**ПЛОТНОСТЬ ВОДЫ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО**

(по статье автора

Danchenkov M.A. Sea water density in Peter the Great bay.

Pacific oceanography, 2003, v.1, N 2, p. 179–184)

**ВВЕДЕНИЕ**

Залив Петра Великого- уникален. Во-первых, он- самый большой в Японском море.

Во-вторых, только здесь происходит сочетание элементов субтропического и субарктического происхождения. Зимой здесь можно поймать рыбу, характерную для полярных морей (корюшка, навага, сельдь), а летом (Иванков, Иванкова, 1998) - для тропических (мола-мола, тунец, большая белая акула).

Летом в юго-западную часть залива происходит накачка тёплой волы. Непрерывного тёплого течения с юга нет. Но по цепочке тёплых вихрей вдоль 131.5в.д. тёплые воды непрерывно прорываются на север. Так, что к сентябрю тёплые воды составляют большой домен (Danchenkov et al., 1997; Никитин и др., 2002). Он обеспечивает на прилегающей территории длительную и тёплую осень.

Однако зимой во Владивостоке холоднее, чем в расположенном много севернее Тернее (Danchenkov et al., 1996). И зимой здесь образуется вода, плотность которой близка к плотности глубинных вод моря. Этот район наиболее часто считают (Senjyu et al., 2002) основным местом образования глубинных вод моря.

Однако воды залива исследованы, сравнительно с другими частями моря, плохо (Bibliography on the Japan sea oceanography, 2000).

Например, считается (Яричин, 1982; Лоция северо-западной части Японского моря, 1996), что холодное Приморское течение существует и пересекает Залив в течение всего года. Однако сколько-нибудь надёжного исследования Приморского течения нет до сих пор.

Плотность морской воды- важный параметр и инструмент для изучения течений.

Знания о его пространственном распределении позволяют надёжно судить о направлении преобладающих горизонтальных течений (Uda et al., 1977).

Так, по распределению плотности была построена знаменитая долгоживущая схема поверхностных течений моря (Uda, 1934).

Анализируя вертикальное распределение плотности, можно составить представление и о вертикальных движениях вод.

В заливе зимой образуется 10% льда Японского моря (Булгаков, 1968). При образовании льда происходит осолонение воды и её плотность повышается. Новообразованная плотная вода скапливается у дна и поймать её образование на поверхности пока не удалось.

Зимой (январь-март) поверхностную воду залива можно считать холодной (температура- -1.7oC- 0oC) и распреснённой (солёность- менее 34.00 psu). При этом плотность поверхностных вод оценивают невысоко: 27.25–27.35 (Ванин и др., 2000).

В разных местах залива обнаруживают воду и с более высокими значениями плотности. Но всегда- только у дна. Так, в бухте о.Русский найдена вода с плотностью более 27.38 (Корякова, 1987).

**ДАННЫЕ**

Для анализа пространственного распределения плотности нами использованы данные измерений океанографических съёмок ДВНИГМИ и ТОИ ДВО РАН.

Точность измерений разных зондов отличалась, но не сравнивалась (никогда на протяжении 30 лет), датчики до и после рейсов не тестировалась. Наше сравнение данных показало, что, в любых случаях, точность измерений температуры воды была не менее 0.01C, а солёности- 0.02 psu.

Плотность воды (sigma-st0) вычислялась по измеренным температуре и солёности по стандартным соотношениям (UNESCO, 1983).

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

По особенностям в распределении плотности поверхностных вод в заливе можно выделить особые зоны.

Самая заметная зона- с тёплой водой (и низкой солёностью)- расположена южнее залива Посьета. Происхождение тёплой воды здесь связано с недавно открытой цепочкой антициклонических вихрей вдоль 131.5в.д. (Danchenkov et al., 1997).

Из-за того, что тёплые воды имеют меньшую плотность, чем воды холодные (при близких значениях солёности), тёплые воды всегда расположены сверху, над холодными.

Граница между ними по вертикали выражена пикноклином- пучком изолиний равной плотности. Он выходит на поверхность в виде плотностного фронта южнее залива Посьета.

Вторая зона находится у острова Аскольд. Для её вод характерны высокие значения солёности и повышенные- температуры. Эти особенности- следствие постоянного течения западного направления вдоль 42.5.с.ш. (Goncharenko et al., 1990; Aubrey et al., 2001), генерируемого Восточным вихрем (его центр- на 42с.ш., 138в.д.).

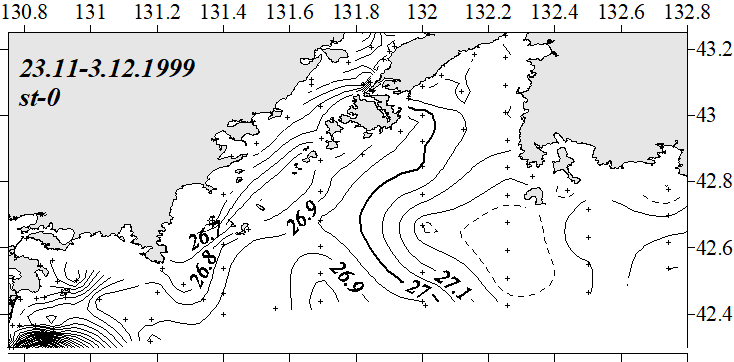
Поверхностные воды в первой зоне имеют низкую плотность (зимой- менее 26.0), а воды второй зоны- высокую (зимой- более 27.15).

Рассмотрим особенности полей плотности в разное время.

1. **Начало зимы**

К сожалению, с ледоколов в заливе измерения параметров воды никогда не проводились. Так что зимними здесь приходится считать только измерения, проведённые в начале и в конце зимы.

В октябре-ноябре 1999г основная особенность поля плотности- зона апвеллинга южнее о.Аскольд- рис.1.



***Рис.1. Плотность поверхностных вод залива в начале зимы***

Внутри её плотность воды превышает 27.15 по всей вертикали. Заметный скачок плотности происходит у дна- там плотность превышает 27.33.

С запада область апвеллинга ограничена плотностным фронтом (по 132в.д.).

Поверхностное течение вдоль фронта, судя по распределению плотности, направлено на юг. По распределению плотности видно, что воды из бухты Золотой Рог выходят в оба залива- Амурский и Уссурийский одновременно.

В начале декабря 1999г. воды малой плотности занимали две зоны– Амурский залив и район морского заповедника, лежащий к югу от залива Посьета.

Приморское течение при этом не выявлено.

В ноябре 2001г значения плотности поверхностных вод были существенно меньшими, чем в ноябре 1999г. В пределах залива не было заметно признаков апвеллинга.

В поверхностном поле плотности хорошо видны два фронтальных раздела- зональный в Амурском заливе и прибрежный- в Уссурийском.

Лёгкая (тёплая и солёная) вода распространялась от о.Аскольд двумя путями- на запад и на север.

Собственная поверхностная вода Уссурийского залива характеризовалась плотностью более 26.4.

1. **Конец зимы**

К марту 2000 г поверхностный пикноклин исчез повсеместно и воды залива были хорошо перемешаны во всём столбе, от поверхности до дна- рис.2.

0300new2

***Рис.2. Вертикальное распределение плотности зимой (март 2000г)***

В это время у дна появилась замкнутая область новообразованной воды высокой (до 27.8) плотности и высокой солёности.

Зиму 2000г нужно рассматривать как холодную. Вода большой плотности тогда была отмечена по всей восточной части залива (рис.3).

рис3а

***Рис.3. Распределение плотности на поверхности и на горизонте 20 m***

***зимой (март 2000г)***

Можно предположить, что такое похолодание оказало влияние на последующие лето и осень. Но, к сожалению, измерений в эти сезоны не было.

В эту зиму очень высокая (более 27.40) плотность вод была впервые обнаружена и на континентальном склоне. Обычно, в другие годы, воды такой плотности до склона дойти не успевали.

В последующее лето (2000г) воды высокой плотности недавнего происхождения были обнаружены в глубокой Японской котловине. И в следующем, 2001, году сильное охлаждение с формированием новой придонной воды повторилось (Senjyu et al., 2002).

Зимой воды южнее о.Аскольд были теплее (на 1-2С) окружающих вод. Вероятно, поэтому зимой здесь происходит скопление камбалы (Моисеев, 1937).

Происхождение тёплых вод связано с направленным на запад течением вдоль 42.5с.щ. (Aubrey et al., 2001; Danchenkov et al., 2003b). Этим воды характерны также высокая солёность и низкое содержание растворённого кислорода.

С юга зона тёплых солёных вод была ограничена водами низкой солёности (субарктическими), а с севера- прибрежными (Danchenkov et al., 2000).

1. **Лето 2001г.**

Особенностью вод в это время было необычно низкая солёность поверхностных вод Амурского залива. На поверхности распреснённая вода распространяется (рис.4) только вдоль западного берега. Этот поток отражается на положении плотностного фронта. По вертикали (рис.4) воды ЗПВ разделены двумя пикноклинами на три слоя: поверхностный, пикностад и придонный.

0801st(z)

***Рис.4. Вертикальное распределение плотности летом (август 2001г).***

***Шкала солёности ограничена снизу***

Толщина поверхностного слоя весьма неоднородна в пределах залива.

Минимальная толщина поверхностного слоя- в Амурском заливе. В северной его части- даже менее 1м.

А максимальная толщина поверхностного слоя характерна для района южнее о.Аскольд.

В пикностаде (промежуточном слое) температура, солёность и плотность изиеняются мало: температура в нём составляет 16oC–18oC, солёность- 32.8–33.5 psu, плотность- 23–25. Толщина пикностада неравномерна по заливу Как обычно, в северной части залива она- минимальна.

Плотность вод придонного слоя в Амурском и Уссурийском заливах отличается- в Амурском заливе она ниже из-за меньшей солёности.

Солёность придонных вод в Уссурийском заливе летом (2001г) соответствует глубинной воде Японского моря (более 27.32).

Если сравнить с другими годами, то придонная вода летом 2001г была заметно холоднее , чем в сентябре 1981г или в ноябре 1999г.

Недолговечные (сезонные) термические фронты особенно заметны (рис.5) в Амурском заливе на 43.15с.ш., а в Уссурийском- вдоль 42.7с.ш., так как они представляют барьеры обычным вдольбереговым течениям.

aug2001-st50

***Рис.5. Распределение плотности на поверхности и на горизонте 20 m***

***летом (август 2001г)***

Существование этого фронта объясняет известное (Гомоюнов, 1927) отличие циркуляции вод на севере и на юге от 43.15o с.ш.

Непрерывный прибрежный поток начинается только южнее этой широты.

Существование двух противоположно направленных потоков отмечено и в лоции (1996г).

Небольшой градиент плотности вдоль 42.7с.ш. соответствуют слабому течению западного направления (Приморскому) в тонком поверхностном слое.

Положение Приморского течения указывают (Яричин, 1982) так: "вдоль континентального склона" и "ниже поверхностного термоклина", а ядро течения относят на горизонт 100м (что, впрочем, представляется сомнительным).

Поэтому поверхностное течение вдоль 42.7oс.ш. - местное, отличное от Приморского течения.

1. **Лето 2003г**

Но, может быть, Приморское течение проходит южнее ?

Судя по распределению плотности на поверхности и на горизонте 20м, летом 2003 вдоль 42.4o с.ш. течение было, но- противоположного (на северо-восток) направления (рис.6).

Ниже его отмечен более сильный поток западного направления, но это не было холодное течение. С востока до залива Петра Великого вдоль 42.5с.ш. идёт полоса тёплых и солёных вод, как и было отмечено ранее (Danchenkov et al., 2000).

Градиенты плотности на севере и на юге языка соответствуют течениям противоположных направлений: на запад вдоль 42.4с.ш. и на восток вдоль 42.6с.ш.

Направленное на запад течение прослеживалось только до 132в.д. То есть и на поверхности и у дна холодные прибрежные воды (Приморское течение) не распространяются далее 132в.д. как летом, так и зимой.

0803-st20

***Рис.6. Плотность на поверхности и на горизонте 20м (август 2003г)***

**ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ**

Там, где изопикны выходят из промежуточного слоя на поверхность, образуя термический фронт - зоны наиболее вероятного подъёма вод. Соответственно, зоны фронтов- вероятные зоны апвеллинга.

Так, например, летом 2001 года сильный апвеллинг существовал около полуострова Песчаный. В этой зоне температура воды была на 2.5С ниже температуры окружающих вод. А солёность, соответственно,- выше на 4.5 psu.

Летом в Амурском заливе какие-либо вертикальные движения вод невозможны из-за сильной стратификации вод. Поэтому питательные биогены поступают в верхний слой залива летом только во время сильных штормов.

Зато осенью апвеллинг в заливе Петра Великого отмечается каждую осень. В ноябре (как в 1999г, так и в 2001г) в юго- восточной части Уссурийского залива (у о.Аскольд) устанавливается продолжительный по времени подъём вод. Поднимающиеся воды характеризуются повышенной солёностью и пониженной температурой воды и, по логике, - повышенной концентрацией биогенов.

В марте (2000г) воды залива хорошо перемешаны повсеместно. Наиболее интенсивные вертикальные движения вод происходят вдоль континентального склона.

**О СВЯЗИ ПЛОТНОСТИ И СОЛЁНОСТИ**

Зимой зависимость плотности от солёности вне интервала (33.9–34.3 psu)- линейна- см. рис.7.

Летом также существует простая зависимость в интервалаъ температуры 0–17oC и 20–25oC, солёности 15.0–33.0 psu.

прил1а

***Рис.7. Связь плотности и солёности летом и зимой.***

***Зимние (2000г) значения отмечены чёрными треугольниками, летние (2001г)- серыми точками. Шкала солёности ограничена снизу значением 33.5 psu***

Как видно, зимой залив Петра Великого является источником происхождения двух водных масс- низкой (менее 33.6 psu) солёности и глубинной (температурой близкой к 0С и солёностью -более 34.06 psu).

Интересна для обоих сезонов также и зависимость между температурой и солёностью (T-S-диаграмма- рис.2Приложения. Шкала солёности при этом ограничена снизу значением 32.5 psu.

прил2

***Рис.8. Связь температуры и солёности в ЗПВ летом и зимой.***

***Зимние (2000г) значения отмечены чёрными треугольниками,***

***летние (2001г)- серыми точками***

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В заливе Петра Великого летом существуют два пикноклина, а зимой- один.

Приморское течение по распределению плотности не выявлено ни летом ни зимой.

Для летнего сезона характерными являются следующие особенности плотности морской воды:

- три раздела плотностного фронта;

- направленный на юг поток плотных вод от острова Аскольд;

- направленное на восток придонное течение.

**ЛИТЕРАТУРА**

Aubrey D.G., Danchenkov M.A., Riser S.C. 2001. Belt of salt water in the north-western Japan Sea. "Oceanography of the Japan Sea” (Ed. M.A.Danchenkov), Vladivostok, Dalnauka, 11–20.

Bibliography of the oceanography of the Japan/ East Sea. PICES Sci.Rep., 2000, N13, 99 pp.

Булгаков Н.П. Морской лёд. "Гидрология Тихого океана". Москва, Наука, 1968, с.434-468.

Danchenkov M.A., Aubrey D.G., Feldman K.L. 2003. Oceanography of area close to the Tumannaya river mouth (the Japan Sea). Pacific oceanography, v.1, N1, 61-69.

Данченков М.А., Обри Д.Г., Лобанов В.Б. Пространственная структура вод северо-западной части Японского моря. «Гидрометеорология и экология дальневосточных морей». Владивосток, «Наука», 2000, с.92-105.

Danchenkov M.A., Kim K., Goncharenko I.A. 1996. Extremal winters in the NW part of the East/Japan Sea by monthly air temperature. Proc.4-th CREAMS Workshop, Vladivostok, 7-16.

Danchenkov M.A., Lobanov. B., Nikitin A.A. 1997. Mesoscale eddies in the Japan Sea, their role in circulation and heat transport. Proc. CREAMS Int. Symposium. Fukuoka, 81-84.

Danchenkov M.A., Riser S.C., Yoon J.-H. 2003b. Deep currents of the central Sea of Japan. Pacific oceanography, v.1, N1, 6-11.

Данченков М.А., Фельдман К.Л., Файман П.А. Температура и солёность вод залива Петра Великого. «Гидрометеорология и экология дальневосточных морей». Владивосток, «Наука», 2003, с.10-25.

Fayman P.A. 2003. The currents modeling for the Peter the Great bay on the base of FERHRI survey, 2001. Pacific oceanography, v.1, N1, 79-81.

Гомоюнов К.А. Гидрологический очерк Амурского залива и реки Суйфун. «Производительные силы Дальнего Востока. т.2». Владивосток, «Книжное дело», 1927, с.73-91.

Гончаренко И.А., Федеряков В.Г., Лазарюк А.Ю., Пономарёв В.И. Обработка.

Данных AVHRR на примере прибрежного апвеллинга. Исследование Земли из космоса, 1993, N 2, с.97-107.

Иванков В.Н., Иванкова З.Г. Тропические и субтропические виды рыб в северо-западной части Японского моря. Известия ТИНРО, 1998, т.123, с.291-298.

Корякова М.Д. Гидрохимические и гидрологические характеристики вод залива Петра Великого. Труды ДВНИГМИ, 1987, вып.36, с.59-67.

Моисеев П.А. Лов камбалы маломерными судами в Уссурийском заливе весной 1935г. Известия ТИНРО, 1937, т.12, с.125-158.

Никитин А.А., Лобанов В.Б., Данченков М.A. Возможные пути переноса тёплой воды в район дальневосточного морского заповедника. Известия ТИНРО, 2002, т.131, с.41-53.

Лоция северо-западной части Японского моря. 1996. СПб, ГС ВМФ, 354 стр.

Senjyu T., Aramaki T., Otosaka S., Togawa O., Danchenkov M., Karasev E., Volkov Yu. 2002. Renewal of the bottom water after the winter 2000-2001 may spin-up the thermohaline circulation in the Japan Sea. Geophys.Res.Letters, v.29, N7, 53-1- 53-4.

Uda M. Results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters during October and November 1933. J.Imp.Fish.Exp.Station, 1934, v.7, 91-151.

Uda M., Kishi A., Nakao T. 1977. Cyclonic eddies along the edge of the Kuroshio. J. Fac.Mar.Sci., Tokai Univ., N 10, 19-30.

UNESCO, 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater, by N.P.Fofonoff and R.C.Millard Jr. Tech.Pap.Mar.Sci., N44, 53 pp.

Vanin N.S., Yurasov G.I., Zuenko Y.I., Nedashkovskiy A.P., Ermolenko S.S. 2001. Monitoring of the update state of Peter the Great bay waters based on observations of November 1999- April 2000. “Oceanography of the Japan Sea” (Ed. M.A.Danchenkov), Vladivostok, Dalnauka, 150-157.

Яричин В.Г. Некоторые особенности горизонтальных движений вод Японского моря к северу от 40с.ш. Труды ДВНИГМИ, 1982, вып.96, с.111-120.