

УДК 551.465.5(261/264)

**КОЛЕБАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ БЕНГЕЛЬСКОГО ТЕЧЕНИЯ****А. В. Фомичев (ВНИРО)**

Известно, какое значение придавал И. И. Месяцев течениям как фактору образования фронтальных зон, источнику тепла, биогенных элементов, кислорода. Наконец, И. И. Месяцев придавал большое значение течениям, проходящим в разных климатических зонах, как путям распространения морской фауны, например атлантической фауны в Баренцевом море.

Основная цель настоящей работы — проследить колебания интенсивности Бенгельского течения в промысловом районе у побережья юго-западной части Африки — севернее залива Сент-Хелена.

В нашу задачу не входит расчет абсолютной величины расхода Бенгельского течения по всему его сечению. Расходы геострофического течения, подсчитанные на стандартном разрезе, пересекающем шельфовую зону, рассматриваются как некоторый показатель интенсивности циркуляции вод и развития связанных с ней процессов, определяющих продуктивность вод данного района в конкретные годы.

Акватория залива Сент-Хелена относится к одному из двух районов наибольшей концентрации важнейшего объекта промысла у берегов Южной Африки — южноафриканской сардины (*Sardinops ocellata*) (Комаров, 1962). Промысловая зона, определяемая ареалом распространения южноафриканской сардины, или сардинопса, находится в прибрежной полосе шириной около 100 миль, совпадая с границей шельфа и края свала в данном районе. Основная концентрация сардинопса, по данным Ю. А. Комарова, происходит в прибрежной полосе шириной 15—20 миль. Исключение составляет период нерестовых миграций, начинающихся в августе, когда сардинопс несколько рассеивается, но и в это время, по-видимому, не происходит одновременной миграции всей популяции.

Основной характеристикой изменения интенсивности течения в межгодовом плане служит величина расхода воды, который может быть рассчитан двумя путями: по распределению скорости геострофического течения на разрезе, а в слое трения также по величинам полных потоков, рассчитываемых по известной формуле Экмана.

## По Экману полный поток

$$S = \frac{\tau}{\rho\omega},$$

где  $\tau$  — касательное напряжение ветра;  
 $\rho$  — плотность морской воды;

$\omega = 2\omega \sin \varphi$  — параметр Кориолиса.

Однако в литературе имеются многочисленные указания на значительные различия характера распределения ветра в открытом океане и близ побережья юго-западной части Африки. Система ветров в тропической, субтропической и субантарктической зонах океана в основном определяется существованием в Южной Атлантике квазистационарного центра высокого давления. По Харту и Кюри (Hart, Currie, 1960), центр максимума атмосферного давления смещается в зависимости от времени года и лежит в пределах 26—30° ю. ш.

Харт и Кюри считают, что хотя «прибрежный район остается под влиянием южноатлантического антициклона, ветры также находятся под влиянием суточных колебаний давления над континентом», т. е. развивается бриз. Харт и Кюри приводят в своей работе высказывание Джексона, который считает, что морской бриз оказывает влияние на полосу шириной около 100 миль. Показанные Харту и Кюри (Hart, Currie, 1960) особенности суточного хода ветра зимой и летом в различных пунктах побережья затрудняют использование данных для расчета переноса воды в слое трения. Мы считаем также, что точность проведения изобар в прибрежной зоне на месячных картах атмосферного давления, публикуемых в немецких метеорологических обзорах «Witterung in Übersee» (1950—1960), недостаточна для расчета приземного ветра и последующего вычисления касательного напряжения ветра  $\tau$ .

Сказанное не уменьшает ценности указанных карт как исходного материала для получения различных индексов интенсивности циркуляций. По указанным выше причинам мы отказались от расчета переноса воды под действием ветра, тем более что величины расхода, полученные путем расчета скоростей течения динамическим методом, основаны на сравнительно полных, стандартных и качественных материалах наблюдений.

Для расчета расходов воды в промысловой зоне Бенгельского течения был выбран самый северный (около 32° ю. ш.) из стандартных разрезов, на котором судами Департамента торговли и промышленности ЮАР регулярно проводятся наблюдения. Разрез простирается на 80 миль от берега, имеющего наиболее простые очертания по сравнению с другими пунктами, от которых проводятся стандартные наблюдения в этом районе. Ряд наблюдений продолжительностью почти 11 лет позволил получить средние многолетние значения плотности по сезонам. Условно год был разделен на 4 сезона: декабрь — февраль (лето), март — май (осень), июнь — август (зима) и сентябрь — ноябрь (весна). Для пополнения недостающих данных за отдельные месяцы сезонов были рассчитаны средние величины изменения плотности от месяца к месяцу за все имеющиеся годы. Плотность для недостающих месяцев рассчитывалась по этим средним. В отдельных случаях, когда положение станций на избранной параллели (32° ю. ш.) не соответствовало положению стандартных станций, на каждом стандартном горизонте проводилась интерполяция по горизонтали для приведения данных к месту стандартной станции. Поскольку все 5 станций стандартного разреза расположены над разными глубинами, динамические расчеты велись от разных для каждой пары станций отсчетных поверхностей (соответственно 300, 200, 150 и 100 дцб).

Приведение динамических высот проводилось последовательно, т. е. в каждой паре динамическая высота более мелководной станции приводилась к динамической высоте соседней станции. Использование отсчетных поверхностей, близких к средним глубинам моря над шельфом, для расчета скоростей течения и его расходов позволяет считать цифры расхода Бенгельского течения над шельфом близкими к реальным.

Естественно считать, что в годы усиления циркуляции возрастает перенос холодными течениями кислорода и биогенных элементов в более низкие широты, усиливаются контакты субтропических и промежуточных антарктических вод, формирующих Бенгельское течение, с тропическими водами Южной Атлантики. Усиление всех процессов в конечном счете должно приводить к росту продуктивности вод и концентрации рыб в зоне Бенгельского течения. Одним из океанологических показателей степени контакта вод различного происхождения должна служить величина расхода воды в меридиональном потоке.

В зоне идущего на север Бенгельского течения на различных расстояниях от берега нередко наблюдаются прибрежные противотечения, имеющие южную составляющую. Поэтому при расчете расходов получаются некоторые различия в величинах в зависимости от того, вести ли расчет по модулям (т. е. складывать расходы на север и на юг без учета знака расхода) или принимать во внимание знаки расходов. При наличии противотечений и расчете последним способом величина расхода собственно Бенгельского течения оказывается ниже на величину расхода воды в противотечении. Поскольку величина расхода воды в данном случае рассматривается как показатель интенсивности процессов, формирующих промысловую базу данного района, мы отдаем предпочтение расчету по модулям. В табл. 1 представлены расходы, рассчитанные обоими путями. Знаки (+) означают перенос на север, а знаки (—) перенос на юг. Для года в целом величина расхода, названная «суммарным расходом», означает расчет с учетом знака, а под термином «общий перенос» понимается расчет по модулям. Для отдельных сезонов в табл. 1 приведены величины общего переноса.

Сезонные расходы в табл. 1 рассчитаны с учетом всех полученных динамическим методом потоков с южной составляющей независимо от их ширины и вертикальной мощности.

Величина расхода зимой в 1958 г. снята с графика (см. рис. 1) при помощи интерполяции.

Табл. 1 состоит из двух частей: в верхней части таблицы помещены сезонные расходы, подсчитанные в виде средних арифметических; в нижней части таблицы помещены величины годового суммарного расхода, общего переноса, а также расходы южных потоков в отдельные годы. Величины годового суммарного расхода и общий перенос не являются средними расходами, рассчитанными по сезонным значениям. Эти величины получены путем суммирования четырех сезонных значений года и являются условными показателями, имеющими вспомогательное значение.

В большинстве случаев величины расхода южных потоков или пренебрежимо малы, или не превышают 10—15% величины расхода Бенгельского течения в данный сезон. Однако в отдельных случаях, как например летом 1957 г.<sup>1</sup>, противотечением с южной составляющей была охвачена большая часть сечения разреза.

<sup>1</sup> Все указания времен года относятся к Южному полушарию. Летние сезоны (декабрь — февраль) далее указываются по более позднему году, так как центр осреднения приходится на январь.

Таблица 1

Расходы воды на стандартном разрезе севернее залива  
Сент-Хелена, км<sup>3</sup>/ч

Сезон	1950 г.	1951 г.	1952 г.	1953 г.	1954 г.	1955 г.	1956 г.	1957 г.	1958 г.	1959 г.	1960 г.
Лето . . . . .	—	3,45	2,88	2,96	4,10	3,04	3,80	2,77	3,70	2,44	1,45
Осень . . . . .	—	3,51	2,55	2,77	1,60	2,53	1,86	2,53	3,80	3,42	3,44
Зима . . . . .	2,46	3,48	4,40	4,41	2,81	3,76	2,34	2,82	4,27	3,56	—
Весна . . . . .	4,72	4,19	3,90	3,18	4,89	2,97	3,96	3,08	4,72	3,06	—
Годовой суммарный расход											
	—	14,29	12,09	12,32	13,02	11,32	11,82	5,58	16,49	12,06	—
Общий перенос											
	—	14,63	13,73	13,32	13,40	12,30	11,96	11,20	16,49	12,48	—
Расходы южных потоков											
	-0,15	-0,17	-0,82	-0,50	-0,19	-0,49	-0,07	-2,81	<-0,01	-0,21	-0,06

Без специального изучения вопроса трудно судить о продолжительности существования потоков с южной составляющей, но частота появления противотечений (21 случай южных потоков за 40 сезонов), проявляющихся по перестройке поля плотности на поверхности или в промежуточных слоях, говорит о распространении этого явления в зоне Бенгельского течения. С другой стороны, если такие потоки выявляются при расчетах течений по плотности, осредненной за сезон, можно предполагать, что потоки с южной составляющей должны существовать в течение отрезка времени, близкого к продолжительности сезона, т. е. около трёх месяцев.

В распределении направленных к югу противотечений можно отметить определенные черты сезонности их появления. По данным динамических расчетов в зимние сезоны выявлено 8 потоков противотечений

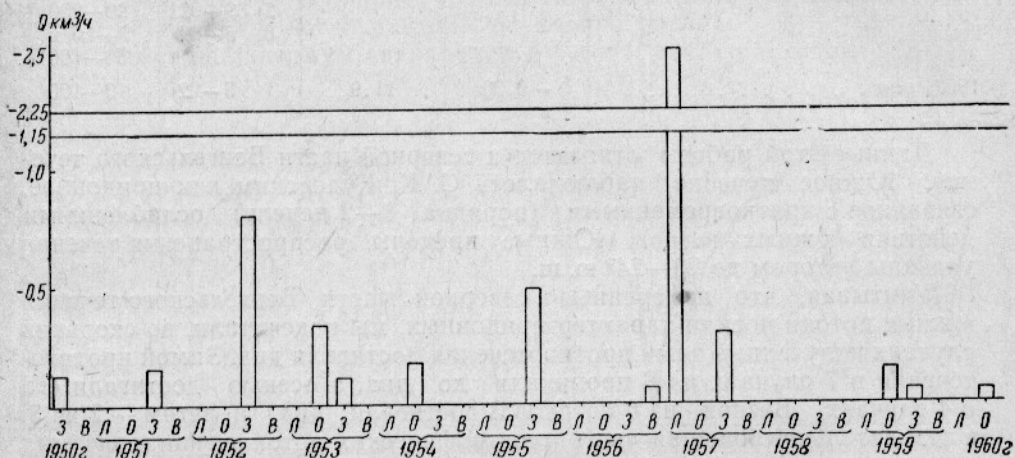


Рис. 1. Появление потоков с южной составляющей в шельфовой зоне Бенгельского течения.

(средний расход  $-0,26 \text{ км}^3/\text{ч}$ ), осенью 4 ( $-0,18 \text{ км}^3/\text{ч}$ ) и весной 5 ( $-0,03 \text{ км}^3/\text{ч}$ ). Причиной усиления противотечений в зимний сезон может служить смещение зоны максимальных ветров к северу, отмеченное Хартом и Кюри (стр. 147). Летом за рассматриваемый отрезок времени отмечено 4 южных потока с максимальным средним сезонным расходом противотечений ( $-0,64 \text{ км}^3/\text{ч}$ ). Относительно большая величина расхода воды в противотечении летом получена за счет аномальных условий циркуляции вод над шельфом юго-западного побережья Африки. Подробнее об аномальных условиях будет сказано ниже. Если не принимать во внимание расход летом 1957 г., то средний расход противотечений в летний сезон оказывается наименьшим ( $-0,02 \text{ км}^3/\text{ч}$ ).

Для получения общего представления о появлении противотечений и их величине на рис. 1 показаны расходы противотечений величиной не менее  $0,05 \text{ км}^3/\text{ч}$ . В одном случае (лето 1957 г.), когда на разрезе по расчетам получены две изолированные струи, на графике показан их общий расход. Кроме того, в табл. 2 даны характеристики наиболее сильных южных противотечений, расход которых превышает 10% от величины потока на север (Бенгельское течение).

Первые результаты наблюдений в районах противотечений, полученные путем непосредственных измерений в море, опубликованы С. К. Кудерским (1962). Течение, направленное к югу, названо Южным.

Наиболее крупные южные потоки на стандартном разрезе севернее залива Сент-Хелена

Год, сезон	Расход воды км <sup>3</sup> /ч	Процент от величины по- тока на север	Расстояние от берега, мор- ские мили	Слой, м
1952, зима	-0,80	22,2	1) 22—39 2) 5—22	0—60 60—100
1953, осень	-0,34	14,3	5—22	20—100
1954, осень	-0,18	12,7	5—22	0—100
1955, зима	-0,49	15,1	1) 22—39 2) 5—22	0—75 0—50
1957, лето	-2,50	81,3	1) 62—85 2) 39—62 3) 5—22	0—300 20—200 0—10 и 50—100
1957, зима	-0,30	11,9	5—22	0—100

Данные этой работы относятся к северной части Бенгельского течения. Южное течение наблюдалось С. К. Кудерским как придонное, связанное с кратковременными (порядка 1—2 недель) ослаблениями действия южных ветров. Южные пределы распространения течения указаны автором до 23—24° ю. ш.

Учитывая, что измеренные в северной части Бенгельского течения южные потоки носили характер придонных, мы подсчитали, во скольких случаях полученные нами противотечения достигали дна. Зимой противотечения в 7 случаях из 8 проникали до дна, а осенью достигали его в 4 случаях. Весной из 6 потоков 3 достигали дна, а летом — 2 из 3. Следовательно, большая часть геострофических потоков, направленных на юг, в шельфовой зоне южной части Бенгельского течения также достигает дна.

Понятно, что рассматриваемые нами у 32° ю. ш. противотечения получены лишь по полю плотности с осреднением за сезон и относятся к явлениям сезонного масштаба времени, но возможно эти потоки имеют одинаковую природу с Южным течением. В данной работе не ставится задача выяснения происхождения и рассмотрения характеристик вод противотечений в районе 32° ю. ш., но несомненно, что, помимо указаний на определенные динамические процессы, принос вод с севера может иметь важное значение в формировании продуктивности вод. Так Ю. А. Комаров и С. К. Кудерский [1962], сравнивая придонные воды Южного и Бенгельского течений, указывают, что воды Южного течения в районе 17—23° ю. ш. содержали в 7—8 раз больше кислорода, но менее богаты питательными солями.

Помимо представленных в табл. 1 сезонных величин суммарного расхода и общего переноса, на рис. 2 нанесены абсолютные величины расхода собственно Бенгельского течения, т. е. расходы потоков, направленных на север. Рассчитанные расходы воды в шельфовой зоне Бенгельского течения охватывают отрезок времени с зимы 1950 г. до осени 1960 г. По кривой можно выделить особенности сезонного хода расходов воды в зоне Бенгельского течения: относительно большая величина расхода в зимний сезон, максимум — весной и минимум — летом или осенью.

Следует отметить, что характер периодичности резко меняется в 1957—1958 гг., когда с лета 1957 г. до зимы 1958 г. наблюдался почти непрерывный рост расходов. Это проявлялось скорее в характере сезон-

ного изменения расхода, чем в росте его абсолютной величины. Максимальный для этого отрезка времени расход весной 1958 г. составлял  $4,72 \text{ км}^3/\text{ч}$ . Эта величина расхода не отличается резко от всех других величин сезонных расходов. Расходы величиной более  $4 \text{ км}^3/\text{ч}$  получены также весной 1950, 1951 и 1954 г. и летом 1954 г.

По-видимому, аномалия явилась следствием длительного нарушения стационарности, связанного с положением южноатлантического антициклона.

Рассматривая ход расходов на рис. 2, можно условно разделить рассматриваемый отрезок времени на годы «правильного хода» расходов (течение 1950—1956 гг.) и годы усиления геострофической циркуляции. Для лет усиления циркуляции характерны следующие черты:

1) минимум расходов в годовом цикле в 1956—1960 гг. сдвинулся по сравнению с предшествующими годами с осени на лето (за исключением одного лета 1958 г., когда расходы неуклонно росли);

2) весенний максимум сохранялся и в годы роста расходов.

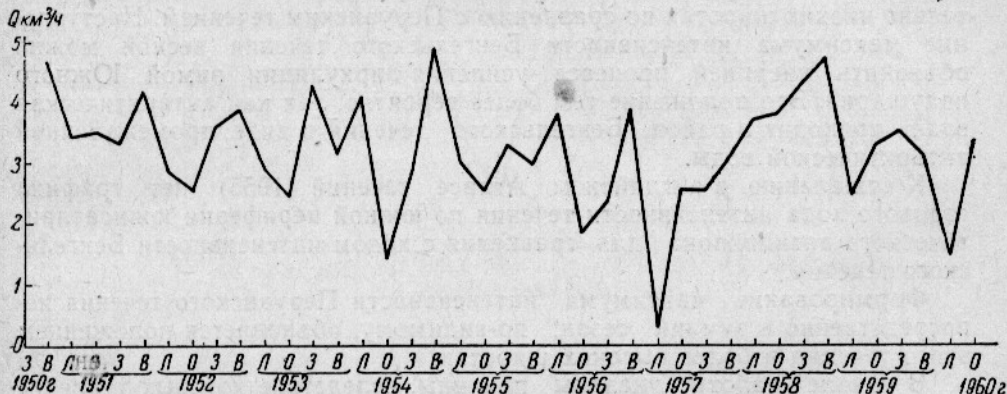


Рис. 2. Расходы воды северных потоков в шельфовой зоне Бенгельского течения.

После окончания усиления циркуляции изменения расходов снова приобретают черты годового хода.

Кроме представленных материалов, нам неизвестны другие данные о сезонных изменениях Бенгельского течения в течение года. Поэтому сравнение данных о годовом ходе интенсивности Бенгельского течения проводилось с его «аналогом» в Тихом океане — Перуанским течением. Сравнения других характеристик и особенностей структуры Бенгельского и Перуанского течений проводились и ранее, например Хартом и Кюри (1960), а в последнее время выделяется категория течений у восточных берегов океанов, именуемых «восточными пограничными течениями» (Вустер и Рейд, 1963). К восточным и пограничным течениям в Южном полушарии относятся Перуанское, Бенгельское и Западно-Австралийское. Общими свойствами восточных пограничных течений являются происхождение и характеристики поверхностных вод, природа потоков и местная атмосферная циркуляция, а также существование материков в виде восточной границы.

Было проведено сравнение величин расходов Бенгельского течения с северной компонентой Перуанского течения на  $2-20^\circ$  ю. ш., помещенной на рис. 6 в английском атласе течений южной части Тихого океана (1955). Годовой ход северной составляющей Перуанского течения менее ясно выражен по сравнению с изменением расходов Бенгельского течения от сезона к сезону. Однако в ходе северной компонен-

ты Перуанского течения заметен максимум в конце зимы (август) и снижение скорости до весны (октябрь). Итак, в зимний сезон относительно высокая интенсивность Бенгельского течения согласуется с максимумом интенсивности Перуанского течения. Но весной, когда интенсивность Бенгельского течения достигает максимума, наступает минимум интенсивности северной составляющей Перуанского течения.

Сравнение годового хода скоростей и расходов с кривой среднемесячных скоростей Перуанского течения на поверхности, составленной на основании данных табл. 2 в Атласе течений южной части Тихого океана (1955), приводит к еще большим различиям.

Формирование максимума интенсивности Бенгельского течения можно объяснить усилением океанической циркуляции зимой Южного полушария, смещением гидрологических фронтов в течение года к северу и усилением южноатлантического антициклона. Возможной причиной запаздывания в наступлении максимума интенсивности Бенгельского течения является расположение района формирования течения в относительно низких широтах по сравнению с Перуанским течением. Наступление максимума интенсивности Бенгельского течения весной можно объяснить инерцией процесса усиления циркуляции зимой Южного полушария. Это положение тем более вероятно, так как антарктическая вода приходит в район Бенгельского течения в виде промежуточной антарктической воды.

К сожалению, в английском Атласе течений (1955) нет графика годового хода интенсивности течения по южной периферии южноатлантического антициклона для сравнения с ходом интенсивности Бенгельского течения.

Формирование максимума интенсивности Перуанского течения непосредственно в зимний сезон, по-видимому, объясняется положением этого течения в более высоких широтах.

В начале работы указаны причины, вследствие которых усиление интенсивности Бенгельского течения должно приводить к росту продуктивности всех звеньев биологической цепи. Однако выбор биологических показателей влияния внешней среды на продуктивность вод является сложным вопросом как из-за недостатка материалов, так и вследствие трудностей учета различных, зачастую разнородных факторов. Тем более осложняется задача, когда необходимо выбирать промыслово-биологические показатели, так как большую трудность представляют учет и оценка деятельности человека (промысел).

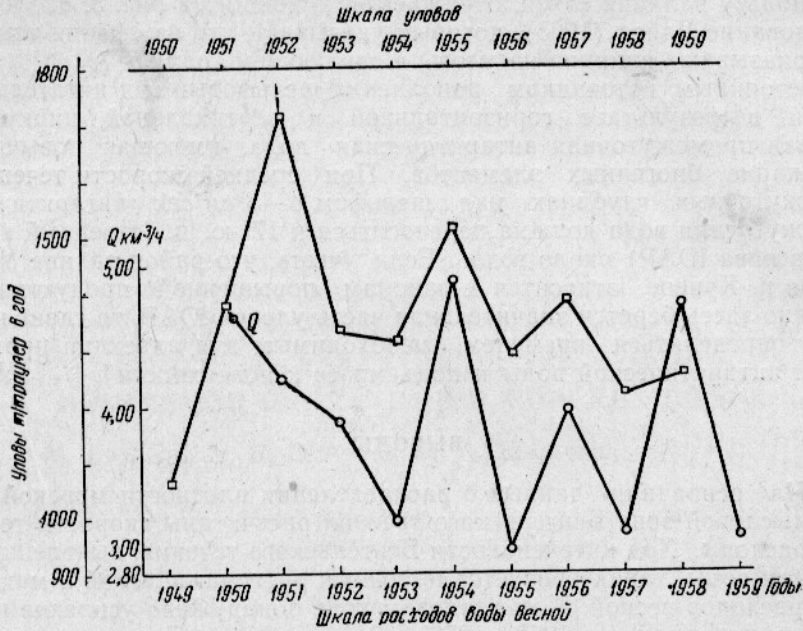
Сравнимый материал для оценки относительной величины концентрации рыбы у берегов юго-западной части Африки дает промысел ЮАР в 1950—1960 гг. В эти годы рыбная промышленность ЮАР в целом неуклонно росла. Рос и траловый флот ЮАР, но число траулеров увеличивалось постепенно. В выводе, составленном по данным годовых отчетов (1950—1963), указано число судов ЮАР, занятых в траловом промысле, охватывающем в основном шельфовую зону.

	Число судов		Число судов
1950 г. . . . .	42	1955 г. . . . .	45
1951 г. . . . .	41	1956 г. . . . .	54
1952 г. . . . .	41	1957 г. . . . .	53
1953 г. . . . .	44	1958 г. . . . .	62
1954 г. . . . .	48	1959 г. . . . .	65

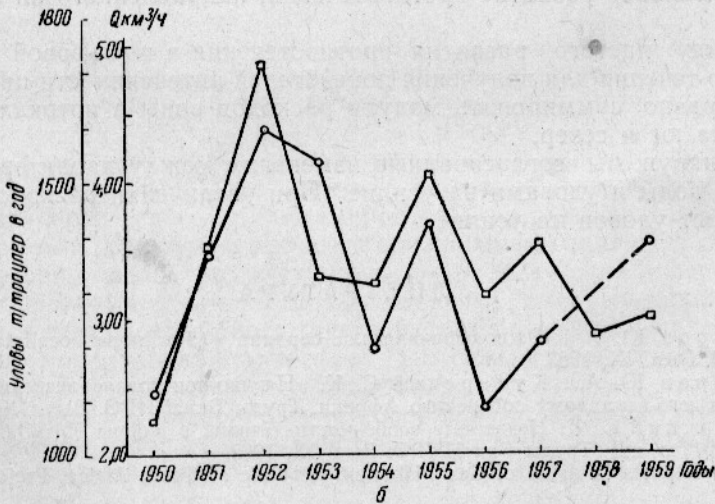
Зная число траулеров, мы рассчитали уловы на один траулер. Поскольку в годовых отчетах ЮАР указывается, что траулеры работают непрерывно в течение круглого года, величины уловов на один траулер



в год можно считать характеристикой, по своему значению близкой к улову на усилие. На рис. 3, а, б видно, что кривая уловов на один траулер в год испытывает колебания с периодом в 2 года. Кривая указывает на незначительную тенденцию уменьшения запасов.



а



б

Рис. 3. Связи между характеристиками расходов воды и уловами:  
 а — общий перенос воды весной и улов на один траулер в следующем году; б — общий перенос воды в зимний сезон и улов на один траулер в данном году (темными квадратами обозначены уловы).

Байс в своей работе (1963), рассматривая гидрологические условия и коммерческие уловы в 1950—1957 гг., также указывает (стр. 24) на почти полное постоянство рыболовных усилий в эти годы.

В настоящее время не может быть дано полного объяснения связи полученных нами кривых, представленных на рис. 3, а, б. Наличие связей

расходов воды в шельфовой зоне Бенгельского течения с годовыми уловами при сдвиге масштабов времени этих характеристик на год (весенний расход) и без сдвига (зимний расход) на первый взгляд противоречит одно другому.

В пользу наличия связи, отражаемой кривыми на рис. 3, а, говорит исследование Байса (1963), который указывает, что изменения температуры оказывают влияние на уловы в следующем году.

Постоянным источником пополнения шельфовых вод питательными солями в результате горизонтальной и вертикальной циркуляции является промежуточная антарктическая вода, имеющая повышенное содержание биогенных элементов. При средней скорости течения на промежуточных глубинах над шельфом 4—5 см/сек антарктическая промежуточная вода должна переноситься к 17° ю. ш. (северный предел района лова ЮАР) около года. Если учесть, что район залива Уолвис и устье р. Кунене относится к районам повышенной продуктивности и именно здесь берется значительная часть уловов ЮАР, то сдвиг на год может определяться временем, необходимым для адвекции промежуточной антарктической воды и подъема ее к поверхности<sup>1</sup>.

### ВЫВОДЫ

1. На основании данных о распределении плотности морской воды в промысловой зоне Бенгельского течения рассчитаны скорости течения и его расходы. Ход интенсивности Бенгельского течения, выявленный по расходам воды, характеризуется высокими расходами зимой и максимумами расходов весной. В межгодовом ходе обнаружено усиление интенсивности циркуляции в 1957—1958 гг. Увеличению расходов предшествовало аномальное развитие противотечения, направленного на юг, летом 1957 г.

2. Ввиду частого развития противотечения в шельфовой зоне Бенгельского течения для получения показателей интенсивности циркуляции целесообразно суммировать модули расходов воды в потоках, направленных на юг и север.

3. Обнаружены согласованные изменения между характеристиками расходов воды и уловами на усилии. При увеличении расходов наблюдается рост уловов на усилии.

### ЛИТЕРАТУРА

Комаров Ю. А. Южноафриканская сардина (*Sardinops ocellata*). Труды БалтНИРО. Вып. IX, 1962.

Комаров Ю. А., Кудерский С. К. Научно-поисковая экспедиция на РТ «Муксун» к юго-западному побережью Африки. Труды БалтНИРО. Вып. IX, 1962.

Кудерский С. К. Некоторые особенности течений в районе Юго-Западной Африки (17—24° ю. ш.). Труды БалтНИРО. Вып. IX, 1962.

Annual Reports Division of Sea Fisheries. Republic of South Africa, Pretoria, 1950—1963.

Buys M. E. L. Hydrographical Environment and the Commercial Catches 1950—1957. Pretoria, 1959.

Hart T. J., Currie R. I. The Benguela Current. Disc. Rep. vol. XXXI, pp. 123—298. Cambridge, 1960.

South Pacific Ocean Currents. London, 1938. Reprinted, 1955.

Wooster W. S. and Reid J. L. Eastern Boundary Currents В сб.: The Sea. New—York. London, 1963, pp. 253—276.

Die Witterung in Übersee. Deutsch. Wetterdinst. Hamburg, 1950—1960.

<sup>1</sup> Автор выражает глубокую благодарность М. А. Богданову за предоставленные расчеты расходов воды в 1950—1954 гг.