

# **ПРИРОДА**

№ 3, 2001 г.

**Рогачёв К.А.**

## ***Полынья на банке Кашеварова***

© “Природа”

**Использование и распространение этого материала  
в коммерческих целях  
возможно лишь с разрешения редакции**



**Сетевая образовательная библиотека “VIVOS VOCO!”**  
(грант РФФИ 00-07-90172)

[vivovoco.nns.ru](http://vivovoco.nns.ru)  
[vivovoco.rsl.ru](http://vivovoco.rsl.ru)  
[www.ibmh.msk.su/vivovoco](http://www.ibmh.msk.su/vivovoco)

# Полынья на банке Кашеварова

К.А.Рогачев

**В** центре Охотского моря располагается вытянутое на 200 км поднятие дна, названное в прошлом веке банкой Кашеварова. Ныне почти забытый моряк и гидрограф Александр Филиппович Кашеваров (1809—1865), сначала поручик корпуса флотских штурманов, впоследствии начальник Гидрографического департамента, сделал немало открытий на севере Тихого океана. Но сегодня речь пойдет не о его судьбе, а о любопытных явлениях, замеченных на банке, носящей его имя.

Она привлекла к себе внимание исследователей, когда на спутниковых фотографиях, сделанных в зимний период, над банкой, рядом с ней и над соседней банкой Ионы обнаружилось постоянные разряжения ледяного покрова — полыньи и разводья, часто меняющие очертания.

Обычно широкие или узкие пространства открытой воды в Охотском море появляются у побережья. Они возникают зимой, когда температура воздуха становится гораздо ниже температуры замерзания морской воды. Сильному ее охлаждению способствует и сильный ветер, и существование на поверхности слоя относительно пресной воды, и широкий северный шельф

© К.А.Рогачев



*Константин Анатольевич Рогачев, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Тихоокеанского океанологического института Дальневосточного отделения РАН. Занимается климатом океана и динамикой синоптических вихрей в океане. Участник и руководитель экспедиций на научно-исследовательских судах РАН в Охотском море и в северо-западной части Тихого океана.*

Охотского моря. Как только лед образуется у берега (он, как правило, неровный, и поэтому воздушный поток воздействует на него значительно), его уносит сильный северный ветер, начинается быстрый дрейф льда от берега, и образуется так называемая подветренная полынья. Однако как может возникнуть пространство открытой воды в центре моря — на банке Кашеварова, расположенной вдали от побережья? К этому вопросу мы вернемся немного позже, обратив сначала внимание читателей на некоторые общие сведения.

Полыньи — это своеобразные окна в глубины моря. Зимой они поставляют соленую и плотную воду («рассол») в его глубокие слои. Через полыньи происходит практически весь обмен теплом между водой и воздухом, когда море покрыто льдом. Весной участки открытой воды поглощают практически всю солнечную радиацию, которая в то же время отражается от покрытого снегом льда. Большие потери тепла во время охлаждения моря компенсируются двумя механизмами, работающими на сохранение открытой воды. Первый — выделе-

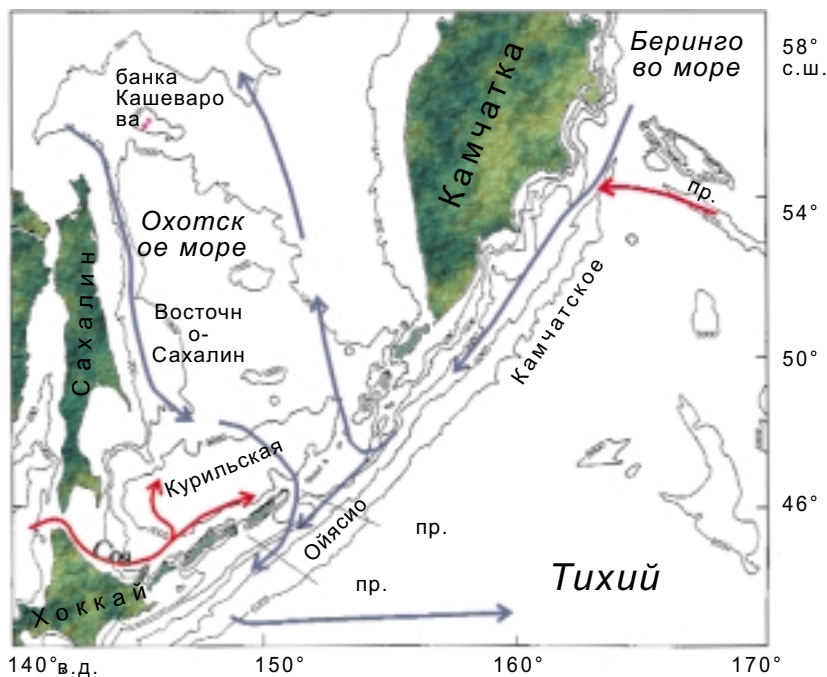
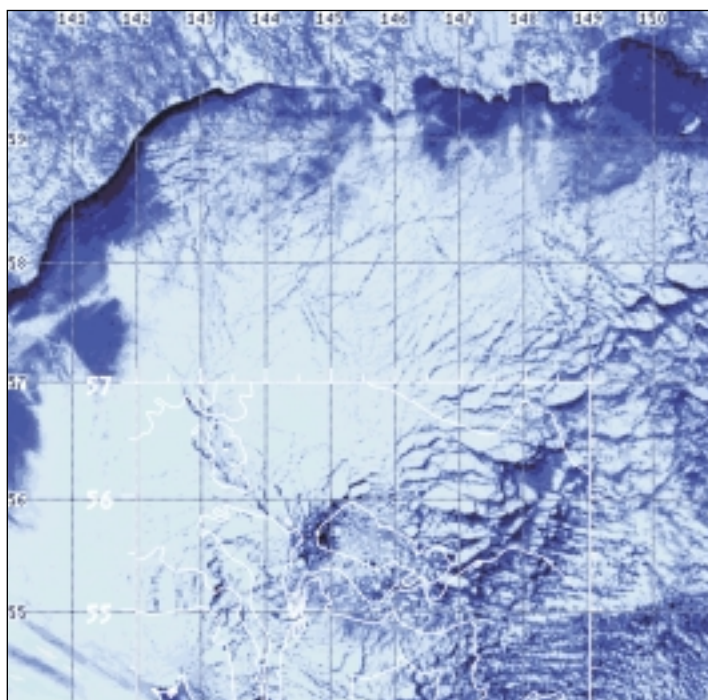


Схема течений в Охотском море (на изолиниях — глубина, м). Звездочки — места установки измерительных приборов на дне в районе банки Кашеварова.

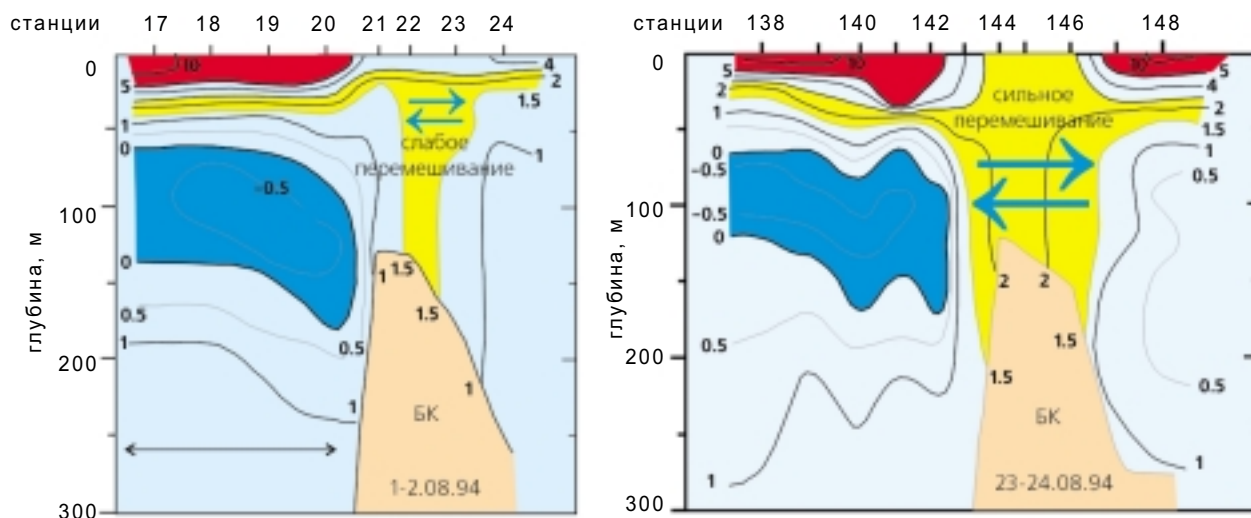


Дрейфующий лед в районе банки Кашеварова. Снимок сделан из космоса 25 марта 1999 г., во время максимальных скоростей приливных течений. Белые линии — изобаты. Хорошо видна полынья на западной границе банки.

ние скрытой теплоты кристаллизации во время формирования льда, второй — поставка значительного тепла из глубоких слоев моря (оба механизма не исключают друг друга и вносят свой вклад в поддержку полыньи, в том числе на банке Кашеварова).

Из высоких широт Тихого океана теплая вода проникает в Охотское море с Аляскинским течением через глубокие проливы между Курильскими о-вами. На глубине около 200—400 м ее температура составляет (у пролива Ближний) около 3.8—4°C [1], но она постепенно остывает на пути от Камчатки до самого глубокого пролива Буссоль. Другой источник — теплое течение Соя, но воды из Японского моря, проникающие через пролив Лаперуза, не достигают северной части Охотского моря. Поступающая же в него теплая тихоокеанская вода расположена довольно глубоко. Кроме того, на поверхности располагается относительно пресная вода, а в глубоких слоях — соленая. Примерно такая же картина получается, когда теплые и соленые воды Атлантики входят в Северный Ледовитый океан и погружаются под холодные и менее соленые воды, согревая его глубокие слои. При этом сильное приливное перемешивание — тот механизм, с помощью которого тепло поступает из глубоких слоев моря.

Главная особенность Охотского моря — большинство приливов и сильные приливные течения. Приливной энергии здесь поглощается больше, чем во всем Северном Ледовитом океане [2]. Этой энергии иногда достаточно, чтобы смешать верхний и нижний слои воды и воспрепятствовать образованию льда. Например, в Пенжинском заливе, на самом севере моря, где приливы самые большие в России, ледяной покров не устанавливается даже зимой. Но поскольку приливы — явление не строго постоянное, их изменчивость оказывает значительное влияние не только на лед, но и на биологические про-



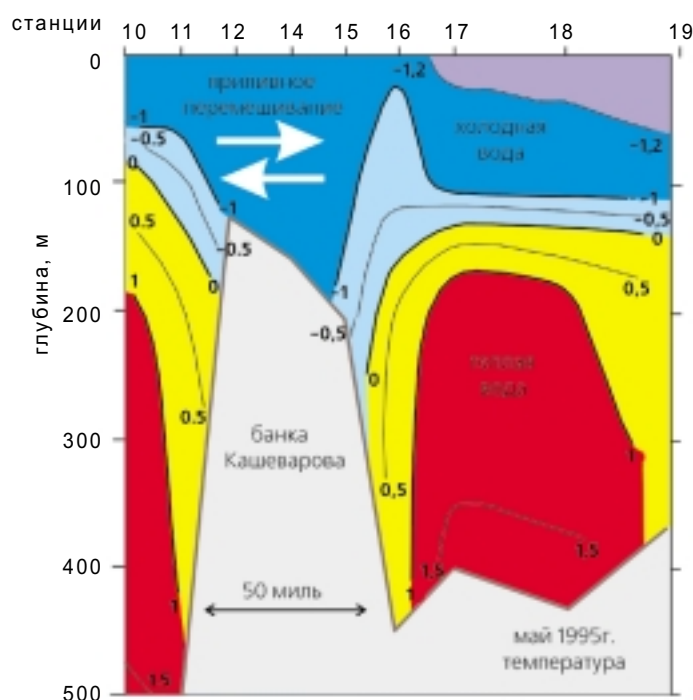
Температурные разрезы (числа на изолиниях, °С) через банку Кашеварова (БК), в направлении с юга на север, выполненные в разные фазы двухнедельного цикла. Ширина области перемешивания (желтый цвет) меняется с периодом около двух недель и увеличивается при усилении приливных течений. Синий цвет — холодные промежуточные воды, красный — теплые поверхностные.

цессы и продуктивность моря.

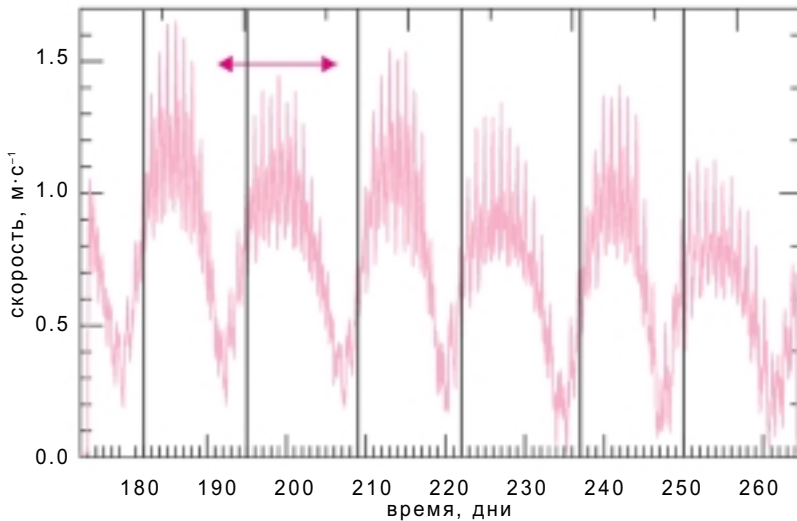
## В сердце холодного моря

Структура вод в северной части Тихого океана зависит от их вертикального перемешивания синоптическими вихрями, которые растянуты вдоль Курильских о-вов в области Камчатского течения и течения Ойясио. Но на севере Охотского моря картина иная. Здесь все определяется приливным перемешиванием на банке Кашеварова, охватывающим весь 200-метровый слой воды. Этот вывод удалось сделать после нескольких экспедиций в район банки, проведенных научно-исследовательскими судами Тихоокеанского океанологического института РАН, а также обработки фотографий, сделанных со спутников «NOAA» и японского геостационарного спутника «GMS-5», в Институте автоматики и процессов управления ДВО РАН М.Г.Алексиной [3].

На инфракрасных снимках банка выглядит летом как пятно холодных вод, что характерно для приливных фронтов север-



Температурный разрез (числа на изолиниях, °С) через банку Кашеварова с запада на восток в весеннее время, когда на поверхности моря все еще лед. Поступление теплой воды из промежуточных слоев вызывает образование полыньи на банке.

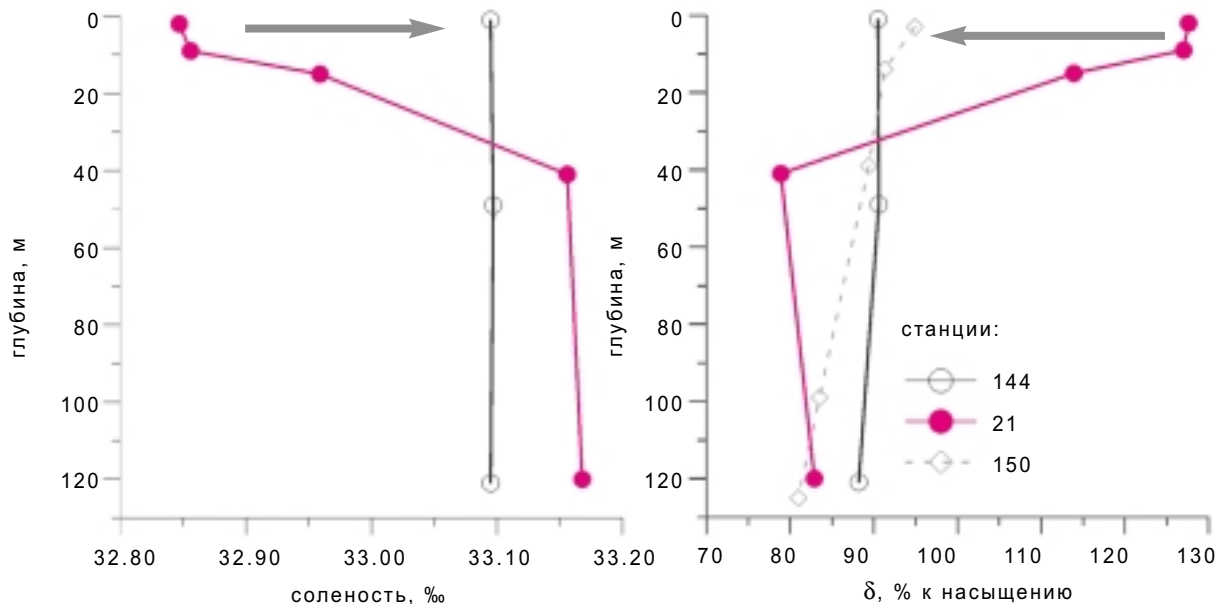


Скорость течения на банке Кашеварова в 1996 г. Двухнедельный цикл, вызванный изменением склонения Луны, отмечен стрелкой, дни с максимальным склонением — вертикальными линиями. Хорошо видны сильные суточные приливные течения.

ной части Охотского моря. Однако уже на глубине 100 м эта область превращается в широкую зону относительно теплых вод, которая захватывает уже не только банку Кашеварова, но и банку Ионы, расположенную к северо-западу от нее. Причина существования такой необычной структуры — сильное приливное

перемешивание. Дело в том, что на шельфе Охотского и Берингова морей стратификация — разделение вод моря на опресненный поверхностный слой и придонный холодный с высокой соленостью — хорошо выражена. Галоклин (зона с резким изменением солености) в этом районе, как и в арктических морях, под-

держивается адвекцией холодных, плотных и соленых вод с континентального шельфа (их температура около  $-1.8^{\circ}\text{C}$ , при которой замерзает морская вода), а также потоком пресной воды из разных источников (речного стока, дождей и таяния льда), благодаря чему верхний опресненный слой хорошо про-



Изменения вертикального распределения солености (слева) и концентрации растворенного кислорода на банке Кашеварова. Стрелка указывает на смену вертикального распределения в разные фазы двухнедельного цикла.

гревается летом.

В глубокой части моря даже в теплое время года (с мая по сентябрь) формируется холодный промежуточный слой с температурой около  $-1.5^{\circ}\text{C}$  (он имеется также в океане к востоку от Курильских о-вов и у Камчатки, но там температура этого слоя гораздо выше). Вблизи банки этот слой расположен на глубине около 120 м. Когда верхний слой моря смешивается с этими водами, вода на банке охлаждается, а галоклин разрушается. Таяние льда, поступление речных вод и сильные дожди, наоборот, восстанавливают стратификацию, что изолирует поверхностные и глубинные воды друг от друга. При глубине банки 140—200 м, чтобы полностью разрушить стратификацию от поверхности до дна, требуется скорость приливного потока 1.5—2 м/с. При первоначальных расчетах распределения скоростей с помощью численной модели Охотского моря скорость приливных течений на банке оказалась в 10—20 раз больше ( $\sim 2.6$  м/с на ее вершине), чем в окружающих водах. Этого вполне достаточно для полного перемешивания всего столба воды.

Однако прямые измерения скорости приливов и течений стали возможны только в 1994 и 1996 гг., когда на банке работали наши экспедиции. Станция 1996 г., установленная на глубине около 140 м, была снабжена измерителями придонного давления (или уровня с точностью  $\pm 2.7$  см) и скорости течения. (Эти инструменты любезно предоставили нам канадские океанологи Э.Кармак и Р.Лейк). Они простояли под водой более трех месяцев, прежде чем были подняты на борт научного судна. В результате в центральной части Охотского моря впервые были проведены инструментальные наблюдения большой точности. Оказалось, что амплитуда приливных течений и степень перемешивания имеют ярко выраженный двухнедельный цикл с периодом 13.66 сут [4]. Его существо-

вание связано с двумя близкими по частоте суточными приливными гармониками (одна из них с периодом 25.82 ч, а другая 23.93). Их сложение дает модуляцию скорости приливного течения и тем самым степени перемешивания вод в море. Этот эффект связан прежде всего с изменением склонения (но не фазы) Луны. Знание амплитуд и фаз этих гармоник позволяет прогнозировать амплитуду скорости приливных течений.

## Ритм непреодолимой силы

Приливы на банке очень велики и доминируют в наблюдениях над придонным давлением. Диапазон изменения уровня моря превышает здесь два метра, несмотря на отдаленность банки от берега. Приливы доминируют и над течениями. Выделяются две суточные приливные гармоники — колебания определенной частоты, динамика которых определяется прежде всего склонением Луны. При этом полусуточные гармоники в приливных течениях меньше суточных в пять раз и более. Максимальная амплитуда скорости течений достигала  $\approx 2$  м/с, а минимальная за двух-

недельный цикл опускалась десятикратно и более. Приливное перемешивание настолько сильно, что приводит к однородной стратификации всего слоя воды над банкой, на глубине около 140 м. Кроме того, приливные течения создают достаточно мощный средний поток, направленный с севера на юг, а его скорость также меняется в двухнедельном цикле. Такое течение эффективно выносит лед в море и способно создать полынью.

На температурном разрезе через банку в августе выделяется подступающий к ее границам слой холодных вод. Придонное давление и температура на банке связаны друг с другом, но если в изменениях уровня характерны суточные и полусуточные

гармоники, то для температуры преобладают только суточные. Таким образом, изменения температуры зависят от выноса холодных промежуточных вод глубокой части Охотского моря на банку. Во время ослабления приливных течений температура повышается и холодные воды промежуточного слоя смешиваются здесь с поверхностными. В результате холодные и соленые промежуточные воды возвращаются в верхний слой моря, что хорошо заметно на инфракрасных спутниковых снимках. А на глубине около 100 м, в пределах банок Кашеварова и Ионы, появляются теплые промежуточные воды, в то время как вокруг этих участков, включая воду над впадиной Дерюгина (к югу от банки Кашеварова) и на шельфе, температура на тех же глубинах составляет всего  $-0.7^{\circ}\text{C}$ .

Амплитуда скорости течения на банке в двухнедельном цикле сильно меняется, превосходя суточную изменчивость в пять раз. Поэтому и степень перемешивания должна меняться именно с двухнедельным периодом, поскольку во время него действительно существенно изменяется стратификация, соленость, содержание растворенного кислорода и концентрация питательных элементов. Многократное увеличение численности клеток фитопланктона на банке происходит во время усиления стратификации, сразу после фазы перемешивания.

Положение стратифицированных и хорошо перемешанных вод (так называемого приливного фронта) можно определить простым отношением глубины и скорости приливного потока ( $Hlu^3$ ). Когда этот параметр больше определенной величины, устанавливается стратификация, когда меньше — весь столб воды перемешивается. При этом, если модуль скорости течения в двухнедельном цикле меняется в 10 раз, параметр стратификации — в 1000, и следует ожидать значительных последствий такой изменчивости. Выраженная двух-



Кораллы, поднятые со дна банки Кашеварова.

недельная модуляция степени перемешивания приводит к периодическому восстановлению стратификации в этом слое.

Такая смена режима водной толщи — от однородной до расслоенной — сильно влияет на биологические процессы в ней, поскольку от этого зависит ее обогащение питательными веществами. Так, продукция фитопланктона в верхнем слое будет наибольшей, если периоды перемешивания и стратификации чередуются. Вспышки «цветения» могут появляться во время ослабления прилива, когда стратификация распространяется в зону, обогащенную ранее питательными веществами в результате вертикального перемешивания.

Двухнедельный приливный цикл задает совершенно определенный ритм жизни живым организмам, населяющим активную приливную область. Если в областях со слабым приливным перемешиванием наблюдается только весеннее «цветение» фитопланктона, то на банке Кашеварова в теплое время года оно

может повторяться каждые 14 дней. Любопытно, что на ней обнаружена даже колония красных кораллов. По-видимому, они поселяются здесь, в центре холодного моря, именно из-за обилия пищи, приносимой приливным течением, и из-за «привлекательности» дна, сложенного чистой, крупной галькой.

Итак, физические и биологические процессы в Охотском море тесно связаны между собой. А небольшая по размерам банка Кашеварова, видимо, играет исключительно важную роль не только для динамики вод, но и для сообществ живых организмов во всем море. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект № 97-05-65782.**

## Литература

1. Rogachev K.A. // Progress in Oceanography. 2000. V.47/2—4. P.299—336.
2. Kowalik Z., Polyakov I. // J. Geophysical Research. 1999. V.104. P.5361—5380.
3. Алексанина М.Г. // Исслед. Земли из космоса. 1997. №3. С.44—51.
4. Rogachev K.A., Carmack E.C., Salomatin A.S. // J. Oceanography. 2000. №4. V.56. P.439—447.