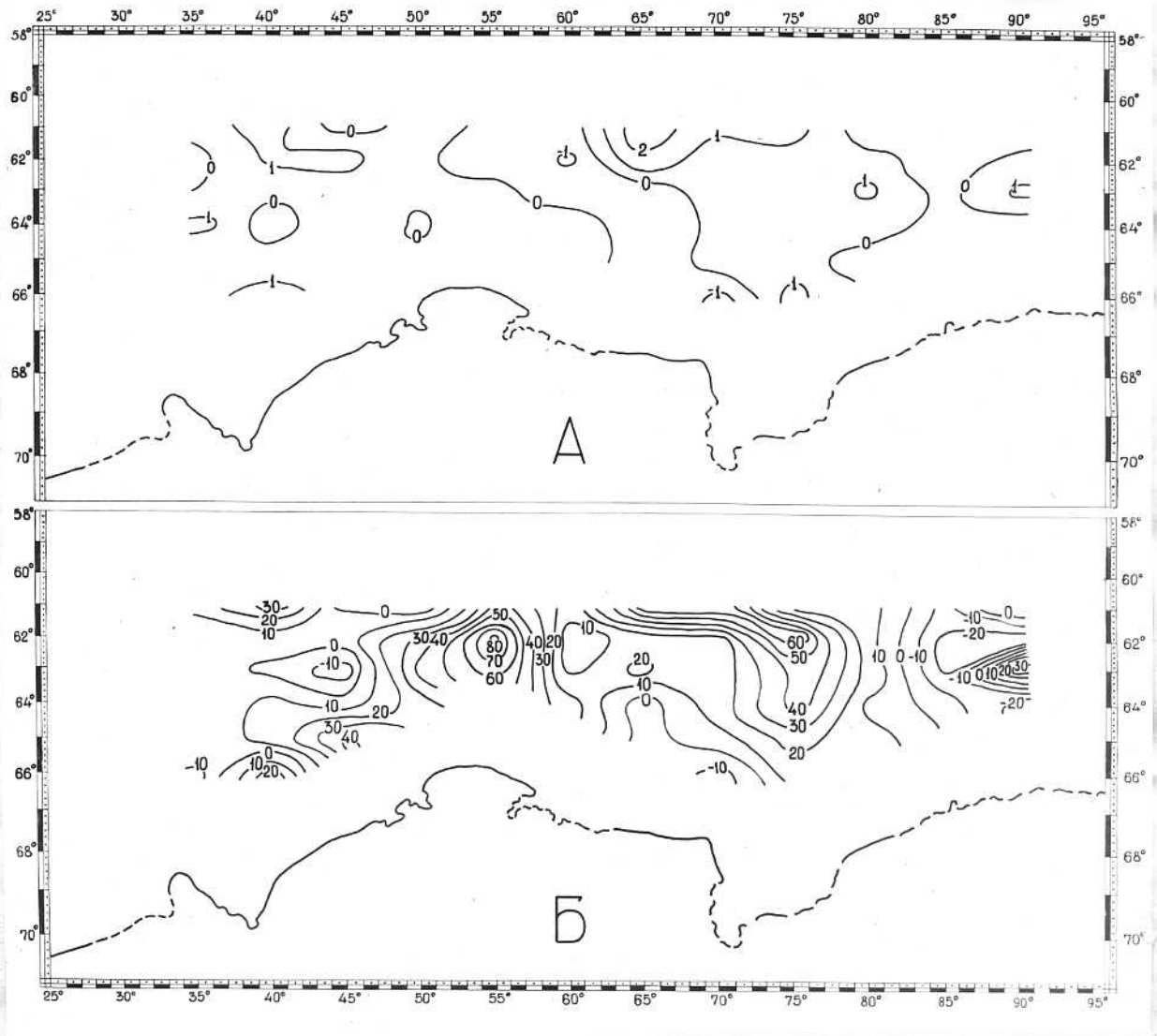


Рис. 3.1. Скорость изменения концентраций биогенных веществ за счёт горизонтальной и вертикальной адвекции ( в  $1 \times 10^{-7}$  мкг-ат  $\times \text{л}^{-1} \times \text{сек}^{-1}$ ) в антарктической зоне Индийского океана.

А - фосфаты

Б - кремнекислота

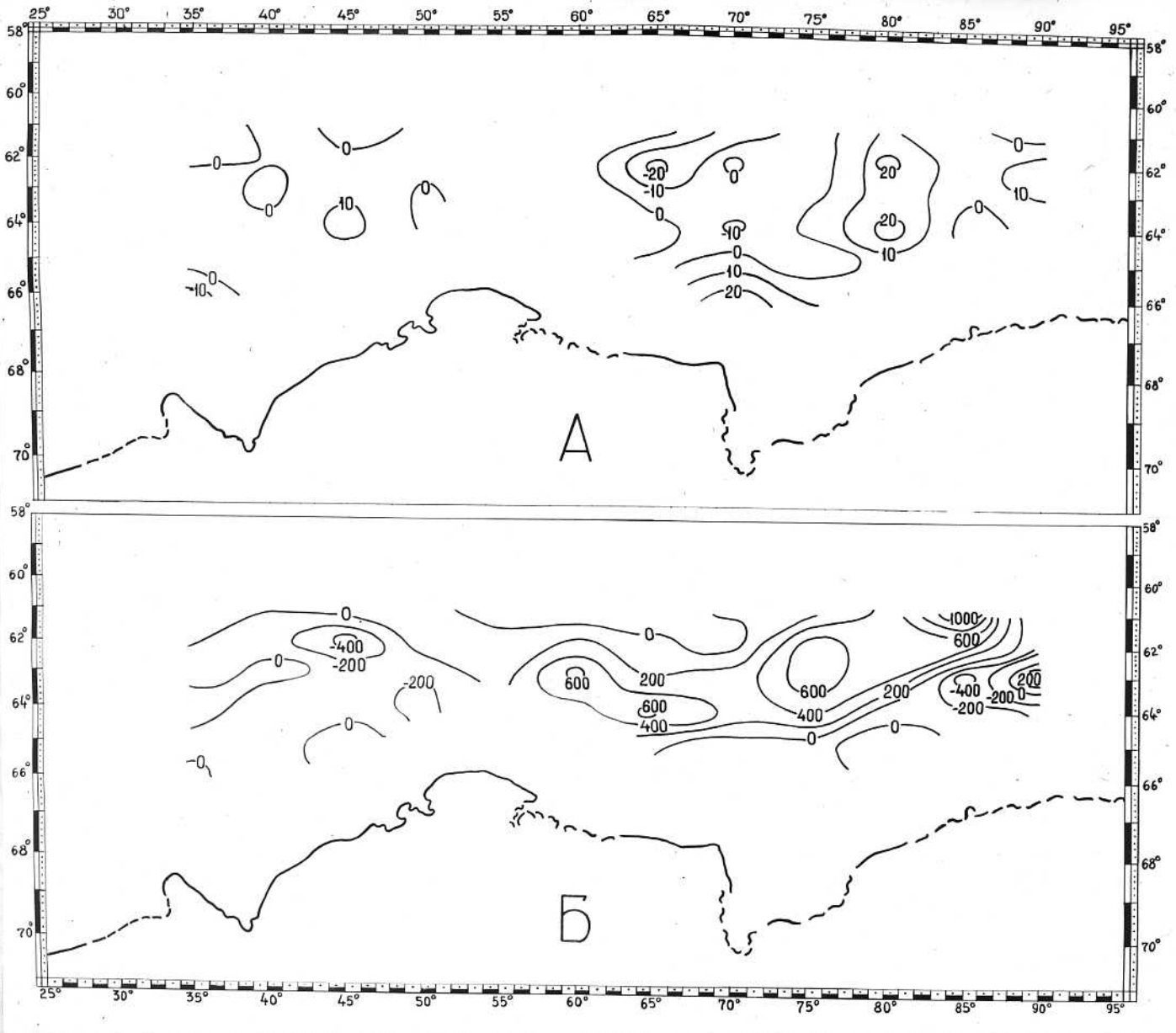


Рис. 3.2. Скорость изменения концентрации биогенных веществ за счёт диффузионного перемешивания ( в  $l \times 10^{-7}$  мкг-ат  $л^{-1}$   $\times$  сек $^{-1}$  ) в антарктической зоне Индийского океана

А - фосфаты

Б - кремниевая кислота

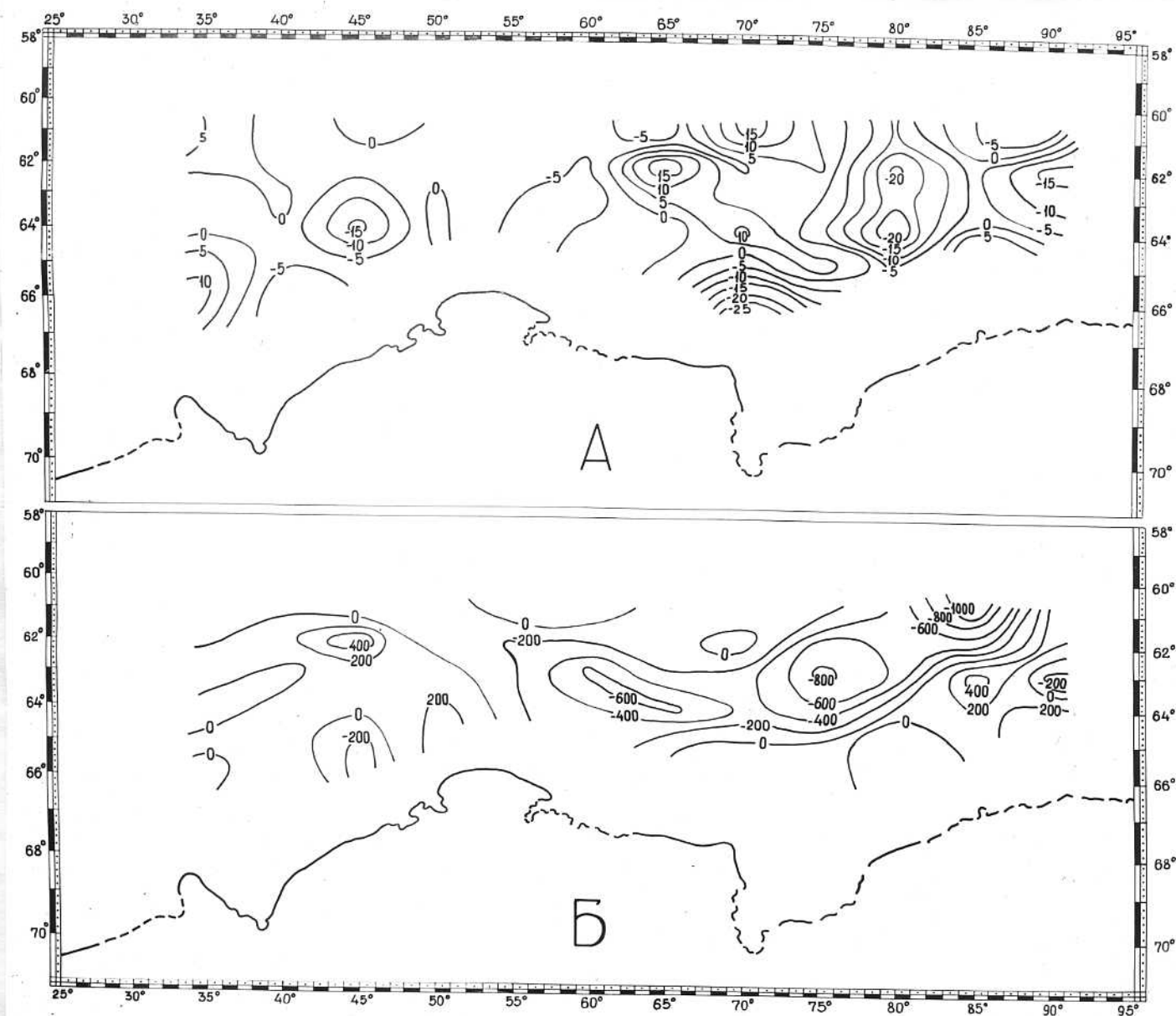


Рис. 3.3. Скорость биохимического потребления ( $\Gamma \times 10^{-7}$  мкг-а:  $\times \text{л}^{-1} \times \text{сек}^{-1}$ ) в антарктической зоне Индийского океана.

А - фосфаты

Б - кремниеслота



#### 4. ОЦЕНКА ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ПРОМЫСЛОВЫХ РАЙОНОВ ИНДООКЕАНСКОГО СЕКТОРА АНТАРКТИКИ

Для расчёта первичной продукции и выделения продуктивных участков в антарктической зоне Индийского океана (район между  $60^{\circ}$  -  $66^{\circ}$  в.ш. и  $60^{\circ}$  -  $95^{\circ}$  в.д.) использованы гидрохимические материалы семи экспедиций: АзчерНИРО и Управления "Югрийпромпроведка", проводивших исследования с 1973 по 1980 г.г. включительно.

Расчёт осуществлён по запасу питательных солей (фосфатов) в фотическом слое с учётом их оборачиваемости (по методике Волковинского В.В.) /3/ для лета (декабрь-февраль) южного полушария.

На основе данных расчётов была построена карта, отражающая распределение величин первичной продукции в слое продуктивного фотосинтеза указанного района. Продуктивность вод оценивалась с точки зрения общепринятой классификации Стивана-Нильсена /10/.

В летний сезон /рис. 4.1/ величины первичной продукции колеблются в пределах 170-580 мг  $C/m^2$  в день. Наблюдается зональное распределение величин первичной продукции в этой части океана, причём, с севера на юг идёт постепенное понижение этого параметра. В основном, изученная акватория занята водами с продукцией более 200 мг  $C/m^2$  в день, за исключением вод в южной части района. Максимальные величины первичной продукции (более 500 мг  $C/m^2$  в день) отмечаются на северо-востоке исследуемой акватории. Судя по величинам насыщения вод кислородом (104-106%), здесь более интенсивно протекает процесс фотосинтеза, а это обычно сопровождается значительным приростом массы растительного планктона (повышенная первичная продукция). Вероятно, здесь, в зоне схождения тёплых северных и богатых биогенными элементами холодных южных потоков, создаются оптимальные условия для продуцирования первичного органического вещества.

Результаты многолетних исследований пространственного распределения биомассы фитопланктона в слое 0-100 м также подтвердили, что летом /11, 12/ в северо-восточной части исследуемого района отмечается повышенная биомасса (более 500-1000 мг/м<sup>3</sup>) растительного планктона, которая удовлетворительно сопряжена с максимальными величинами первичной продукции.

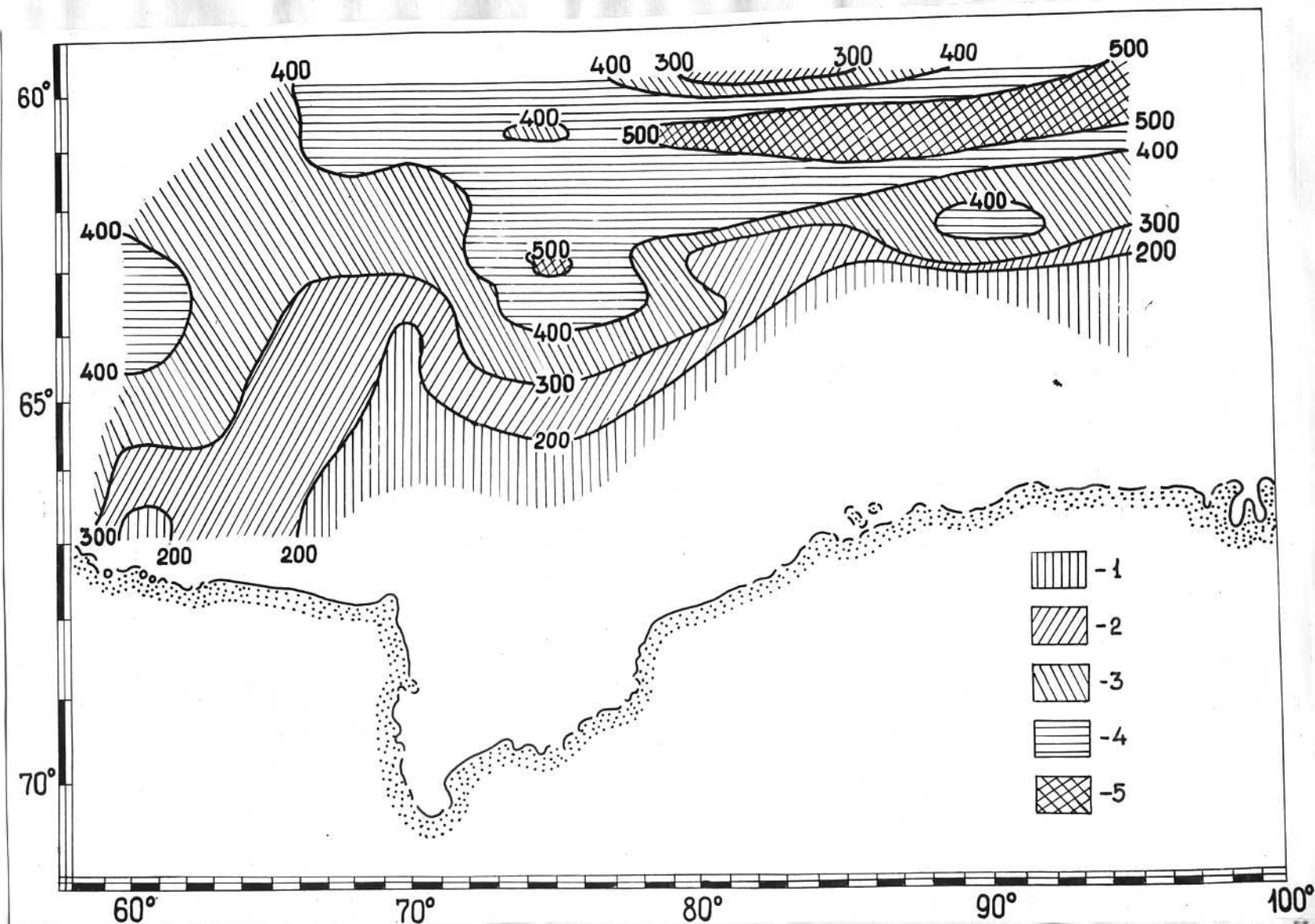


Рис.4.1. Пространственное распределение величины первичной продукции в антарктической зоне Индийского океана ( $60-68^{\circ}$  ю.ш.,  $60-95^{\circ}$  в.д.). 1.  $\uparrow$   $200 \text{ мг С/м}^2/\text{день}$ ; 2.  $200-300 \text{ мг С/м}^2/\text{день}$ ; 3.  $300-400 \text{ мг С/м}^2/\text{день}$ ; 4.  $400-500 \text{ мг С/м}^2/\text{день}$ ; 5. более  $500 \text{ мг С/м}^2/\text{день}$ .

## 5. ВЗАИМОСВЯЗЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОПЛЕНИЙ КРИЛЯ, БИОХИМИЧЕСКОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ КРЕМНЕКИСЛОТЫ И ВЕЛИЧИН ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

Распределение величин первичной продукции и составляющей скорости биохимического потребления кремнекислоты (изъятие при продуцировании растительного планктона) в конечном счёте отражают интенсивность процесса продуцирования пищи для криля, а следовательно распределение этих параметров в пространстве могут находиться в определенной взаимосвязи с местоположением скоплений данного промыслового объекта.

Для выявления связи между перечисленными выше факторами, были проанализированы пространственное положение скоплений криля, скорость биохимического потребления кремнекислоты (по единовременным наблюдениям в летний период 1972-1973 г.г.) и величин первичной продукции (по средним данным за период с 1973 по 1980 г.г.) в восточной части (60-95° в.д.) исследуемой зоны океана (рис. 5.1).

Как следует из анализа рис. 5.1, скопления криля располагаются на северной периферии очагов интенсивного биохимического потребления кремнекислоты (либо между ними) и удовлетворительно совпадают с местами повышенной первичной продукции (более 300 мг C/m<sup>2</sup> в день). Из сопоставления местоположения основных элементов циркуляции вод и районов интенсивного биохимического потребления кремнекислоты можно сделать вывод, что продуцирование пищи для криля и её накопление происходит в зоне Антарктической дивергенции (или несколько севернее её) на периферии мезомасштабных циклонических и в антициклонических круговоротах.

Тесная пространственная сопряжённость скоплений криля и очагов интенсивного биохимического потребления кремнекислоты, даёт основание использовать этот параметр (в числе других составляющих баланса биогенных веществ) при разработке функциональной модели формирования скоплений криля и методики оперативного прогнозирования этих скоплений.

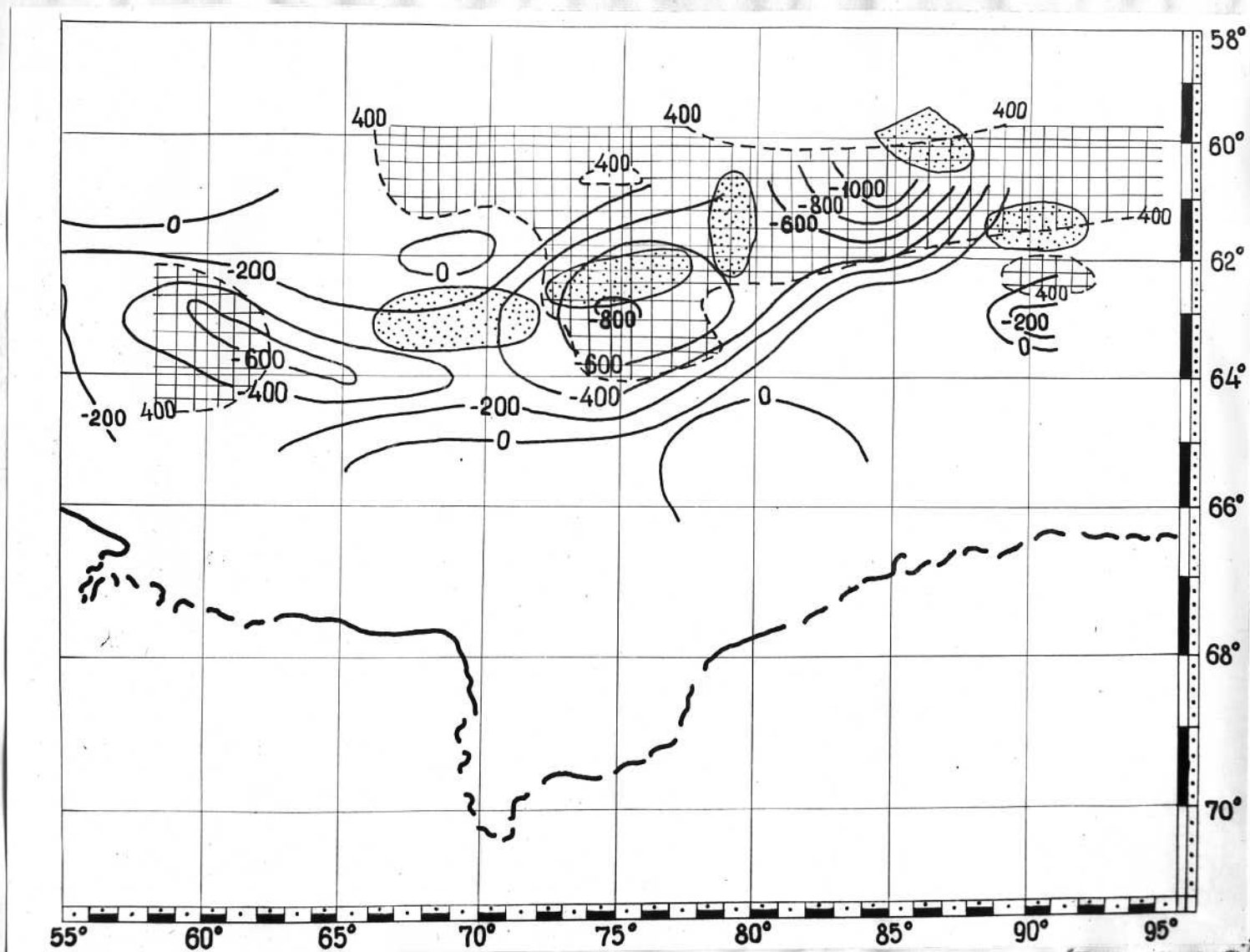


Рис. 5.1. Распределение скорости биохимического потребления кремниевой кислоты (1, в  $1 \times 10^{-7}$  мкг-атм $^{-1}$  х сек $^{-1}$ ), величин первичной продукции (2, в мг Схм $^{-2}$  в день) и скоплений криля (3) в антарктической зоне Индийского океана (летний период).

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа многолетних материалов выявлены гидрохимические условия обитания криля в летний и частично, в зимний периоды. Показано, что распределение гидрохимических элементов в трехмерном пространстве имеет сложный характер, обусловленный системой морских течений, а в слое продуктивного фотосинтеза — также продукционными процессами. При высокой насыщенности антарктических вод биогенными веществами массовая вегетация фитопланктона в летний период осуществляется в районах оптимального снабжения слоя продуктивного фотосинтеза питательными солями, как в количественном, так и в качественном отношении.

Адвективные составляющие баланса биогенных веществ имеют сложную пространственную структуру, которая формируется как результат пространственной изменчивости концентраций питательных солей в поле трехмерной циркуляции вод. В слое продуктивного фотосинтеза изменчивость полей биогенных элементов главным образом определяется диффузионным перемешиванием, которое в этом слое в несколько раз превышает действие трехмерной адвекции. Очаги интенсивного биохимического потребления кремниевой кислоты и фосфатов располагаются в основном в зоне Антарктической дивергенции и, как правило, приурочены к мезомасштабным антициклоническим либо к периферии циклонических циркуляций.

По интенсивности биохимического изъятия биогенных веществ и высоким величинам первичной продукции выделяется восточная часть (60-95° в.д.), в которой скопления криля хорошо сопряжены в пространстве с очагами интенсивного биохимического потребления кремниевой кислоты.

Выявленные закономерности гидрохимического режима распределения величин первичной продукции и динамического состояния полей биогенных веществ позволяют оценить действие этих факторов на образование скоплений криля в антарктической зоне Индийского океана. Соединение в едином физико-химическом поле гидрохимических и динамических предпосылок, позволяет в дальнейшем применять найденные зависимости при разработке функциональной модели образования скоплений криля и методик оперативного прогнозирования местоположения скоплений этого промышленного объекта.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гидрохимические условия формирования биологической продуктивности в Индоокеанском секторе Антарктики. (отчёт) тема 3, инвентарный № Б 633840, АзчерНИРО, Химица В.А., Керчь, 1977, стр.25
  2. Характеристика гидрохимических условий формирования промышленных скоплений криля в Индоокеанском секторе Южного океана. (отчёт) тема 3, инвентарный № Б 725429, АзчерНИРО, Химица В.А., Керчь, 1978, стр.22
  3. Гидрохимические условия обитания криля в Антарктической зоне Индийского океана. (отчёт) тема 3, инвентарный № Б 825355, АзчерНИРО, Химица В.А., Керчь, 1979, стр.18
  4. Лебедев В.Д. "Динамическое состояние и балансовый анализ химических полей в океане". Океанология, т. XVI, вып. 2, 1976, с 247-253
  5. Химица В.А. "Исследование геострофических течений в антарктической зоне Индийского океана" Океанология т XVI, вып.2, 1976, с 234-240
  6. Динамические условия образования скоплений криля в Индоокеанском секторе Антарктики (отчёт) тема 3, инвентарный № Б 635098 АзчерНИРО, Брянцев В.А., Керчь, 1977, стр. 76
  7. Перри А.Х. Уокер Дж.М. "Система океан-атмосфера" ШМИЗ Ленинград 1979, стр 82-84
  8. Химица В.А. Кочергин А.Т. Шапоренко С.И. "Отчёт, включающий обобщение материалов экспедиционных исследований АзчерНИРО, Керчь, 1976, стр.47
  9. Характеристика гидрологических условий обитания криля и предпосылки образования его промышленных концентраций в Индоокеанском секторе Антарктики (отчёт) тема 3, инвентарный № АзчерНИРО, Брянцев В.А., Керчь, 1980, стр. 37
  10. Nielsen E.S. Productivity of the oceans. *Ann. Rev. Plant Physiol* 11, 1960, p 341-362.
- II. Некоторые данные о биологии и распределении антарктического криля в Индийском океане в зависимости от океанографических условий и ориентировочных данных о его запасе и возможном вылове (отчёт), тема 4(60) инвентарный № Б 4 69833, АзчерНИРО,

Самышев Э.З., Керчь, 1975 г., с 44

12. Предварительные данные по распределению и районам скопления  
криля в индоокеанском секторе Антарктики (отчёт) тема Э(3)  
О.74.01.01.03. №4 инвентарный № Б 713951, АэчерНИРО, Самышев  
Э.З., Керчь 1978, стр. 32