

УДК 551.465.45(265.53)

И.А. Жигалов<sup>1</sup>, В.А. Лучин<sup>2\*</sup><sup>1</sup> Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр, 690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;<sup>2</sup> Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43

### МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ

Анализируются результаты океанологических исследований по данным экспедиций ТИНРО-центра в северной части Охотского моря в период с 1996 по 2009 г. (апрель-июнь). Выполнены расчеты геострофических течений и произведен анализ их межгодовой изменчивости. Установлено, что циркуляция вод весной существенно отличается от известных схем течений для летнего времени года. Обнаружены также значительные межгодовые различия между полученными схемами течений. Выделены два типа схем течений, которые различаются направлением прибрежных течений. При первом типе у северных берегов моря движение вод происходит в северо-западном и западном направлениях (1996, 1997, 2002, 2007, 2008, 2009 гг.). При втором типе на североохотоморском шельфе наблюдается хорошо выраженный антициклонический круговорот вод, вытянутый в широтном направлении, а у северных берегов Охотского моря движение вод осуществляется в восточном направлении (1998, 1999, 2000, 2004–2006 гг.). В аномально холодном 2001 г. на североохотоморском шельфе доминировали потоки восточного направления, а в аномально теплом 1997 г. — преобладали потоки западного направления. Особенности схем течений за представленный период рассмотрены во взаимосвязи с межгодовой изменчивостью известных индексов, характеризующих изменчивость атмосферы и океана (PDO, TNI, Nino 3.4, SOI, AAO, AO, NAO, EA, EA-JET, WP, EP, NP, PNA, EA/WR, SCA, TNH, POL, PT, SZ, ASU). Дополнительно рассмотрена межгодовая изменчивость локальных параметров (ледовитость Охотского моря, температура воды в проливах Курильской гряды, месячные данные о скорости и направлении ветра над Охотским морем, средние значения температуры и солёности на горизонте 50 м и у дна для двух районов северного шельфа моря, суммы отрицательных значений температуры воздуха и конвективный теплообмен за период с октября по май на станциях Охотск и Магадан).

**Ключевые слова:** Охотское море, Западно-Камчатское течение, североохотоморский шельф, геострофические течения, типизация, температура и солёность морской воды, высаливание при льдообразовании, контактный (турбулентный) теплообмен, сумма градусо-дней мороза, общая ледовитость моря.

**Zhigalov I.A., Luchin V.A.** Year-to-year variability of horizontal circulation in the northern Okhotsk Sea // *Izv. TINRO*. — 2010. — Vol. 161. — P. 212–228.

\* Жигалов Игорь Анатольевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: zhigalov@tinro.ru; Лучин Владимир Александрович, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: vluchin@poi.dvo.ru.

Geostrophic currents are simulated from results of the oceanographic surveys conducted by Pacific Fish. Res. Center (TINRO) in the northern Okhotsk Sea in April-June of 1996–2009. Their long-term variability is estimated. The spring circulation differs considerably from the known circulation patterns, which are based mainly on summer surveys. Besides, features of the circulation differ from year to year. Two principal types of current patterns are distinguished with opposite direction of near-shore currents: 1<sup>st</sup> with the northwestward and westward flows at the northern coast (in 1996, 1997, 2002, and 2007–2009) and 2<sup>nd</sup> with the eastward alongshore flows within anticyclonic gyre over the northern shelf (in 1998–2001 and 2004–2006). In the period of study, the year 2001 was extremely cold and the year 1997 was extremely warm. The year-to-year variations of geostrophic circulation are compared with other oceanographic parameters, as ice cover and water temperature and salinity in the Kuril Straits and on the northern shelf; with meteorological parameters in Okhotsk and Magadan, as sum of air temperature below 0 °C, wind speed and direction, and turbulent air-sea heat exchange; and with climatic indices, as PDO, TNI, Nino 3.4, SOI, AAO, AO, NAO, EA, EA-JET, WP, EP, NP, PNA, EA/WR, SCA, TNH, POL, PT, SZ, and ASU.

**Key words:** Okhotsk Sea, West-Kamchatka Current, northern shelf of the Okhotsk Sea, geostrophic current, water circulation, water temperature, salinity, brine rejection, turbulent heat exchange, sum of air temperature, degree-day, ice cover.

## Введение

Система течений находится в тесной взаимосвязи с распределением и временной изменчивостью океанологических параметров моря, с тепловым балансом поверхности моря, конвективными процессами и другими факторами, находящимися в сложных взаимодействиях друг с другом.

Формирование структуры вод и ее разномасштабной изменчивости в северной части Охотского моря в основном происходит в результате взаимодействия и изменчивости двух многокомпонентных факторов. Это, во-первых, воздействие на водную толщу метеорологических процессов, приводящих к прогреву или охлаждению поверхностных вод, образованию или разрушению ледяного покрова, а также к конвективному выхолаживанию толщи вод от поверхности до придонных горизонтов. Во-вторых, изменения структуры вод происходят под влиянием системы течений моря, которая подвержена сезонным и межгодовым колебаниям интенсивности и пространственного распределения ее отдельных ветвей. В холодный период года под влиянием течений осуществляется перенос тепла в районы конвективного охлаждения толщи вод. В теплое время года существенные изменения пространственного распределения океанологических параметров происходят не только на поверхности моря (за счет поглощенной радиации), но и на подповерхностных и придонных горизонтах под действием турбулентного теплообмена, приливов и адвекции вод.

Для Охотского моря средний годовой результирующий теплообмен на поверхности отрицателен (Баталин, Васюкова, 1960; Меновщиков, Пятин, 1998). Компенсация потерь тепла Охотским морем происходит за счет адвекции тихоокеанских вод через Курильские проливы и япономорских вод в его южной части через прол. Лаперуза.

Исследование режимных особенностей системы течений моря является важной проблемой не только в научном, но и в прикладном аспектах, так как течения являются одним из абиотических параметров, который существенно влияет на биологические объекты на различных стадиях их развития. Течения играют значительную роль в формировании характерных черт биопродуктивности Охотского моря в целом, а также в распределении и изменчивости высоко- и малопродуктивных зон и участков (Чернявский и др., 1993).

Для циркуляции, охватывающей всю толщу воды, в теплый период года характерно преобладание циклонических круговоротов вод в северной и цент-

ральной частях Охотского моря, а также антициклонического движения вод в южной части моря. В работах В.Ф. Козлова (1972) и В.И. Зырянова (1977) сделан вывод об определяющей роли совместного эффекта бароклинности и рельефа дна в формировании интегральной циркуляции вод моря и о второстепенной роли ветровой составляющей.

Наличие вихревых структур в пределах циклонического круговорота, формирующегося в районе североохотского ядра холода, отмечено ранее (Чернявский, 1981; Чернявский и др., 1981; Лучин, 1987). Заметим, что у разных авторов нет согласованности по отдельным звеньям циркуляции вод моря (в центральной глубоководной и северной частях моря, на шельфе и над склоном западной Камчатки). Как правило, имеющиеся расхождения в схемах течений исследователи объясняют различным объемом используемой информации, ее пространственным распределением и методами обработки.

Исследования последних лет свидетельствуют о существенной сезонной изменчивости циркуляционной системы моря под воздействием перестройки термохалинных полей (Лучин, 1987; Васильев и др., 1995; Vasiliev, Khrapchenkov, 1996; Дарницкий, Лучин, 1997; Пищальник, Архипкин, 1999; Путов, Шевченко, 2001; Хен и др., 2002; Mizuta et al., 2003; Фигуркин, 2004).

По мнению А.Л. Фигуркина (2004), причина отличий динамики вод весной (апрель — начало июня) от летней схемы циркуляции была связана с формированием и распространением аномально плотных шельфовых вод при льдообразовании в прибрежных полыньях. Причем в холодные годы вдоль северного склона впадины ТИНРО формировался обширный зонально ориентированный антициклон, нередко соединяющийся с антициклоном над желобом зал. Шелихова. А.Л. Фигуркиным было показано, что весной в зал. Шелихова циркуляция вод приобретает антициклонический характер. В его работе также подтверждена реальность ситуаций, когда на шельфе западной Камчатки наблюдается шельфовое Компенсационное течение южного направления. Формирование этого потока Г.Е. Карманов (1982) связывал с охлаждением вод мелководья, которые становятся плотнее мористых вод. По данным А.Л. Фигуркина (2004), который исследовал режим этого течения за многолетний ряд (1984–2001 гг.), в отдельные зимы Компенсационное течение может отсутствовать даже в период максимального охлаждения. Это свидетельствует о том, что пониженная температура прибрежных вод не является достаточным условием для формирования течения. Им было установлено, что шельфовое Компенсационное течение формируется северо-восточными ветрами и выносом переохлажденных и соленых вод на шельф западной Камчатки из зал. Шелихова.

А.Л. Фигуркин (2004), а также Г.В. Хен с соавторами (2002) отмечали, что в разные годы у северных берегов моря (от пос. Охотск до п-ова Пьягина) обнаруживались течения противоположных направлений (Северо-Охотское течение западного направления и восточные потоки на различных участках северного побережья моря). В холодные 1999 и 2000 гг. восточный перенос вод отмечался от пос. Охотск до мыса Тайгонос. Ранее холодными считались годы с повышенной общей ледовитостью моря. В работах (Фигуркин, 2004, 2006) предполагалось, что межгодовые изменения в системе течений моря весной, а также интенсификация или деградация отдельных звеньев циркуляции находятся в соответствии с изменениями ледовитости моря в предшествующий зимний период. Вместе с тем результаты океанологических исследований, проведенных весной в Охотском море в последние годы, показывают, что это соответствие не столь очевидно.

Так, с 2002 по 2006 г. отмечалось уменьшение общей ледовитости моря. В 2006 г. значения общей ледовитости моря находились на очень низком уровне (были близки к значениям малоледовитого 1997 г.), однако представленные в работе А.Л. Фигуркина с соавторами (2008) схемы горизонтальных течений за эти годы существенно различались. На наш взгляд, многолетняя изменчивость

общей ледовитости моря только в первом приближении отражает суровость зимних условий. Перестройка поля плотности и соответствующие этому изменения горизонтальной циркуляции вод во многом зависят от межгодовых, сезонных и региональных особенностей воздействия метеорологических факторов на морскую поверхность и последующую передачу этого влияния вглубь моря.

Цель настоящей работы — выявление межгодовых изменений течений северной части Охотского моря в послеледовый период года (апрель-июнь) и оценка возможного влияния на них гидрометеорологических факторов.

### Материалы и методы

В работе использованы результаты океанологических наблюдений, полученные экспедициями ТИНРО-центра в северной части Охотского моря (к северу от 54° с.ш.) в апреле-июне 1996–2009 гг. (см. таблицу). Экспедиционные наблюдения обычно проводились после схода дрейфующих льдов, начиная с района западной Камчатки в апреле, и заканчивались в начале июня в районе восточного Сахалина. Иногда в зал. Шелихова и у северных берегов моря наблюдения выполнялись на открытой воде в полях битого дрейфующего льда. Наблюдения производились океанологическими зондами MARK-III или SBE-25 SEALOGGER от поверхности моря до дна или горизонта 1000 м.

Список экспедиций, результаты наблюдений которых использованы в работе  
Catalogue of the expeditions

Год	Название НИС	Период работ	Кол-во станций
1996	Лесозаводск	04.04–11.05	160
1996	ТИНРО	27.04–21.06	311
1997	ТИНРО	15.04–08.06	236
1998	ТИНРО	12.04–11.06	251
1999	ТИНРО	01.04–10.06	275
2000	ТИНРО	01.04–10.06	324
2001	ТИНРО	21.04–25.06	310
2002	Профессор Кагановский	17.04–06.06	254
2004	Профессор Кагановский	08.04–31.05	328
2005	Профессор Кагановский	10.04–07.06	348
2006	Профессор Кагановский	16.04–05.06	284
2007	Профессор Кагановский	12.04–31.05	299
2008	Профессор Кагановский	10.04–01.06	340
2009	Профессор Кагановский	07.04–23.05	332

Для исследования влияния метеорологических факторов на океанологические условия северной части Охотского моря были использованы срочные метеорологические наблюдения за температурой воздуха и ветром на гидрометеорологических станциях (ГМС) Охотск и Магадан. С 2005 по 2009 г. эти данные размещены в сети Internet по адресу: [http://www.mundomanz.com/meteo\\_p/byind?countr=RUSSIAN+FEDERATION+%28IN+ASIA%29&ind=31088&year=2009&month=11&day=01&n\\_days=8&time=all&trans=NO&l=1&action=display](http://www.mundomanz.com/meteo_p/byind?countr=RUSSIAN+FEDERATION+%28IN+ASIA%29&ind=31088&year=2009&month=11&day=01&n_days=8&time=all&trans=NO&l=1&action=display). За более ранние годы информация предоставлена заведующим ОДПП ДВНИГМИ О.В. Соколовым. Дополнительно использованы средние месячные данные скорости и направления ветра над Охотским морем, представленные на сайте NOAA ([http://nomad3.ncep.noaa.gov/cgi-bin/pdisp\\_mp\\_r1.sh?ctlfile=prs.ctl&varlist=](http://nomad3.ncep.noaa.gov/cgi-bin/pdisp_mp_r1.sh?ctlfile=prs.ctl&varlist=)).

При исследовании межгодовой изменчивости метеорологических условий по данным ГМС были рассчитаны суммы градусо-дней мороза — как ежемесячные, так и за весь временной период устойчивых отрицательных значений температуры воздуха (Тютнев, 1966, 1975), а также турбулентный (контактный) теплообмен для охлаждающейся поверхности моря по формуле (Джеймс, 1971):

$$Q_T = 0,83 \cdot (0,26 + 0,04W) \cdot (T_w - T_a),$$

где  $W$  — скорость ветра, уз;  $T_w$ ,  $T_a$  — температура воды и воздуха по шкале Фаренгейта.

В качестве возможных влияющих факторов на межгодовую изменчивость течений северной части моря были использованы межгодовые вариации следующих характеристик:

— 20 общепринятых, широко применяемых в мировой практике индексов (<http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/>) — индекс десятилетней Тихоокеанской осцилляции (PDO); индексы, характеризующие термическое состояние вод тропической зоны Тихого океана в районах, связанных с зарождением и распространением явления Эль-Ниньо (TNI, Nino 3.4); Южное колебание (Southern Oscillation Index; SOI); Антарктическое колебание (Antarctic Oscillation; AAO); Арктическое колебание (Arctic Oscillation; AO); Северо-Атлантическое колебание (North Atlantic Oscillation; NAO); East Atlantic Pattern (EA); East Atlantic Jet Pattern (EA-JET); West Pacific Pattern (WP); East Pacific Pattern (EP); North Pacific Pattern (NP); Pacific/North American Pattern (PNA); East Atlantic/West Russia Pattern (EA/WR); Scandinavia Pattern (SCA); Tropical/Northern Hemisphere Pattern (TNH); Polar/Eurasia Pattern (POL); Pacific Transition Pattern (PT); Subtropical Zonal Pattern (SZ); Asia Summer Pattern (ASU);

— макромасштабные климатические изменения в атмосфере Северного полушария (параметры центров действия атмосферы, информация о которых была предоставлена Т.В. Богдановской; индексы циркуляции атмосферы, полученные и любезно предоставленные О.В. Соколовым);

— ледовитость Охотского моря (согласно работе Е.И. Устиновой и Ю.Д. Сорочкина (Ustinova, Sorokin, 2009) с дополнениями авторов);

— поверхностная температура воды в районах, расположенных вблизи северных и центральных проливов Курильской гряды.

Возможные влияющие факторы были представлены временными рядами данных различной длины, с месячной и декадной дискретностью.

Расчет геострофических течений выполнялся динамическим методом (Зубов, 1947) относительно “нулевой поверхности” 500 дбар. Приводка глубин осуществлялась методом М.М. Сомова (1937). Расчет течений был выполнен на горизонтах 0, 30 и 50 м, однако, несмотря на различия температуры и солёности воды в приповерхностных горизонтах, обусловленные сезонной изменчивостью гидрологических характеристик под действием весеннего прогрева поверхностных вод и таяния льда, существенных изменений в сравнении с циркуляцией вод на поверхности не было выявлено.

Для нахождения межгодовых изменений температуры и солёности, связанных с осенне-зимним охлаждением вод моря и их осолонением за счет образования льда, производился расчет средних значений температуры и солёности на придонных горизонтах. Эти расчеты выполнялись в пределах двух полигонов: северо-западного (NW) и северо-восточного (NE), расположенных между изобатами 50 и 200 м на североохотоморском шельфе (рис. 1).

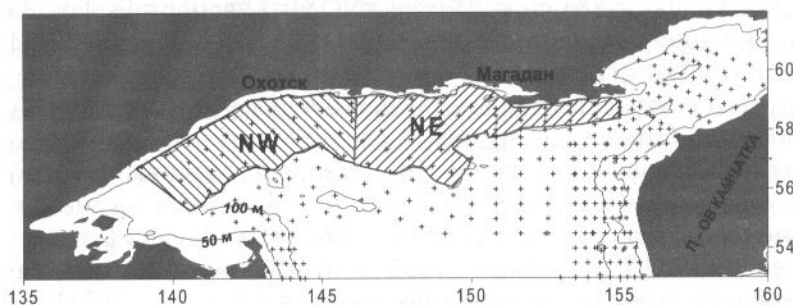


Fig. 1. Areas for bottom temperature and salinity averaging. Points show the stations of the standard survey

Рис. 1. Расположение полигонов для расчета средних значений температуры и солёности (заштриховано). Точками показано расположение станций на стандартной океанологической съемке

## Результаты и их обсуждение

### Типизация схем течений

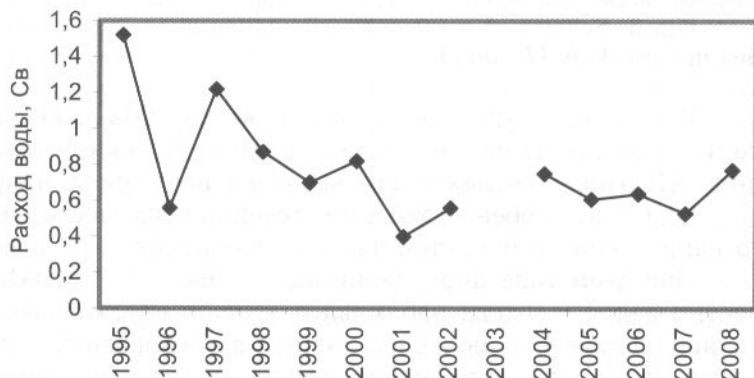
Полученные в настоящей работе карты течений отличаются от известных схем (Морошкин, 1966; Чернявский, 1981; Лучин, 1982, 1987), составленных по данным теплой половины года. Более того, анализ схем циркуляции поверхностных вод северной части Охотского моря, представленных в настоящей работе для послеледového периода (апрель-июнь), обнаруживает между ними значительные межгодовые различия.

Западно-Камчатское течение (ЗКТ) — единственный структурный элемент северной части моря, сохраняющий относительную пространственно-временную устойчивость как в сезонном, так и в межгодовом аспектах (Чернявский, 1981; Карманов, 1982; Лучин, 1987; Самко и др., 2004; Фигуркин, 2004). ЗКТ следует в генеральном северном направлении от траверза мыс Лопатка до впадины ТИНРО. В апреле стрежень ЗКТ ориентирован примерно вдоль меридиана 154° в.д. и расположен над материковым склоном п-ова Камчатка. В соответствии с рельефом дна в южной части района западной Камчатки течение меандрирует, при этом стрежень отклоняется на 1–2° в западном направлении.

В то же время направление потока вод Северной ветви, которая является продолжением ЗКТ (Чернявский и др., 1993), меняется год от года. В одни годы течение, после прохождения района впадины ТИНРО, первоначально отклоняется в западном направлении, затем следует на восток, образуя антициклонический меандр в районе к югу от п-овов Кони и Пьягина. В другие годы — распространяется на северо-восток (в зал. Шелихова) или, напротив, широким потоком на запад (на мористую акваторию североохотоморского шельфа). Ранее отмечалась также изменчивость расходов воды, переносимых потоком северного направления ЗКТ (Самко и др., 2004; Фигуркин и др., 2008). Согласно нашим расчетам, размах межгодовых колебаний расходов воды на разрезе по 55° с.ш. (относительно поверхности 500 дбар) составил 0,8 Св (1 Св = 10<sup>6</sup> м<sup>3</sup>/с): от 1,22 Св в 1997 г. до 0,40 Св в 2001 г. (рис. 2).

Рис. 2. Межгодовая изменчивость расходов воды Северной ветви Западно-Камчатского течения на разрезе по 55° с.ш. в апреле

Fig. 2. Volume transport (Sv) through the section along 55° N that crosses the northern branch of the West-Kamchatka Current



В качестве основного показателя межгодовых изменений горизонтальной циркуляции вод северной части Охотского моря, были приняты особенности развития Северной ветви Западно-Камчатского течения. Как дополнительный критерий межгодовой изменчивости системы течений взята направленность прибрежного течения (восточное или западное) в северной части моря (в районе к западу от о. Спафарьева — меридиан 149° в.д.). Согласно этим критериям, в настоящей работе предпринята попытка классификации (типизации) схем циркуляции, наблюдаемых в различные годы за период с 1996 по 2009 г.

**Первую группу лет (первый тип)** составили годы (1996, 1997 и 2007), когда ЗКТ в районе впадины ТИНРО отклонялось широким потоком в западном направлении. При этом вдоль северных берегов моря от п-овов Кони-Пьягина до

пос. Охотск наблюдалось западное течение (аналог летних Ямского и Северо-Охотского течений). Южная граница этого потока мористее Тауйской губы и п-овов Кони и Пьягина достигала параллели 55–56° с.ш. Лишь в 1997 г. небольшая ветвь ЗКТ вблизи берегов п-ова Пьягина отклонялась на восток в сторону зал. Шелихова (рис. 3).

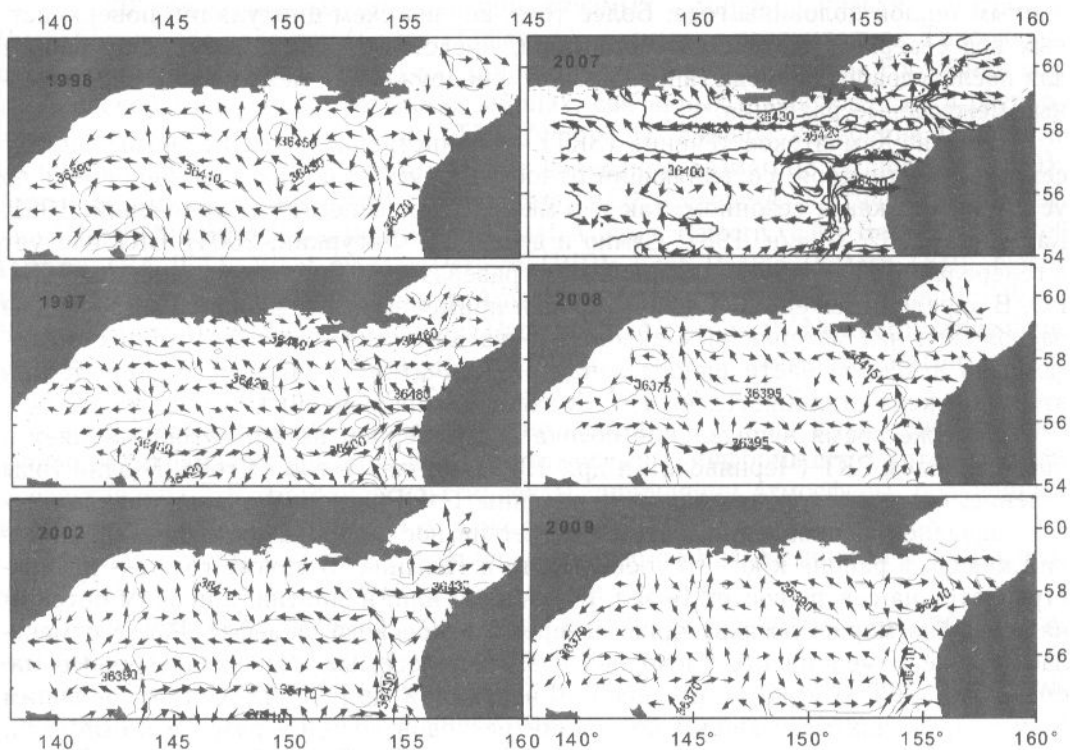


Рис. 3. Схемы циркуляции поверхностных вод северной части Охотского моря (первый тип) для холодного времени года (апрель-июнь)

Fig. 3. Scheme of geostrophic circulation at the sea surface in the northern Okhotsk Sea in April-June (1st type)

К этой же группе лет можно отнести 2002, 2008 и 2009 гг., несмотря на то что в эти годы на небольших участках к югу от п-ова Лисянского и южнее п-ова Пьягина прослеживались потоки восточного направления.

Одной из особенностей схем течений этих шести лет были потоки северного направления в мористой части шельфа южнее Тауйской губы.

При этом типе циркуляции вод в 1996, 1997 и 2007 гг. над глубоководной частью зал. Шелихова наблюдался хорошо выраженный антициклон. В 2002 г. антициклоническое движение вод над глубоководной частью залива было менее выражено за счет устойчивого потока восточного направления из горла залива на его южную периферию. В 2008 и 2009 гг. океанографические съемки ограничивались дрейфующим льдом, поэтому не было возможности для оценки характера циркуляции вод в заливе.

Компенсационное течение (с южным переносом прибрежных вод у берегов западной Камчатки) при этом типе циркуляции вод в северной части моря наблюдалось только в 2008 г.

**Вторую группу лет (второй тип)** составили 1998, 1999, 2000, 2004–2006 гг., отличительной особенностью схем течений которых являлся поток восточного направления у северных берегов моря. В эти годы поток вод Северной ветви ЗКТ вначале отклонялся на запад, затем разворачивался на северо-восток и далее следовал в восточном направлении. В северо-восточной части моря фор-

мировался обширный антициклонический круговорот, ориентированный в широтном направлении. В некоторые годы (например, в 2004 г.) антициклонический круговорот вод распространялся от траверза зал. Бабушкина (п-ов Пьягина) на востоке до меридиана  $141^\circ$  в.д. на северо-западном шельфе моря (рис. 4).

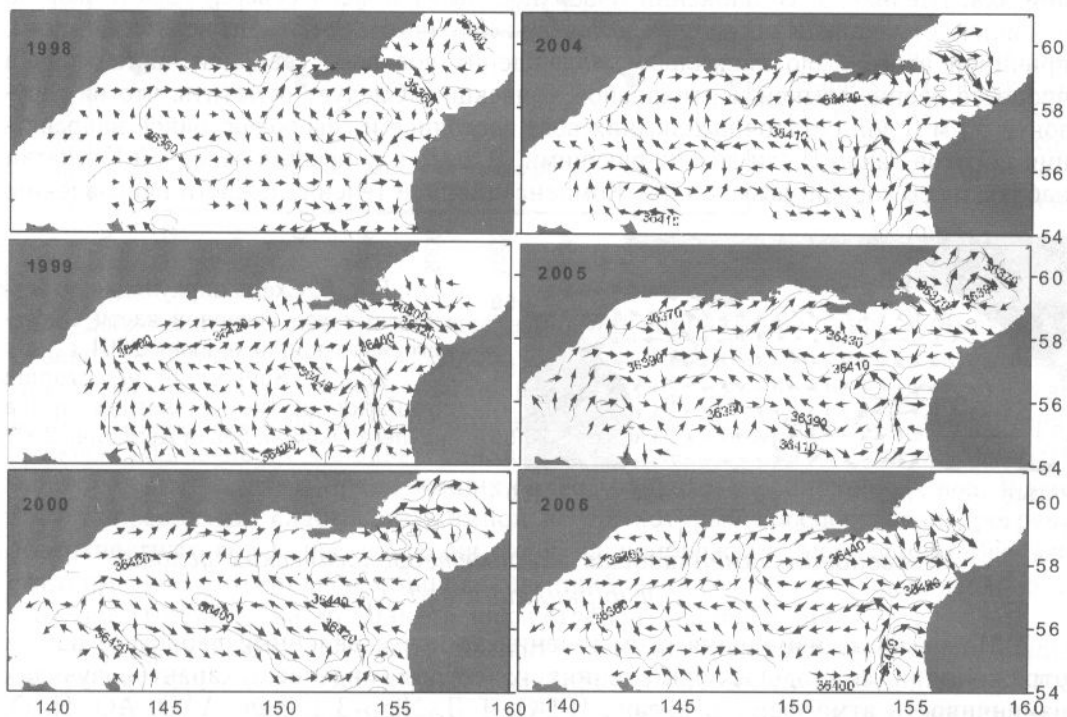


Рис. 4. Схемы циркуляции поверхностных вод северной части Охотского моря (второй тип) для холодного времени года (апрель-июнь)

Fig. 4. Scheme of geostrophic circulation at the sea surface in the northern Okhotsk Sea in April-June (2<sup>nd</sup> type)

Прибрежное течение восточного направления у северных берегов моря в эти годы обычно складывалось из двух составляющих: северной периферии антициклонического круговорота, расположенного на северо-востоке моря, а также прибрежного течения в северо-западной части моря. Эти элементы схемы течений северной части моря (с восточным направлением течения) формируются в результате понижения динамического уровня прибрежных вод, которое связано с увеличением плотности морской воды.

В 2006 г. вблизи берега (к западу от п-ова Лисянского) прослеживалось течение западного направления. Его происхождение, наиболее вероятно, было связано с сезонным ростом уровня за счет уменьшения плотности прибрежных вод под влиянием весеннего прогрева и распреснения поверхностных вод на мелководье (как следствие таяния льда и материкового стока).

При этом типе циркуляции вод над глубоководной частью зал. Шелихова наблюдался хорошо выраженный антициклон в 1998, 2000 и 2005 гг. В 1999, 2004 гг. антициклоническое движение вод над глубоководной частью залива было менее выражено за счет устойчивого потока восточного направления из горла залива на его южную периферию. В 2006 г. океанографическая съемка ограничивалась с востока входом в зал. Шелихова, поэтому не было возможности для оценки характера циркуляции вод в этом регионе.

При этом типе циркуляции вод прослеживался южный перенос вод у берегов западной Камчатки (Компенсационное течение). В северо-западной части моря доминировали течения северных румбов.



Особо следует выделить динамическую схему течений, наблюдавшуюся в 2001 г., когда горизонтальная циркуляция вод кардинальным образом отличалась от всех остальных лет (см. рис. 3–5). Главным ее отличием было отклонение ЗКТ (после прохождения над впадиной ТИНРО) на северо-восток и восток в направлении зал. Шелихова. В движении поверхностных вод всей северной части моря в основном отмечались восточные и северо-восточные потоки. По всей видимости, причиной этого было аномальное охлаждение вод всей северной части моря в процессе осенне-зимней вертикальной конвекции. Следует отметить, что на горизонте 50 м (слой остаточных зимних вод) восточное и северо-восточное направления потоков также были доминирующими. В 2001 г. у берегов западной Камчатки наблюдалось хорошо выраженное Компенсационное течение южного направления.

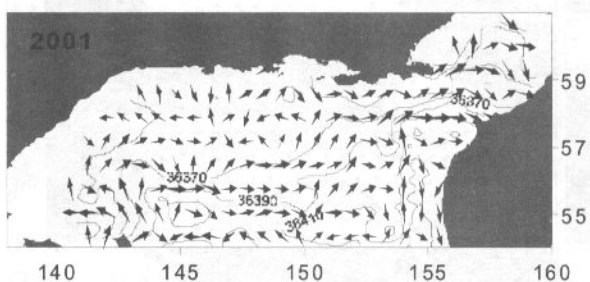


Рис. 5. Схема циркуляции поверхностных вод северной части Охотского моря в апреле-июне 2001 г.

Fig. 5. Scheme of geostrophic circulation at the sea surface in the northern Okhotsk Sea in April-June 2001

#### *Межгодовая изменчивость гидрометеорологических условий и циркуляция вод*

Межгодовые изменения схем течений за представленный период не нашли отражения в межгодовых изменениях известных индексов, характеризующих изменчивость атмосферы и океана (PDO, TNI, Nino 3.4, SOI, AAO, AO, NAO, EA, EA-JET, WP, EP, NP, PNA, EA/WR, SCA, TNH, POL, PT, SZ, ASU). Не было получено также согласованности и с зональными и меридиональными индексами А.Л. Каца (рассчитанными в районе 50–70 N и 95–195 E), а также с параметрами центров действия атмосферы и поверхностной температурой воды в районах, расположенных вблизи северных и центральных проливов Курильской гряды. Поэтому необходимо было рассмотреть локальные процессы, возможно влияющие на межгодовые изменения схем течений моря.

**Ледовитость моря.** На рис. 6 представлен график межгодовой изменчивости ледовитости в марте (период максимального распространения льда в Охотском море), а также средней ледовитости за период с января по апрель. Привлекает внимание хорошая корреляция двух кривых. Как следует из представленного рис. 6, пониженные значения ледовитости (ниже нормы) наблюдались в 1996, 1997, 2005, 2006–2009 гг. Близкая к норме ледовитость была в 2004 г. Повышенные значения ледовитости моря отмечались на рубеже веков (1998–2003 гг.). Сравнение межгодовых вариаций ледовитости моря с полученными схемами течений показало их соответствие друг другу только на временном отрезке 1996–2001 гг. В этот период схемы циркуляции первого типа наблюдались в годы с малой ледовитостью, а второго — в годы с большой ледовитостью. В последующие годы это соответствие нарушилось.

**Ветровой режим.** Океанографические наблюдения в северной части Охотского моря, как правило, выполнялись с апреля по май, поэтому анализ ветровой обстановки будет ограничен этим периодом.

Для группы лет, которые включены в первый тип циркуляции вод северной части моря (1996, 1997, 2007 гг.), было выявлено, что средние месячные направления ветра над северной частью Охотского моря с января по апрель, как правило, свидетельствуют о преобладании циклонического движения воздушных масс. Для данного типа циркуляции атмосферы дрейфовые течения на поверхности

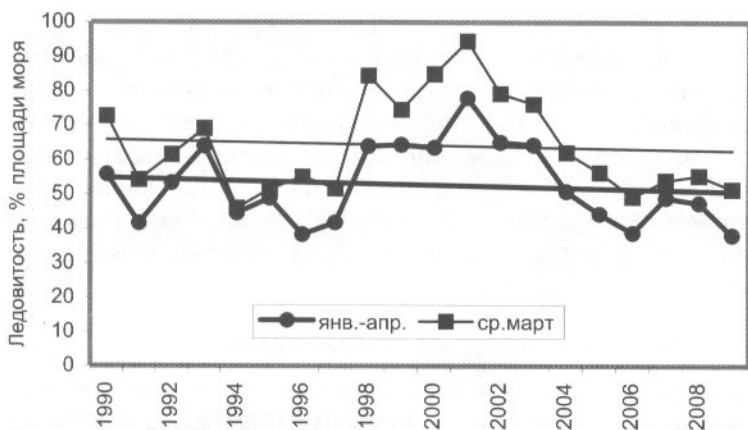


Рис. 6. Межгодовые изменения общей ледовитости Охотского моря

Fig. 6. Year-to-year changes of total ice cover in the Okhotsk Sea. Thick line — mean winter (January-April); thin line — mean March. Trend is shown

моря должны иметь преобладающее западное направление (аналог Ямского и Северо-Охотского течений для теплого периода года). В мае скорости ветра были значительно слабее зимних и не превышали 1–2 м/с. В то же время в мае 1996 г. преобладал слабый отжимной ветер, что могло приводить к выносу прибрежных вод на мористые акватории, а также к слабому подъему на поверхность в прибрежных районах нижележащих более холодных и осолоненных вод. В мае 2007 г. преобладал слабый прижимной ветер, который способствовал прогреву поверхностных вод и росту уровня моря на прибрежных акваториях. Все эти факторы способствовали формированию прибрежного потока западного и юго-западного (от Охотска до Шантарских островов) направлений.

В 2002 и 2008 гг. с января по март преобладало циклоническое движение воздушных масс. В апреле 2002 г. доминировал слабый прижимной ветер, а в мае — слабый отжимной. В апреле 2008 г. преобладала слабая антициклоническая циркуляция воздушных масс, приводящая к формированию отжимных ветров, а в мае — слабая циклоническая завихренность воздушных масс, что могло формировать в прибрежных районах слабый поток западного направления.

Своеобразная ветровая обстановка над северной частью Охотского моря наблюдалась в 2009 г. В январе и феврале преобладало классическое циклоническое движение воздушных масс. С марта по май над прибрежными акваториями северной части моря доминировали прижимные ветры. Причем их скорости в марте и апреле достигали 4–5 м/с, а в мае понизились до 1–2 м/с. Эти особенности ветрового режима способствовали прогреву поверхностных вод и росту уровня моря на прибрежных акваториях, а также формированию прибрежного потока западного направления.

При втором типе циркуляции вод в северной части моря (1998–2000, 2004–2006 гг.) средние месячные направления ветра над северной частью Охотского моря с января по апрель, как правило, свидетельствовали о преобладании циклонического движения воздушных масс. Для данного типа циркуляции атмосферы дрейфовые течения на поверхности моря должны иметь в основном западное направление (аналог Ямского и Северо-Охотского течений для теплого периода года). В мае этих лет значения скоростей ветра не превышали 1–3 м/с. В 1998, 1999, 2005 гг. преобладали слабые прижимные направления ветра, которые способствуют росту уровня моря на прибрежных акваториях, а также более раннему прогреву и распреснению прибрежных вод северного шельфа. Все эти факторы приводят к формированию слабого прибрежного потока западного и юго-западного (от Охотска до Шантарских островов) направлений. В 2000 г. преобладающие направления ветра способствовали формированию слабых прибрежных течений восточного направления, а в мае 2004 и 2006 гг. значения средних месячных скоростей ветра не превышали 1 м/с, что практически не могло влиять на схему течений в прибрежной зоне моря.

В 2001 г., когда горизонтальная циркуляция вод в северной части моря кардинально отличалась от циркуляции в остальные годы, средние месячные направления ветра над северной частью Охотского моря с января по апрель свидетельствовали об устойчивом преобладании циклонического движения воздушных масс, что должно было формировать прибрежное течение западного направления. Однако в мае 2001 г. движение воздушных масс этого района моря перестроилось на противоположное (с преобладающими скоростями ветра до 3 м/с), что могло способствовать формированию прибрежного течения восточного направления.

### *Изменчивость термохалинных показателей*

Пространственные градиенты плотности воды являются одним из основных факторов, определяющих направление и скорости морских течений. Выполненные нами расчеты показали, что циркуляция вод в холодном промежуточном слое (ХПС, горизонт 50 м) имела незначительные отличия в сравнении с динамикой поверхностных вод. Это свидетельствует о том, что решающий вклад в формирование поля течений на поверхности моря вносят остаточные зимние воды (ХПС). Формирование ХПС происходит при зимнем охлаждении вод, при этом в северной части моря вертикальная конвекция распространяется от поверхности до глубины 100–150 м или до дна (Лучин и др., 1998). Сформированные в процессе вертикальной осенне-зимней конвекции термохалинные характеристики сохраняются длительное время. В мае-июне только в верхнем поверхностном слое и на мелководье (в результате перемешивания распресненных поверхностных вод с придонными) наблюдается относительное уменьшение солёности и повышение температуры. В то же время на подповерхностных горизонтах (на акваториях с глубинами больше 30 м) значения температуры и солёности в значительной степени отражают зимние условия. Региональные и межгодовые особенности формирования поля плотности (температуры и солёности) северной части моря являются причиной различия схем горизонтальной циркуляции вод в разные годы.

Выполненные расчеты средних значений температуры и солёности на придонных горизонтах в пределах двух полигонов, представленных на рис. 1, показали, что к западу от Тауйской губы в межгодовую изменчивость плотности на прибрежных акваториях доминирующий вклад вносит солёность (при относительно небольших межгодовых колебаниях температуры воды и малых пространственных градиентах поля температуры). Повышение плотности прибрежных вод здесь происходит за счет поступления солей в воду при льдообразовании.

Этот процесс происходит как в начале зимы (при становлении льда), так и в течение всего ледового периода в прибрежных полыньях (Oshima et al., 2006). В среднем продукция льда и солеобразование в полыньях северо-западной части моря составляют около 55 % общего количества льда и выделяемых при этом солей (Martin et al., 1998). Количество выделяемых солей зависит от многих факторов: скорости льдообразования, суровости зимних условий, выпадения снега. В зависимости от ветрового режима расположение и площади полыней могут изменяться год от года (Муктепавел, 2006).

Обширные области повышенной солёности, расположенные вдоль побережья, отчетливо видны на картах распределения солёности в слое холодных подповерхностных вод для 2001 и 2005 гг., которые являлись суровыми по гидрометеорологическим показателям. Как правило, после мягких зим (например, 1997 г.) пространственные градиенты солёности меняли знак и областей с повышенными значениями солёности вблизи берега не обнаруживалось (рис. 7). В суровые по гидрологическим условиям годы повышенные значения солёности приводят к понижению динамического уровня прибрежных вод, в результате чего у северных берегов моря происходит формирование Прибрежного течения восточного направления.

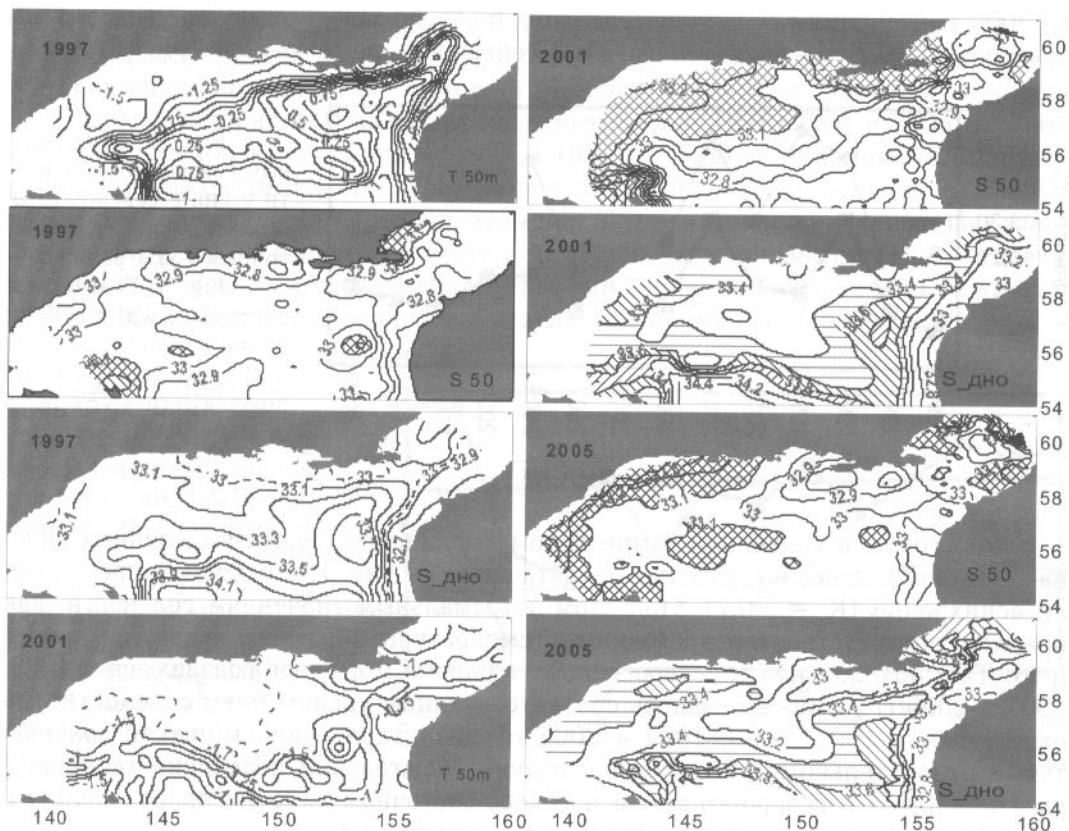


Рис. 7. Распределение температуры и солености в северной части моря в 1997, 2001 и 2005 гг.

Fig. 7. Water temperature and salinity in the northern Okhotsk Sea in spring of 1997, 2001, and 2005

Примечательной особенностью поля температуры в восточной части моря была существенная разница прибрежных пониженных и мористых повышенных значений температуры в районе к югу от п-овов Кони и Пьягина. Значительные пространственные градиенты температуры образовывались при контакте теплых вод Западно-Камчатского течения и холодных прибрежных вод. Пространственные градиенты солености были менее выражены, чем в полях температуры. Такое распределение термохалинных характеристик способствовало росту динамического уровня в мористых районах моря (в сравнении с прибрежными водами п-овов Кони и Пьягина) и в конечном итоге приводило к возникновению течения восточного направления. Таким образом, северная периферия антициклонического круговорота, расположенного на северо-востоке моря, формировалась в основном за счет термического контраста прибрежных и мористых вод.

В экстремально холодном 2001 г. на североохотоморском шельфе были значительно распространены воды с пониженными значениями температуры и высокой соленостью (рис. 7). Это приводило к увеличению плотности (понижению динамического уровня) и способствовало развитию восточного переноса на всем северном шельфе.

Течение западного направления у берегов п-овов Кони и Пьягина развивалось в годы слабого выхолаживания вод верхнего шельфа и относительно слабого осолонения вод при льдообразовании. Понижение солености поверхностных вод (за счет таяния льда) и сезонное повышение температуры приводили к уменьшению плотности и росту динамического уровня прибрежных вод (например, в 1997 г.).

В зависимости от суровости зимы и интенсивности льдообразования в разные годы выделялось большее или меньшее количество солей. В период с 1996

по 2009 г. значения придонной солености в северо-западном районе во все годы примерно на 0,2 ‰ были выше, чем в северо-восточном районе (рис. 8).

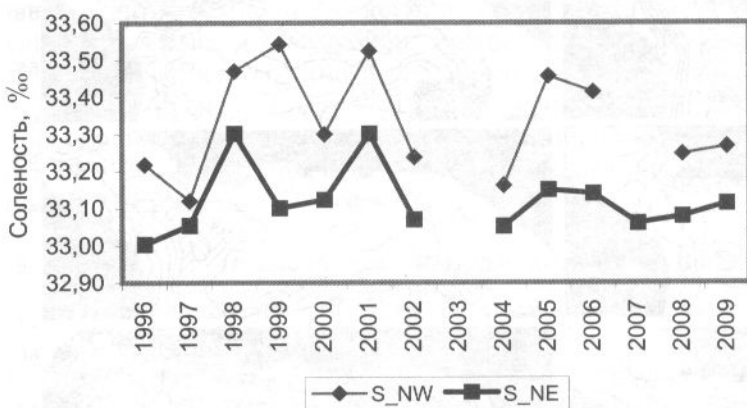


Рис. 8. Межгодовые изменения солености у дна в северо-западном (NW) и северо-восточном (NE) районах

Fig. 8. Year-to-year changes of water salinity at the sea bottom in the northwestern (NW) and northeastern (NE) parts of the Okhotsk Sea

Межгодовые колебания температуры и солености в двух выделенных районах шельфа, положение которых представлено на рис. 1, в основном происходили асинхронно ( $K_k = -0,7$ ). При этом экстремальным значениям солености, как правило, соответствовали экстремумы температуры обратного знака (см. рис. 8 и 9). Так, похолодание в северо-западном районе моря, наблюдавшееся в 1999, 2001 и 2005 гг., сопровождалось соответствующим увеличением солености. Соответственно 1997, 2000, 2002 и 2004 гг. характеризовались низкой соленостью и относительно высокой температурой. Межгодовые колебания температуры ( $K_k = 0,67$ ) в северо-западном и северо-восточном районах происходили согласованно, соответственно также и солености ( $K_k = 0,74$ ).

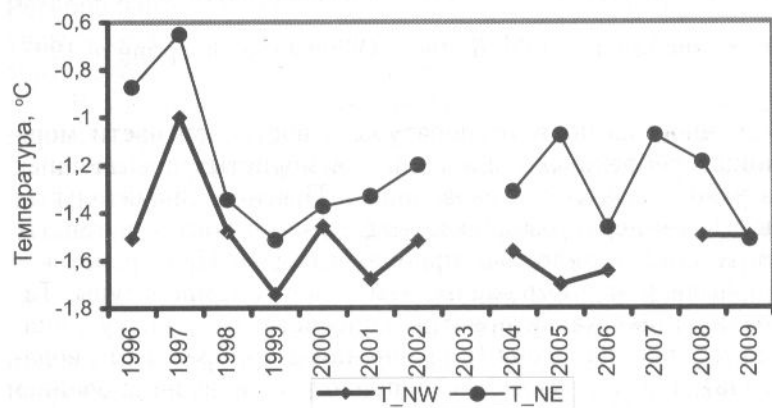


Рис. 9. Межгодовые изменения придонной температуры в северо-западном (NW) и северо-восточном (NE) районах

Fig. 9. Year-to-year changes of water temperature at the sea bottom in the northwestern (NW) and northeastern (NE) parts of the Okhotsk Sea

Максимальный размах межгодовых колебаний температуры (0,75–0,85 °C) и солености (0,30–0,42 ‰) отмечался в 1996–1999 гг., а начиная с 2000 г. он уменьшился и не превышал 0,30–0,40 °C и 0,15–0,30 ‰.

В северо-западном районе увеличение солености происходило не только за счет увеличения абсолютных ее значений, но и вследствие расширения акватории с относительно высокой соленостью (например, в 2001 г.). Следует отметить, что межгодовым изменениям был подвержен весь слой холодных подповерхностных вод северо-западной части моря (см. рис. 7–9).

#### *Суровость метеорологических условий в осенне-зимний период*

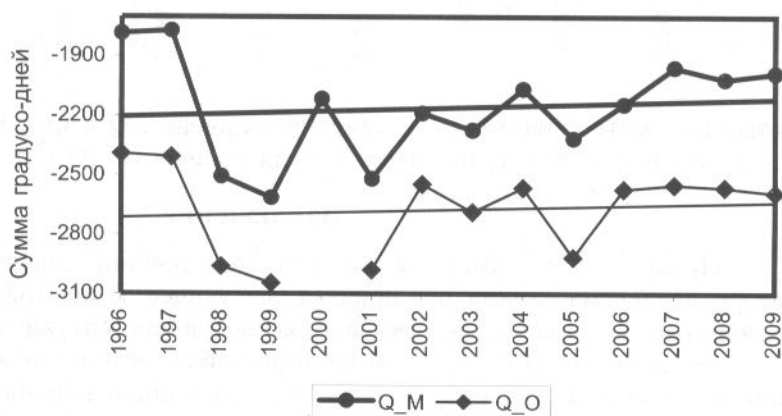
В качестве показателей, отражающих возможное влияние метеорологических условий на формирование полей температуры, солености и плотности вод северной части Охотского моря, были использованы рассчитанные суммы граду-

со-дней мороза ( $Q$ ) и значения турбулентного теплообмена ( $Q_T$ ) поверхности моря и атмосферы для различных временных периодов.

Как видно на рис. 10, в Охотске и Магадане за период с октября по апрель по первому критерию ( $Q$ ) наиболее холодными были 1998–2001 и 2005 гг. Соответственно наиболее теплыми — 1996 и 1997 гг. 2000 г. по данным ГМС Магадан был аномальным. На ГМС Охотск за этот год были большие периоды пропусков данных за январь и февраль, поэтому он был исключен из анализа. Представленные результаты свидетельствуют о том, что этот предиктор (как и ледовитость моря) хорошо согласуется со схемами движения вод только за период 1996–2001 гг. В последующие годы результаты оказались неоднозначными.

Рис. 10. Межго-  
довые изменения  
сумм градусо-дней  
мороза (за октябрь-апрель)  
на ГМС Магадан  
( $Q_M$ ) и Охотск  
( $Q_O$ )

Fig. 10. Year-to-year changes of the sum of air temperature below 0 °C in Magadan ( $Q_M$ ) and Okhotsk ( $Q_O$ ) in October-April (degree-days). Trends are shown



Как показано на рис. 11, интенсивность отдачи тепла от морской поверхности в атмосферу (как сумма за январь-апрель) на ГМС Охотск, как правило, была выше, чем на ГМС Магадан. За весь рассматриваемый период (1996–2009 гг.) на ГМС Магадан и Охотск наблюдались как синхронные, так и асинхронные колебания значений турбулентного теплообмена. За критерий синхронности/асинхронности изменений приняты отклонения значений конкретных лет от линий тренда. Несогласованность межгодовых изменений отмечалась в 1996, 1999, 2001, 2002, 2003, 2007, 2008 гг. Минимальная отдача тепла ( $Q_T$ ) от морской поверхности в атмосферу (на двух рассматриваемых ГМС) отмечена в 1997, 2003, 2004, 2007 и 2008 гг. Было также выполнено сравнение полученных схем течений с межгодовой изменчивостью турбулентного теплообмена на ГМС. В качестве критерия совпадения (например, для второго типа циркуляции вод) приняты повышенные (относительно линии тренда) значения отдачи тепла в атмосферу. Для западного типа циркуляции вод соответственно приняты пониженные значения отдачи тепла в атмосферу. Получено (рис. 11), что на ГМС Магадан число совпадений было существенно выше (10 совпадений из 13), чем на ГМС Охотск, где они разделились примерно поровну (только 6 совпадений).

Следует отметить хорошее совпадение максимумов в многолетнем ходе турбулентного теплообмена (максимум теплопередачи из моря в атмосферу) и накопленных сумм отрицательных температур воздуха на ГМС Магадан и соответствующее этому увеличение солёности в 1998, 1999, 2001, 2005 и 2006 гг. на северо-западном шельфе Охотского моря (см. рис. 8–11). Также хорошо согласуются между собой основные влияющие факторы ( $Q$ ,  $Q_T$ ), пространственные распределения температуры и солёности, а также схемы представленных течений для экстремальных лет (например, 1997 и 2001 гг. на рис. 3, 5, 7–11).

В случаях сходства основных влияющих факторов наблюдалось удивительное подобие пространственных структур поля солёности. Как следствие, были схожи и схемы горизонтальных движений вод. Например, в 2002 и 2008 гг. были

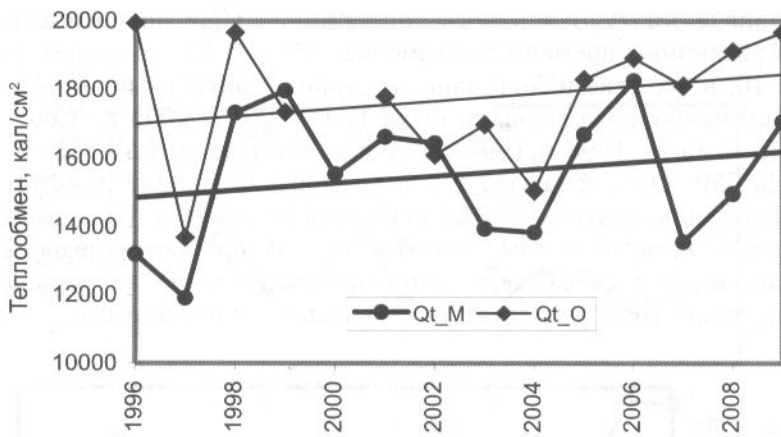


Рис. 11. Межгодовые изменения турбулентного теплообмена за январь-апрель на ГМС Магадан ( $Q_{t\_M}$ ) и Охотск ( $Q_{t\_O}$ )

Fig. 11. Year-to-year changes of turbulent air-sea heat exchange in Magadan ( $Q_{t\_M}$ ) and Okhotsk ( $Q_{t\_O}$ ) in January-April. Trends are shown

подобные метеорологические условия (значения  $Q$  и  $Q_r$ ), придонная температура и соленость, пространственные поля солености, ХПС и поля течений.

### Заключение

Проведенный совместный анализ схем течений северной части моря и метеорологических параметров показал следующее. В межгодовых изменениях циркуляции вод хорошо прослеживаются следующие ситуации:

- на североохотоморском шельфе наблюдается хорошо выраженный антициклонический круговорот вод, вытянутый в широтном направлении, а у северных берегов Охотского моря осуществляется движение вод в восточном направлении (1998, 1999, 2000, 2004–2006 гг.);

- движение вод Северной ветви ЗКТ происходит в западном и северо-западном направлениях, а антициклонический круговорот вод либо отсутствует, либо слабо выражен (1996, 1997, 2002, 2007, 2008, 2009 гг.);

- в аномально холодном и ледовитом 2001 г. на шельфе доминировали потоки восточного направления, а Северная ветвь ЗКТ отклонялась на восток и северо-восток;

- океанологические исследования, проведенные в последние годы, показали, что в период с 2004 по 2009 г. даже в малоледовитые зимы на локальных участках шельфа северной части моря формировались прибрежные течения восточного направления;

- существование течения восточного направления (Восточное Северо-Охотское течение) весной (май — начало июня) у северных берегов Охотского моря является следствием понижения динамического уровня прибрежных вод (увеличения плотности), обусловленного охлаждением вод и ростом солености в ХПС. При этом в северо-западной части моря решающее значение приобретает рост солености прибрежных вод, а в северо-восточной (к югу от п-овов Кони и Пьягина) понижение температуры (по сравнению с теплыми водами Западно-Камчатского течения);

- только в очень теплые годы (например, 1997 и 2007) от пос. Охотск до побережья п-ова Пьягина хорошо выделялись течения западного направления (Северо-Охотское и Ямское), что связано со слабым охлаждением и соответственно незначительным выделением солей при льдообразовании, поэтому весной (в мае — начале июня) происходил более ранний прогрев и распреснение прибрежных вод. Это приводило к росту уровня моря, и течения рано приобретали западное (летнее) направление.

В период с 1996 по 2009 г. хорошо выраженное антициклоническое движение вод над глубоководной частью зал. Шелихова наблюдалось только в 1996–1998, 2000, 2001, 2005, 2007 гг.

Прибрежное Компенсационное течение, следующее у берегов Камчатки на юг, наблюдалось, как правило, при втором типе циркуляции вод (1998–2001, 2006 и 2008 гг.). В 2001 г. это сопровождалось значительной ледовитостью Охотского моря (в феврале — более 80 %). В 2006 г. Компенсационное течение наблюдалось на фоне высокой отдачи тепла зимой от моря в атмосферу.

### Список литературы

- Баталин А.М., Васюкова Н.Г.** Опыт расчета теплового баланса Охотского моря // Тр. Океанографической комиссии АН СССР. — 1960. — Т. 7. — С. 37–51.
- Васильев А.С., Полякова А.М., Храпченков Ф.Ф.** Анализ сезонной изменчивости интегральной циркуляции Охотского моря в связи с основными типами барических систем над его акваторией : препринт. — Владивосток : ТОИ ДВО РАН, 1995. — 35 с.
- Дарницкий В.Б., Лучин В.А.** Особенности горизонтальной структуры климатических течений Охотского моря с месячной дискретностью // Комплексные исследования экосистемы Охотского моря. — М. : ВНИРО, 1997. — С. 19–25.
- Джеймс Р.** Прогноз термической структуры океана : монография. — Л. : Гидрометеоздат, 1971. — 160 с.
- Зубов Н.Н.** Динамическая океанология : монография. — Л. : Гидрометеоздат, 1947. — 430 с.
- Зырянов В.И.** Численный расчет установившихся течений Охотского моря // Тр. ВНИРО. — 1977. — Т. 119. — С. 24–30.
- Карманов Г.Е.** Некоторые особенности динамики западнокамчатских вод в период воспроизводства минтая // Экология и условия воспроизводства рыб и беспозвоночных дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана. — Владивосток : ТИНРО, 1982. — С. 3–10.
- Козлов В.Ф.** Расчет урвенной поверхности в Охотском море // Тр. ДВНИГМИ. — 1972. — Вып. 37. — С. 37–43.
- Лучин В.А.** Диагностический расчет циркуляции вод Охотского моря в летний период // Тр. ДВНИИ. — 1982. — Вып. 96. — С. 69–76.
- Лучин В.А.** Циркуляция вод Охотского моря и особенности ее внутригодовой изменчивости по результатам диагностических расчетов // Тр. ДВНИИ. — 1987. — Вып. 36. — С. 3–13.
- Лучин В.А., Лаврентьев В.М., Яричин В.Г.** Гидрологический режим // Гидрометеорология и гидрохимия морей. — СПб. : Гидрометеоздат, 1998. — Т. 9: Охотское море, вып. 1: Гидрометеорологические условия. — С. 92–175.
- Меновщиков В.А., Пятин О.Г.** Тепловой баланс поверхности моря // Гидрометеорология и гидрохимия морей. — СПб. : Гидрометеоздат, 1998. — Т. 9: Охотское море, вып. 1: Гидрометеорологические условия. — С. 76–91.
- Морошкин К.В.** Водные массы Охотского моря : монография. — М. : Наука, 1966. — 68 с.
- Муктепавел Л.С.** Пространственно-временная изменчивость прибрежных полынй в основных районах нереста охотской сельди // Вопросы промысловой океанологии. — М. : ВНИРО, 2006. — Вып. 3. — С. 314–332.
- Пищальник В.М., Архипкин В.С.** Сезонные вариации циркуляции вод на охотоморском шельфе острова Сахалин // Гидрометеорологические и экологические условия дальневосточных морей: оценка воздействия на морскую среду : тр. ДВНИГМИ. — 1999. — Темат. вып. № 2. — С. 84–95.
- Путов В.Ф., Шевченко Г.В.** Анализ инструментальных наблюдений на шельфе северо-западной части Охотского моря // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. — Южно-Сахалинск, 2001. — С. 36–47.
- Самко Е.В., Глебова С.Ю., Петрук В.М.** Межгодовая изменчивость циркуляции вод Охотского моря у западного побережья Камчатки в весенний период // Метеорология и гидрология. — 2004. — № 12. — С. 63–70.
- Сомов М.М.** Вычисление скоростей течения динамическим методом между гидрологическими станциями различной глубины // Метеорология и гидрология. — 1937. — № 8. — С. 111–114.
- Тютнев Я.А.** О тяжелых ледовых условиях на Черном, Азовском и Каспийском морях зимой 1971/72 г. // Тр. ГМЦ СССР. — 1975. — Вып. 119. — С. 47–53.



**Тютнев Я.А.** Расчет и прогноз ледовых явлений в некоторых портах Азовского и Черного морей // Тр. ЦИП. — 1966. — Вып. 156. — С. 99–104.

**Фигуркин А.Л.** Ледовитость как индикатор термического состояния придонных вод северной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2006. — Т. 145. — С. 259–270.

**Фигуркин А.Л.** Океанологические условия шельфа и склона Охотского моря в холодную половину года и их влияние на нерест минтая : дис. ... канд. геогр. наук. — Владивосток, 2004. — 157 с.

**Фигуркин А.Л., Жигалов И.А., Ванин Н.С.** Океанологические условия в Охотском море в начале 2000-х гг. // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 152. — С. 240–252.

**Хен Г.В., Ванин Н.С., Фигуркин А.Л.** Особенности гидрологических условий в северной части Охотского моря во второй половине 90-х гг. // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 24–43.

**Чернявский В.И.** Циркуляционные системы Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 1981. — Т. 105. — С. 13–19.

**Чернявский В.И., Бобров В.И., Афанасьев Н.Н.** Основные продуктивные зоны Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 1981. — Т. 105. — С. 20–25.

**Чернявский В.И., Жигалов И.А., Матвеев В.И.** Океанологические основы формирования зон высокой биологической продуктивности Охотского моря // Охотское море. Гидрометеорология и гидрохимия. Проект “Моря”. — Л. : Гидрометеиздат, 1993. — Т. 9, вып. 2. — С. 157–160.

**Martin S., Dracker R., Yamashita K.** The production of ice and dense shelf water in the Okhotsk Sea polynyas // J. Geophys. Res. — 1998. — Vol. 103, № C12. — P. 27,771–24,682.

**Mizuta G., Fukamashi Y., Ohshima K., Wakatsutchi M.** Structure and seasonal variability of the East Sakhalin current // J. Phys. Ocean. — 2003. — Vol. 33. — P. 2430–2445.

**Oshima K.I., Nakanowatari T., Nihashi S. et al.** Sea ice production in the Okhotsk Sea and its relation to interannual variability of Okhotsk Sea and North Pacific Intermediate Water // Proc. of the 21<sup>st</sup> Intern. Sympos. on Okhotsk Sea & Sea Ice. — Japan, 2006. — P. 29–32.

**Ustinova E.I., Sorokin Y.D.** Low-frequency oscillations of thermal regime in the Okhotsk Sea and the relationships with large-scale climatic indices // Proc. of the 24<sup>th</sup> Intern. Sympos. on Okhotsk Sea & Sea Ice. — Japan, 2009. — P. 21–25.

**Vasiliev A.S., Khrapchenkov F.F.** Seasonal variability of integral water circulation in the Okhotsk Sea // Pices Scient. — 1996. — Rep. № 6. — P. 158–166.

*Поступила в редакцию 10.02.10 г.*