

УДК 551.46.062.5 (265.5)

Т.А. Шатилина, Р.Б. Кравченко*

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

РЕЗУЛЬТАТЫ КЛАССИФИКАЦИИ ВРЕМЕННОГО РЯДА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В ЮЖНО-КУРИЛЬСКОМ РАЙОНЕ И СВЯЗЬ С РЕГИОНАЛЬНЫМИ АТМОСФЕРНЫМИ ИНДЕКСАМИ

На обширном материале, включающем данные температуры воды на морских акваториях за период 1954–2009 гг., с использованием методов количественного анализа подтверждается гипотеза о влиянии охотского антициклона на термический режим Южно-Курильского района. Кроме того, определяется роль интенсивности дальневосточного муссона в формировании термического режима в области течения Соя и Южно-Курильском районе.

Ключевые слова: метод К-средних, классификация, теплые и холодные режимы, интенсивность охотского антициклона, региональные индексы, значимые связи температуры воды с индексами.

Shatilina T.A., Kravchenko R.B. Results of classifying for SST time series in the South Kuril region and their correlation with regional atmospheric indices // *Izv. TINRO.* — 2013. — Vol. 172. — P. 208–223.

Groups of years with different thermal conditions in the South Kuril region (SKR) are defined by the K-averages method on the base of SST data for the period 1960–2009. The most significant difference is noted between the 1980s (cold mode) and the 2000s (warm mode). Inter-decadal changes of the thermal regime are detected and compared with the changes of the sea level atmospheric pressure over the Okhotsk Sea, described by the index of the Okhotsk High (OH) intensity. Abnormally cold thermal regime in the SKR is formed in the periods of strong OH, but recently the tendencies of the OH weakening and SST heightening are observed. Changes of water temperature correlate significantly with some other regional atmospheric indices, as well, as the indices of the Far-Eastern monsoon intensity and parameters of the main centers of high and low atmospheric pressure. The links between SST and OH intensity are the strongest but different for certain types of thermal regime: for the SKR, SST has the best correlation with the OH intensity in June, but it is stronger in cold periods ($r = -0.70$) than in warm ones ($r = -0.56$); for the adjacent area of the Soya Current, SST correlation with the OH intensity in cold periods is the highest in June ($r = -0.52$), but in warm periods — in July ($r = -0.64$). Physical mechanisms of all links are explained

Key words: K-averages method, classification, thermal regime, Okhotsk High intensity, regional index of atmospheric circulation, correlation significance.

* Шатилина Татьяна Александровна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, e-mail: shatilina@tinro.ru; Кравченко Римма Борисовна, инженер-программист, e-mail: r_kravchenko@tinro.ru.

Shatilina Tatyana A., Ph.D., senior researcher, e-mail: shatilina@tinro.ru; Kravchenko Rimma B., software engineer, e-mail: r_kravchenko@tinro.ru.

Введение

Южно-Курильский район (ЮКР) — один из промысловых районов Дальнего Востока. В летний период здесь основным объектом промысла является сайра *Cololabis saira*. Распределение сайры, величина ее вылова и сроки работы экспедиции в районе южных Курильских островов зависят от особенностей изменчивости гидрометеорологических процессов.

Основные черты влияния гидрометеорологических процессов на формирование промысловых скоплений сайры и возможности прогнозирования сроков начала и конца промысла сайры широко освещены в литературе (Новиков, 1966; Завернин, 1967, 1969; Саблин, Павлычев, 1981; Воронина, Куксова, 1983; Воронина, Павлычев, 1984; Кун, 1984; Шатилина, 1984, 1986, 1998; Каредин, 1989; Павлычев и др., 1989), причем был сделан вывод, что сокращение вылова сайры происходит вследствие преобладания у южных Курильских островов холодных охотоморских вод (Шатилина, 1984). Сроки конца промысла определяются особенностями температурного режима в августе. Выявлена роль течения Соя в формировании термического режима в ЮКР (Яковлев и др., 1986; Бобков, 1989, 1990).

Ранее (Шатилина, 1984) была выяснена роль охотского антициклона в формировании термического режима ЮКР для периода 1961–1980 гг. по данным температуры воды на ГМС Южно-Курильск и Курильск. Данные анализа термического режима по ГМС были сопоставлены с аномалиями в повторяемости типов синоптических процессов в холодные и теплые годы. Отмечено, что в холодные годы над Охотским морем и Курильскими островами часто наблюдалась область высокого давления, получившая название охотский антициклон, который является определяющим в формировании погоды на Дальнем Востоке (Ильинский, 1959). В годы, когда температура воды была выше нормы, область высокого давления смещалась в северо-западную часть Тихого океана.

Данная работа является продолжением поиска закономерностей формирования термического режима вод, омывающих южные Курильские острова. В ней на обширном материале, включающем данные температуры воды на морских акваториях за период 1954–2009 гг., и с использованием методов количественного анализа подтверждается гипотеза о влиянии охотского антициклона на режим Южно-Курильского района. Кроме того, определяется роль интенсивности дальневосточного муссона в формировании термического режима в области течения Соя и ЮКР.

Наша задача — выявить изменчивость термического режима в современный период на основе количественного анализа временного ряда температуры воды в юго-западной части Охотского моря (в области течения Соя) и ЮКР, найти количественную связь между температурой воды и региональными атмосферными процессами (интенсивностью охотского антициклона, характеристиками дальневосточного муссона и центрами действия атмосферы в Азиатско-Тихоокеанском регионе).

Материалы и методы

Источником информации о температуре поверхности океана (ТПО) послужил архив ЖМА, содержащий декадные данные по ТПО в одноградусной сетке с 1954 г. и оперативно пополняемый в реальном режиме времени. Средние многолетние значения и средние квадратические отклонения от них для используемых в работе параметров рассчитаны за базовый период 1971–2000 гг.

Анализ изменчивости температуры воды на поверхности проводился в юго-западной части Охотского моря в области течения Соя (45°30'–47°30' с.ш. 143°30'–146°30' в.д.) и в Южно-Курильском районе (42°30'–44°30' с.ш. 146°30'–149°30' в.д.). Это сравнительно небольшие локальные районы.

На начальной стадии исследования был применен один из методов кластерного анализа — объединение (древовидная кластеризация). Назначение этого алгоритма состоит в объединении объектов в достаточно большие кластеры по принципу некоторой меры сходства или расстояния между объектами. В качестве меры расстояния было

взято евклидово расстояние. Для объединения кластеров выбран метод Варда. Результатом такой кластеризации стало иерархическое дерево, по которому и было установлено количество кластеров (ветвей). Для дальнейшего исследования был использован метод К-средних, который существенно отличается от предыдущего тем, что мы уже имеем гипотезу относительно числа кластеров, определяемых по иерархическому дереву. В нашем случае задаем количество классов, равное пяти. Когда результаты кластерного анализа методом К-средних были получены, рассчитывались средние значения температур для каждого кластера за каждый месяц для того, чтобы оценить, насколько кластеры различаются друг от друга. На примере средних температур воды августа для каждого кластера (рис. 1) прослеживается разница температур между классами, о чем свидетельствуют значения F -статистики, полученные для каждого измерения.

В качестве региональных атмосферных индексов были использованы характеристики, рассчитанные ранее (Шатилина, Анжина, 2011). Для расчета характеристики циркуляции атмосферы в центрах действия атмосферы (ЦДА) и индексов муссона были выбраны следующие районы: 1 — регион Азии ($40-60^{\circ}$ с.ш. $90-140^{\circ}$ в.д.), 2 — регион Тихого океана (ТО) ($40-60^{\circ}$ с.ш. $140-200^{\circ}$ в.д.), 3 — район юго-восточной Азии (ЮВА) ($30-45^{\circ}$ с.ш. $100-130^{\circ}$ в.д.), 4 — регион северо-западной части Тихого океана (СЗТО) ($30-45^{\circ}$ с.ш. $130-160^{\circ}$ в.д.), 5 — район летней дальневосточной депрессии (ЛДД) ($40-55^{\circ}$ с.ш. $115-135^{\circ}$ в.д.). Был рассчитан индекс взаимодействия для заданных (1 и 2-м) глобальных районов (Гкр). Интенсивность первой стадии летнего муссона характеризовалась индексом взаимодействия охотского антициклона и дальневосточной депрессии (Gox). Вторая стадия летнего муссона характеризовалась индексом взаимодействия между районом северо-западной части Тихого океана (СЗТО — 4-й район) и ЛДД (Ггв). Для описания субтропической ветви летнего муссона был рассчитан индекс взаимодействия между районом СЗТО и районом юго-восточной Азии (Гюж).

Поиск значимых связей температуры воды в области течения Соя и ЮКР за период 1954–2009 гг. с упомянутыми региональными атмосферными предикторами производился отдельно для холодных и теплых лет, выявленных методом кластер-анализа.

Вычисления проведены в программе Статистика Р.Б. Кравченко.

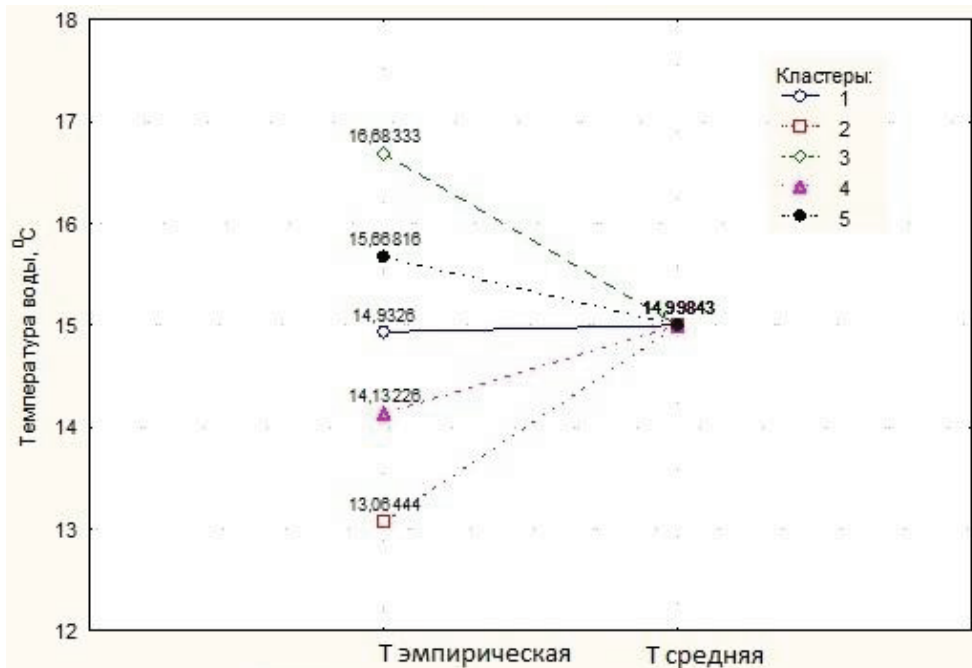


Рис. 1. Пример классификации температуры воды в ЮКР в августе

Fig. 1. Example of SST conditions classification for the South Kuril Region in August

Результаты и их обсуждение

Результаты классификации временного ряда температуры воды в области течения Соя в летний период приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты классификации методом К-средних временного ряда (56 наблюдений) температуры воды в области течения Соя в июне-сентябре

Table 1

Results of classifying the SST time series (56 observations) by the K-averages method for the Soya Current area in June-September

Класс	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
1	1955, 1956, 1958, 1961, 1963, 1965, 1971, 1974, 1975, 1979, 1982, 1986, 1989, 1992, 2000, 2001, 2007, 2008, 2009	1957, 1962, 1970, 1974, 1982, 1985, 1987, 1989, 1993, 1996, 1998, 2002, 2003, 2004	1956, 1958, 1962, 1967, 1968, 1970, 1972, 1973, 1974, 1977, 1979, 1982, 1984, 1985, 1986, 1989, 1990, 1996, 1998, 2001, 2008, 2009	1954, 1959, 1963, 1967, 1976, 1979, 1982, 1984, 1988, 1991, 1995, 1997, 1998, 2001, 2003, 2009
2	1959, 1967, 1970, 1972, 1973, 1985, 1987, 1988, 1990, 1991, 1994, 1995, 1996, 1998, 1999, 2002, 2003, 2004, 2005	1958, 1963, 1968, 1972, 1973, 1980, 1991, 1994, 1999, 2001, 2005, 2006, 2007, 2008	1955, 1960, 1961, 1963, 1978, 1994, 1995, 1999, 2007	1955, 1960, 1962, 1974, 1977, 1978, 1986, 1990, 1994, 1996, 2000, 2005
3	1954, 1957, 1960, 1964, 1966, 1976, 1977, 1978, 1980, 1981, 1993, 1997, 2006	1954, 1956, 1960, 1965, 1967, 1971, 1975, 1976, 1977, 1979, 1981, 1988, 1992	1957, 1959, 1965, 1966, 1971, 1975, 1976, 1980, 1983, 1987, 1988, 1991, 1997, 2003	1957, 1958, 1964, 1965, 1966, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1975, 1980, 1983, 1985, 1993, 2002, 2004
4	1962, 1968, 1984	1955, 1959, 1961, 1978, 1984, 1990, 1995, 2000	2000, 2004, 2005, 2006	1956, 1961, 1973, 1999, 2006, 2007, 2008
5	1969, 1983	1964, 1966, 1969, 1983, 1986, 1997, 2009	1954, 1964, 1969, 1981, 1992, 1993, 2002	1981, 1987, 1992

Примечание. Здесь и в табл. 2 в 1-й класс входят годы, близкие к норме, во 2-й — теплые, 3-й — холодные, 4-й — экстремально теплые и 5-й — экстремально холодные.

В июне-сентябре в первый класс входят годы, когда аномалии температуры воды не превышают 1,0 °С, во второй и третий — годы, когда аномалии температуры воды варьируют от 0,8 до 1,4 °С. Особый интерес представляют экстремальные годы. Так, июнь в области течения Соя был экстремально теплым всего три года (1962, 1968 и 1984), аномалии температуры воды изменялись от 1,5 до 2,0 °С. А экстремально холодным июнь в этом районе был в 1969 и 1983 гг., аномалия поверхностной температуры воды составляла минус 1,8 °С. Экстремальный июль бывает чаще, экстремально теплыми были 1955, 1959, 1961, 1978, 1984, 1990, 1995 и 2000 гг. (аномалии температуры воды в эти годы изменялись от 1,5 до 2,0 °С), а экстремально холодными — 1964, 1966, 1969, 1983, 1986, 1997 и 2009 гг. (аномалии изменялись от минус 1,2 до 2,0 °С). Самый холодный июль отмечен в 1964 и 1983 гг. Экстремально теплый август наблюдался в 2000, 2004, 2005 и 2006 гг. (аномалии изменялись от 1,7 до 2,0 °С), а экстремально холодный — в 1954, 1964, 1969, 1981, 1992, 1993 и 2002 гг. (аномалии изменялись от минус 1,5 до 2,7 °С). Август 2002 г. был самым холодным для всего исследуемого временного ряда.

Экстремально теплый сентябрь наблюдался в 1956, 1961, 1973, 1999, 2006, 2007, 2008 гг., из этих лет самая высокая температура воды в области течения Соя зафик-

сирована в 2006, 2007 и 2008 гг., аномалии температуры воды составляли 2,0–2,3 °С. Экстремально холодный сентябрь был в 1981, 1987 и 1992 гг., аномалии температуры воды изменялись от минус 1,5 до минус 2,2 °С.

В 1980-е гг. преобладали холодные или близкие к норме сентябри. Среди 2000-х гг. только два года отличались холодным сентябрем — 2002 и 2004.

Нас интересуют также различия в термическом режиме по десятилетиям: 1960–1969, 1970–1979, 1980–1989, 1990–1999 и 2000–2009 гг. На рис. 2 видно, что самым теплым было первое десятилетие 21-го века, а экстремально теплым в этом десятилетии был сентябрь. Экстремально холодным было десятилетие 1980-х гг., а самыми холодными месяцами в нем — сентябрь и октябрь. Экстремально холодным был июль 1960-х гг., 1970-е и 1990-е гг. занимают промежуточное положение между экстремальными десятилетиями. Надо также заметить, что в 1990-е гг. наблюдался рост температуры воды осенью, максимальный рост зафиксирован в ноябре.

Результаты классификации термического режима в ЮКР представлены в табл. 2.

Как и в области течения Соя, холодный июнь чаще демонстрируют 1980-е гг., а теплый — 2000-е. Из данных табл. 2 видно, что июль в ЮКР экстремально холодным был в 1966, 1983 и 1985 гг., а экстремально теплым — в 1955, 1959, 1961, 1978 и 2000 гг. Можно также заметить, что экстремальность режима от июня к июлю не сохраняется, кроме очень холодных для обоих месяцев 1966 и 1983 гг. Август, как и июль, экстремально теплым и теплым был в 1955, 1961, 1978 и 2000 гг. В 1980-е гг. не отмечено ни одного аномально теплого года. Большинство теплых лет наблюдались в 2000-е гг. Сентябрь оставался экстремально теплым в 1999, 2007 и 2008 гг.

Таким образом, как и в юго-западной части Охотского моря, в ЮКР хорошо различаются периоды 1980-х и 2000-х гг., в другие периоды отмечаются как экстремально холодные, так и экстремально теплые годы. Очень часто среди экстремально теплых лет был 1961, а среди экстремально холодных — 1954, 1964, 1966 и 1969 гг.

Описанные результаты классификации отражаются на кривых внутригодовой изменчивости аномалий температуры воды в Южно-Курильском промышленном районе по десятилетиям (рис. 3). Заметим, что в этот график были включены данные по десятилетиям за все месяцы (классификация температуры воды весной и зимой не производилась). Это позволит нам увидеть особенности термического режима в первое десятилетие 21-го века, характеризующегося глобальным потеплением.

На рис. 3 видно, что для 2000-х гг. характерны холодная зима и весна и самые теплые август и сентябрь. В 1980-е гг. самыми холодными были июль и август.

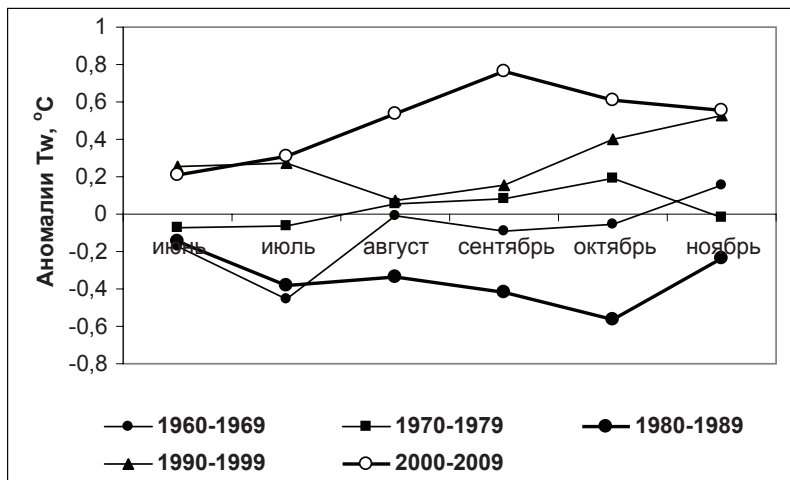


Рис. 2. Внутригодовая изменчивость аномалий температуры воды (T_w) в области течения Соя по десятилетиям

Fig. 2. Seasonal variation of SST anomalies in the Soya Current area, by decades (1960s, 1970s, 1980s, 1990s, and 2000s)

Таблица 2

Результаты классификации методом К-средних временного ряда (56 наблюдений) температуры воды в ЮКР в июне-сентябре

Table 2

Results of classifying the SST time series (56 observations) by the K-averages method for the South Kuril Region in June-September

Класс	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
1	1955, 1956, 1958, 1963, 1967, 1978, 1982, 1987, 1990, 1994, 1999, 2002, 2005, 2009	1956, 1958, 1960, 1965, 1967, 1970, 1971, 1972, 1974, 1989, 1993, 1994, 1995, 1996, 2003, 2005, 2006, 2008, 2009	1954, 1956, 1957, 1962, 1965, 1966, 1967, 1968, 1970, 1972, 1973, 1974, 1975, 1977, 1979, 1982, 1984, 1986, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1994, 1995, 1998, 2001, 2009	1955, 1957, 1958, 1959, 1960, 1963, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969, 1970, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1979, 1980, 1982, 1984, 1986, 1988, 1989, 1990, 1991, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 2001, 2002, 2003, 2009
2	1961, 1972, 1984, 1988, 1992, 1996, 2000, 2003, 2004, 2007	1957, 1962, 1963, 1968, 1969, 1973, 1977, 1982, 1984, 1990, 1991, 1992, 1998, 1999, 2001, 2002, 2004	1955, 1960, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008	1956, 1961, 1962, 1977, 1978, 2000, 2005, 2006
3	1954, 1964, 1965, 1969, 1970, 1971, 1974, 1975, 1976, 1979, 1985, 1995, 1997, 1998, 2001, 2008	1954, 1964, 1975, 1976, 1979, 1980, 1981, 1986, 1987, 1988, 1997, 2007	1958, 1959, 1969, 1971, 1976, 1980, 1981, 1983, 1987, 1993, 1996, 1997, 2003	1954, 1971, 1983, 1985, 1987, 2004
4	1959, 1962, 1968, 1973, 1991	1955, 1959, 1961, 1978, 2000	1961, 1963, 1978, 1999, 2000	1999, 2007, 2008
5	1957, 1960, 1966, 1977, 1980, 1981, 1983, 1986, 1989, 1993, 2006	1966, 1983, 1985	1964, 1985, 2002	1964, 1981, 1992

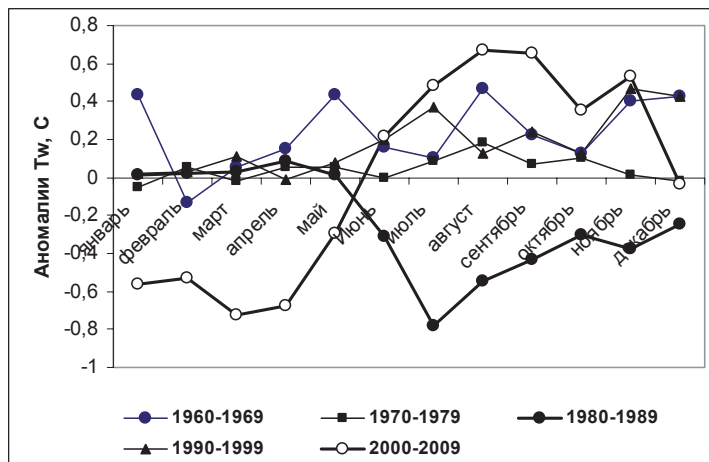


Рис. 3. Внутригодовая изменчивость аномалий температуры воды (T_w) в Южно-Курильском районе в апреле-октябре по десятилетиям

Fig. 3. Seasonal (April-October) variation of SST anomalies in the South Kuril Region, by decades (1960s, 1970s, 1980s, 1990s, and 2000s)

При сравнении данных классификации (см. табл. 1 и 2) в июне-сентябре видно, что экстремальные термические режимы в обоих районах не всегда совпадают. Особенно это касается 2000-х гг. Экстремальных термических режимов в этот период больше в юго-западной части Охотского моря. Надо отметить совпадение экстремально теплых режимов в июле и в августе 2000 г.

Июнь в обоих районах аномально холодным был в 1957, 1960, 1966, 1980, 1981, 1983, 1993 и 2006 гг. В области течения Соя наблюдалось больше лет с холодным июлем, из них 1966 и 1983 гг. были также экстремально холодными в прибрежных районах южных Курильских островов. Наибольшее количество лет с холодным августом отмечалось в ЮКР. Для сентября, как и для августа, большинство холодных лет совпадает в обоих районах, что может означать единый механизм формирования режима холодных лет.

На основании проведенной классификации и выделения групп с различными термическими режимами можно определить влияние характера атмосферной циркуляции на термический режим прежде всего охотского антициклона.

В качестве количественной характеристики интенсивности охотского антициклона воспользуемся данными нормированного приземного давления (δP_0) над акваторией Охотского моря (рис. 4).

В июне максимальная интенсивность охотского антициклона (ОА) наблюдалась в 1954, 1968, 1974, 1981, 1983 (экстремально высокое значение), 1985, 1989, 1993 гг., в июле — в 1954, 1956, 1986, 1988, 1991, 1993, 1998 и 2003 гг. (экстремальное значение). В августе наибольшая интенсивность ОА отмечалась в 1969, 1971, 1980, 1987, 1998 и 2002 гг., а в сентябре — в 1968, 1972, 1983, 1983, 1985, 1988, 1990 и 1992 гг. Заметно, что в последние годы наблюдается тенденция к уменьшению интенсивности ОА. В июне минимальные значения δP_0 наблюдались в 1955, 1958, 1965, 1978, 1999, 2003,

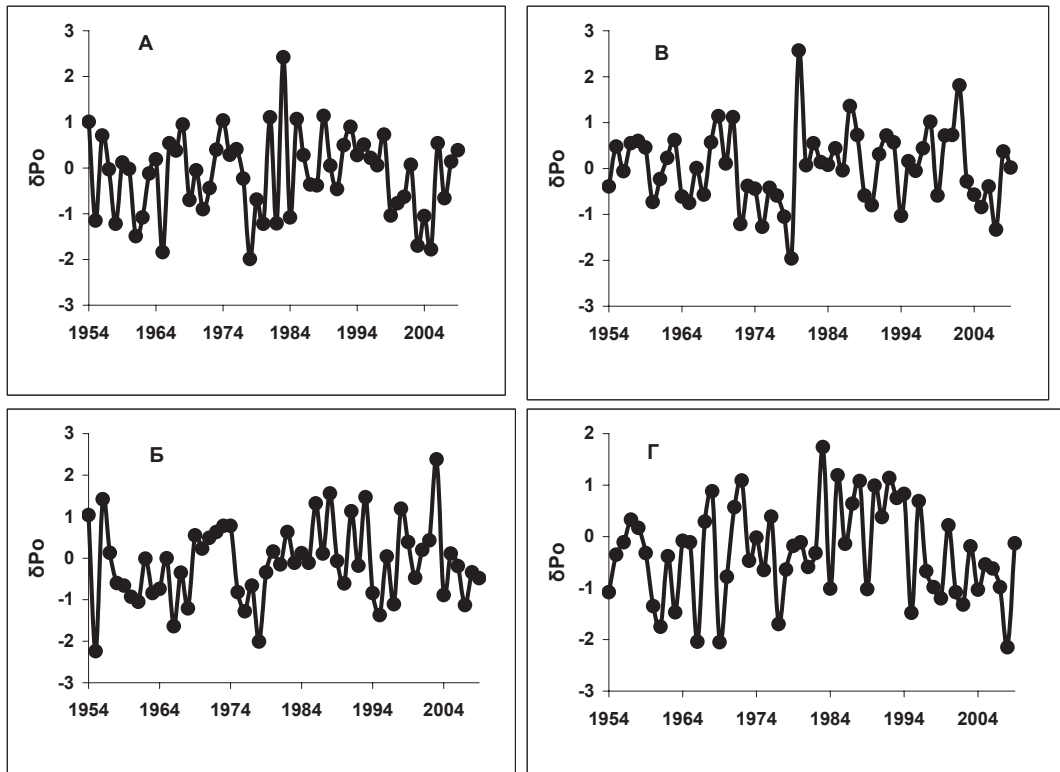


Рис. 4. Межгодовая изменчивость нормированных значений приземного давления (δP_0) над Охотским морем в июне (А), июле (Б), августе (В) и сентябре (Г)

Fig. 4. Year-to-year changes of normalized atmospheric pressure at the sea surface (δP_0) over the Okhotsk Sea in June (A), July (Б), August (В), and September (Г)

2004, 2005 гг., в июле — в 1955, 1978, 1995, 1997, 2007, в августе — в 1972, 1975, 1979, 1994, 2007, в сентябре — в 1966, 1969, 1977 и 2008 гг. На рис. 5 представлены карты среднемесячного давления на уровне моря над Охотским морем и прилегающими районами в годы аномально низкой и аномально высокой интенсивности ОА.

Сопоставление вышеупомянутых нормированных значений приземного давления, характеризующих интенсивность ОА, с аномалиями температуры воды показало, что в годы высокой интенсивности ОА формируются аномально холодные термические режимы. Так, 1983 г. был экстремально холодным в ЮКР (аномалии температуры воды в июне-сентябре составляли соответственно $-1,2$, $-2,4$, $-1,1$ и $-0,9$ °С) и в области течения Соя ($-1,80$, $-2,10$, $-1,00$, $-0,65$ °С). Был холодным в области течения Соя и ЮКР и 2003 г. (аномалии температуры воды в области течения Соя в июне-сентябре составляли соответственно $-0,46$, $-0,12$, $-0,90$ и $-0,30$, а в ЮКР — $-0,66$, $-0,02$, $-0,80$ и $-0,36$ °С). Август 2002 г. был экстремально холодным в области течения Соя и ЮКР (аномалии составляли $-2,68$). Если над Охотским морем преобладает низкое давление, а это происходит, когда циклоны, формирующие летнюю дальневосточную депрессию, выходят на Охотское море, то температура воды в эти годы увеличивается и в отдельные годы

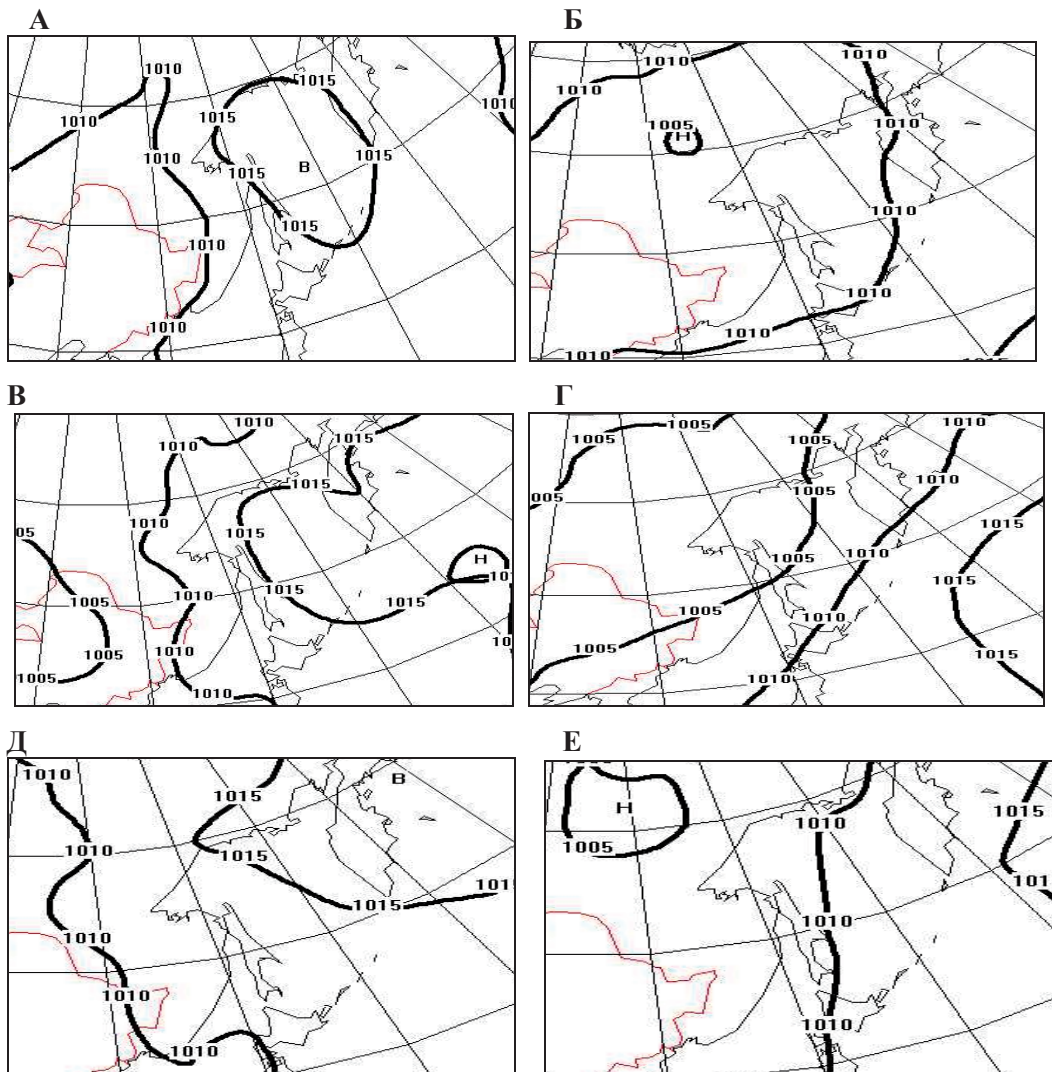


Рис. 5. Карты среднемесячного давления на уровне моря в июне 1983 (А), июне 2004 (Б), июле 2003 (В), июле 1978 (Г), августе 2002 (Д) и августе 2006 (Е) гг.

Fig. 5. Charts of the monthly average atmospheric pressure at the sea level in June 1983 (A), June 2004 (Б), July 2003 (В), July 1978 (Г), August 2002 (Д), and August 2006 (Е)

достигает экстремальных значений. Такие барические ситуации представлены на рис. 5 (Б, Г и Е) (2004, 1978 и 2006 гг.). Эти годы были экстремально теплыми.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о значительной роли охотского антициклона в формировании термических режимов в юго-западной части Охотского моря и Южно-Курильском районе Тихого океана. Это подтверждается высокими коэффициентами корреляции между интенсивностью ОА и Gox в июне и июле (табл. 3, 4).

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между атмосферными индексами в апреле-августе и температурой воды в июле-сентябре в области течения Соя в 1954–2009 гг.

Table 3

Correlation coefficients between atmospheric indices in April-August and SST in the Soya Current area in July-September of 1954–2009

Индекс	Месяц	Июль Тепл. реж.	Июль Хол. реж.	Август Тепл. реж.	Август Хол. реж.	Сентябрь Тепл. реж.	Сентябрь Хол. реж.
Gox	Апрель Май Июнь	0,35	-0,37		0,51	0,49	
Gгв	Апрель Май		-0,51	-0,31	0,35		0,41
Gюж	Апрель Май		-0,48	-0,30			0,42
Gкр	Апрель					0,36	
δРо Ох	Июнь Июль	-0,64	-0,52	-0,36			
δРо ЛДД	Май Июнь Июль			-0,33	-0,54		-0,35
δРо СЗТО	Апрель Май		-0,47	-0,52		-0,50	0,37
δРо ЮВА	Май Июнь Август					-0,53	-0,37 -0,35
δРо Азии	Апрель Май Июнь Июль				-0,31	-0,50	-0,49
δРо ТО	Апрель				-0,35		
δРо СЗТО	Август				0,35		-0,36

Примечание. Здесь и далее выделены значимые связи более 0,50.

Заметим, что поиск корреляционных связей проводился отдельно для классов теплых и холодных лет (эти классы представлены не аномалиями, а значениями температуры воды), так как корреляционная связь между всеми данными (без разделения режимов) оказалась практически незначимой (данные не приводятся).

Для класса теплых лет в июле получена отрицательная связь с интенсивностью ОА в июле (-0,64): чем ниже интенсивность ОА, тем выше температура воды в области течения Соя (эта связь подтверждается на примере июля 1978 г.). Для класса холодных лет в июле в области течения Соя значимая связь (-0,52) получена с интенсивностью ОА в июне (она подтверждается на примере июня 1983 г.). Более тесная связь (-0,70) для холодных лет в июле с интенсивностью ОА в июне получена для ЮКР (табл. 4).

Представленные в табл. 3 и 4 данные подтверждают гипотезу о значительном влиянии интенсивности охотского антициклона на термический режим вод, прилегающих к

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между атмосферными индексами в апреле-сентябре и температурой воды в июле-сентябре в ЮКР в 1954–2009 гг.

Table 4

Correlation coefficients between atmospheric indices in April-August and SST in the South Kuril Region in July-September of 1954–2009

Индекс	Месяц	Июль	Июль	Август	Август	Сентябрь	Сентябрь
		Тепл. реж.	Хол. реж.	Тепл. реж.	Хол. реж.	Тепл. реж.	Хол. реж.
Gox	Апрель		-0,38			0,33	
	Май				0,36		
	Июнь		-0,46				
	Август				-0,34		
Gгв	Апрель		-0,43				
	Июнь			0,37			
	Июль		-0,57				
Gюж	Апрель		-0,42				
	Май		-0,34				
	Июль		-0,39				
Gкр	Апрель	0,33	-0,45				
δP_o Ох	Июнь		-0,70	-0,56			
	Июль	-0,34		-0,44			
	Август				-0,34		
	Сентябрь					-0,44	
δP_o ЛДД	Апрель		0,39			-0,44	
	Июнь			-0,36			
	Июль		0,46				
δP_o СЗТО	Апрель			-0,37		-0,48	
	Май		-0,34			-0,31	-0,32
	Июль					-0,37	
δP_o ЮВА	Апрель		0,59			-0,33	
δP_o Азии	Апрель		0,45			-0,38	
	Июнь			-0,34			
δP_o ТО	Апрель			-0,31			
	Май		-0,32				
	Июль			-0,33			0,38
	Август				-0,34		
	Сентябрь						-0,34

южным Курильским островам. Хочется отметить, что природа охотского антициклона как самостоятельного барического центра действия атмосферы изучена крайне слабо. Это специальная метеорологическая проблема, требующая отдельного исследования. Влияние на его развитие подстилающей поверхности моря не установлено. Возможно, охотский антициклон обуславливается крупномасштабной циркуляцией над северным полушарием и связан с положением ложбин и гребней над 2-м естественным синоптическим районом.

Кроме того, на термический режим юго-западной части Охотского моря и южных Курильских островов оказывают воздействие атмосферные процессы, протекающие в южных и умеренных районах Дальнего Востока, описываемые интегральными характеристиками приземной циркуляции в ЦДА и количественными оценками муссонной циркуляции.

В табл. 3 и 4 представлены значимые корреляционные связи между температурой воды в области течения Соя и ЮКР и индексами Gгв, Gюж, Gкр и δP_o над СЗТО, ЮВА, над Азией, Тихим океаном в апреле-августе. Из данных табл. 3 видно, что существует значимая связь между гавайским индексом в апреле и холодными в июле годами: чем выше этот индекс (он характеризует интенсивность гребня гавайского антициклона), тем ниже температура воды в июле. Для класса теплых лет в августе получена обратная

связь с δP_0 над СЗТО в апреле, т.е. чем выше в апреле давление над СЗТО, тем ниже температура воды в области течения Соя в августе. Попытаемся представить механизм этой связи. Для этого рассчитаем аномалии давления и температуры воздуха над центральным районом 2-го естественного синоптического района (120–165° в.д. 30–65° с.ш.) для экстремально холодных и экстремально теплых лет. На рис. 6 представлены аномалии приземного давления и приземной температуры воздуха на 45 и 50° с.ш. в холодные режимы 1983 и 2002 гг., а на рис. 7 — в теплые режимы 1978 и 2006 гг.

Противофазное распределение аномалий давления и температуры воздуха наблюдается в апреле, июле и августе. Чем интенсивнее развит гавайский гребень в апреле, тем более он ослаблен летом, а над Охотским морем в этом случае усиливается интенсивность ОА.

На рис. 7 представлена изменчивость аномалий давления и температуры воздуха в экстремально теплые годы.

Видно, что если в апреле над Охотским морем и прилегающими районами ослаблено влияние гребня гавайского антициклона (усиливается циклоническая активность), то летом усиливается влияние гавайского антициклона и ослабляется интенсивность ОА. Эти процессы способствуют переносу теплых воздушных масс и росту температуры воды и воздуха над областью течения Соя и ЮКР.

Данные о межгодовой изменчивости интегральной атмосферной циркуляции над СЗТО и ЮВА в апреле и июле 1954–2008 гг. (рис. 8) подтверждают влияние этих процессов на термический режим вод в исследуемых районах.

Видно, что в апреле над СЗТО хорошо выражена тенденция спада давления (ослабляется влияние гребня гавайского антициклона), а над ЮВА — рост (усиливается влияние азиатского антициклона). В июле над СЗТО тренд в изменении нормированных значений приземного давления отсутствует, а над Азией он ярко выражен (продолжается усиление влияния азиатского антициклона). Период после 1976 г. характеризуется

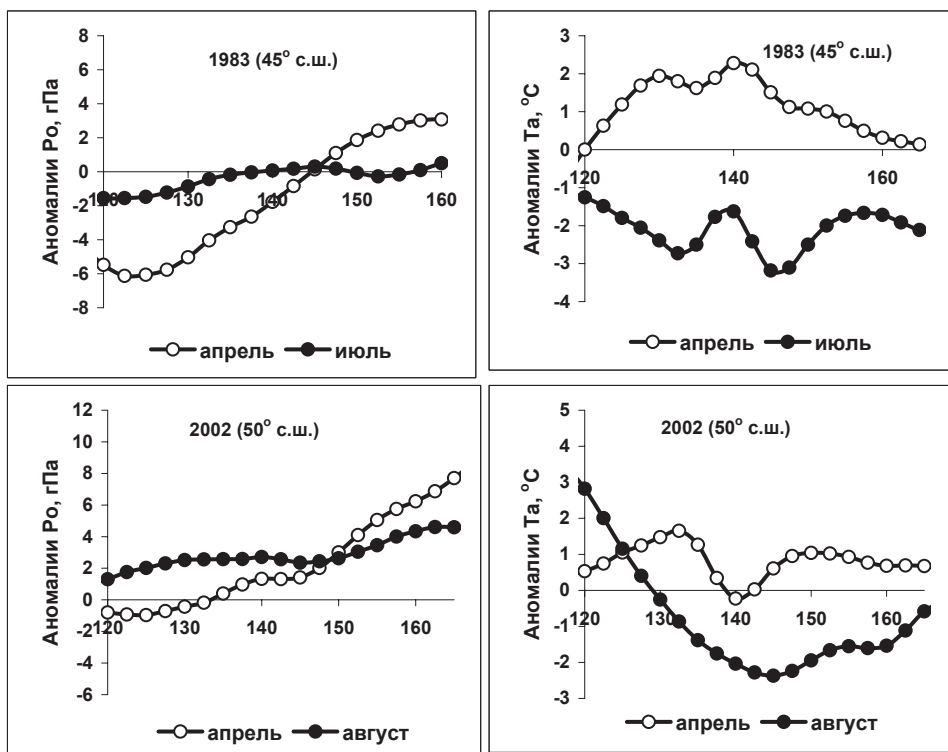


Рис. 6. Изменчивость аномалий приземного давления и температуры воздуха вдоль 120–165° в.д. на 45 и 50° с.ш. в апреле и июле 1983 г. и апреле и августе 2002 г.

Fig. 6. Variations of air temperature and normalized atmospheric pressure at the sea surface along 45°N and 50°N between 120–165°E in April and July 1983 and April and August 2002

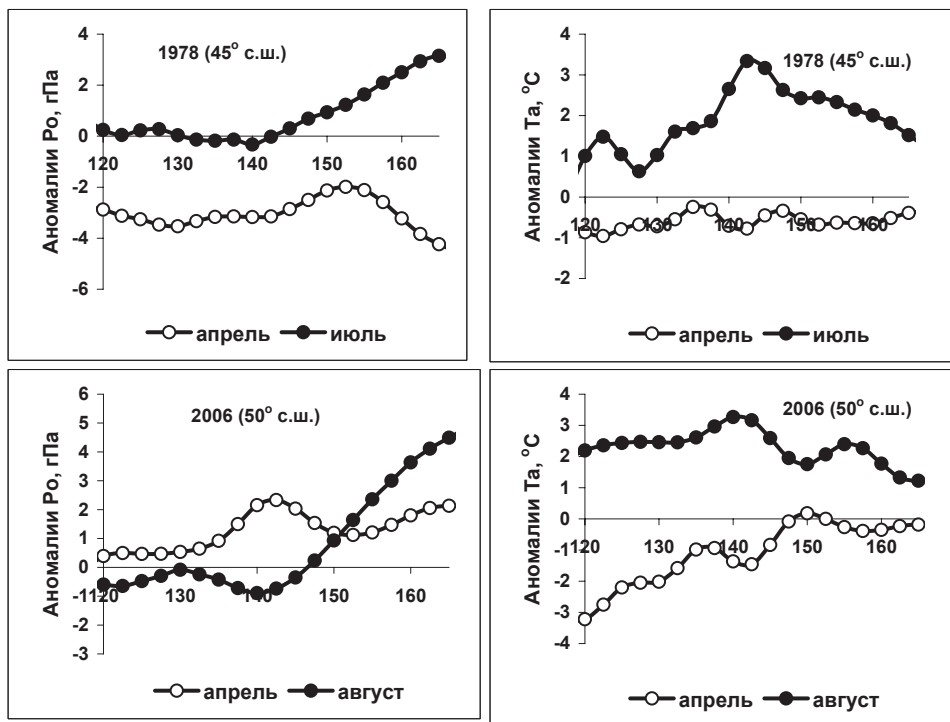


Рис. 7. Изменчивость аномалий приземного давления и температуры воздуха вдоль 120–165° в.д. на 45 и 50° с.ш. в апреле и июле 1978 г. и апреле и августе 2006 г.

Fig. 7. Variations of air temperature and normalized atmospheric pressure at the sea surface along 45°N and 50°N between 120–165°E in April and July 1978 and April and August 2006

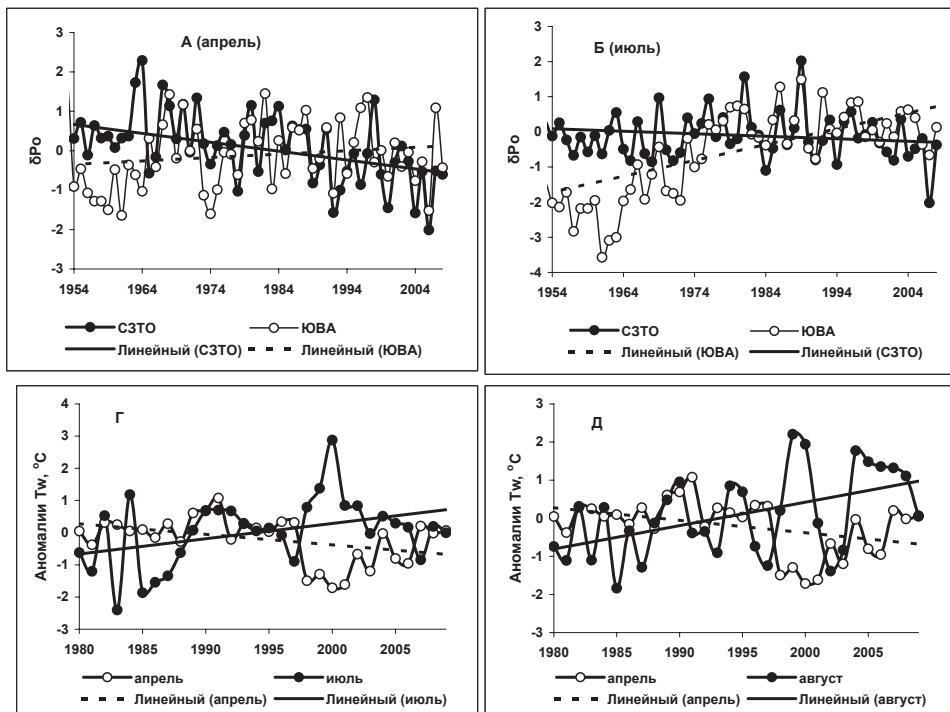


Рис. 8. Межгодовая изменчивость нормированного давления над СЗТО и ЮВА (А, Б) и аномалий температуры воды в ЮКР в апреле и июле (Г), апреле и августе (Д)

Fig. 8. Year-to-year changes of normalized atmospheric pressure at the sea surface over the North-West Pacific and South-East Asia (А, Б) and SST anomalies in the South Kuril Region in April and July (Г) and April and August (Д)

ростом давления над Азией. В первом десятилетии 21-го века наблюдаются отрицательные аномалии температуры воды весной (как и температуры воздуха), обусловленные повышенной циклонической деятельностью над СЗТО. Летом ситуация меняется: повышение интенсивности южноазиатского антициклона вызывает рост давления над Азией, что приводит к усилению адвекции теплого воздуха на Японское море и прилегающие районы. Основной особенностью в изменчивости температуры воды в ЮКР является ярко выраженная противофазность весной и летом 2000–2009 гг. Такая изменчивость происходит на фоне изменчивости циркуляционного режима атмосферы над северным полушарием и региональными центрами.

Ранее (Шатилина, Анжина, 2011) были выделены два циркуляционных и климатических периода: 1948–1979 и 1980–2009 гг. (они видны и на рис. 8, А, Б). Изменились ли значимые связи между атмосферными характеристиками и температурным режимом? В табл. 5 и 6 представлены значимые связи между атмосферными индексами и температурой воды по двум циркуляционным периодам.

Таблица 5

Значимые связи между атмосферными индексами в апреле-сентябре и температурой воды в июле-сентябре в области Соя для двух периодов: 1954–1979 и 1980–2009 гг.

Table 5

Significance correlations between regional atmospheric indices in April-September and SST in the Soya Current area in July-September for the periods of 1954–1979 and 1980–2009

Индекс	Месяц	1954–1979			1980–2009		
		Июль	Август	Сентябрь	Июль	Август	Сентябрь
G _{oh}	Май Август					0,44 -0,62	-0,48
G _{gv}	Апрель Май Сентябрь	0,34		0,48		0,31	
G _{юж}	Май Июнь Сентябрь			0,35 0,43	0,39	0,33	0,37
G _{кр}	Май Июль Сентябрь			0,30 0,41		0,61	
δP _o O _x	Апрель Июнь Июль Август	-0,32 -0,40	-0,42		-0,40 -0,31	-0,31 -0,40 -0,64	
δP _o ЛДД	Апрель Май Июнь Июль	-0,34			-0,42	-0,45	-0,36
δP _o СЗТО	Апрель Июль Сентябрь			0,35	-0,39	-0,38	
δP _o ЮВА	Май Июнь Июль				-0,45	-0,42	-0,37
δP _o Азии	Апрель Май Июнь Июль Сентябрь	-0,40		-0,37	-0,37 -0,45	-0,49	-0,41
δP _o ТО	Май Июль Август			-0,37	-0,34	0,30	

Таблица 6

Значимые связи между атмосферными индексами в апреле-сентябре и температурой воды в июле-сентябре в ЮКР для двух периодов: 1954–1979 и 1980–2009 гг.

Table 6

Significance correlations between regional atmospheric indices in April-September and SST in South Kuril Region in July-September for the periods of 1954–1979 and 1980–2009

Индекс	Месяц	1954–1979			1980–2009		
		Июль	Август	Сентябрь	Июль	Август	Сентябрь
Gox	Май					0,43	0,40
	Июнь					–0,30	–0,34
	Август					–0,57	
Gгв	Апрель	0,43			–0,31		
	Июнь		0,43				
Gюж	Май		0,40				
	Июнь		0,43				
	Июль		0,31				
Gкр	Май		0,30				0,30
	Июнь		0,42				0,38
	Июль	0,31				–0,34	
	Август						
δPo Ох	Апрель	–0,57			–0,46	–0,38	
	Июнь	–0,44	–0,31			–0,33	
	Июль		–0,35			–0,55	–0,39
	Август						–0,43
	Сентябрь						
δPo ЛДД	Апрель	–0,46				–0,35	
	Май			–0,35			
	Июнь		–0,31				
δPo СЗТО	Апрель				–0,32		
δPo ЮВА	Май		–0,35			–0,30	–0,34
	Сентябрь						–0,30
δPo Азии	Апрель	–0,52					
	Май		–0,32	–0,37			
	Июнь		–0,34				–0,34
	Сентябрь						–0,34
δPo ТО	Август					–0,42	
	Сентябрь						–0,34

Значимость коэффициентов корреляции для первого периода уменьшилась, а для второго — увеличилась с охотским индексом, интенсивностью ОА и крупномасштабным индексом.

Видно, что для обоих периодов значимыми были связи с давлением над Охотским морем. Для первого периода значимой была связь температуры воды с данными давления над Азией и Охотским морем в апреле. Механизм этой связи был представлен выше для второго циркуляционного периода (рис. 6, 7). На рис. 9 (А) показаны данные аномалий приземного давления в экстремально холодном 1964 г. и экстремально теплом 1961 г. в ЮКР в апреле на 50° с.ш., а на рис. 9 (Б) — данные аномалий температуры воздуха в июле этих лет.

В апреле 1964 г. над Охотским морем давление выше нормы, а в 1961 г. — ниже. В июле этих лет наблюдается различие в локализации теплого воздуха над южными Курильскими островами. В теплом 1961 г. очаг тепла наблюдается над ЮКР, а в 1964 г. там зафиксирована адвекция холодного воздуха.

Заключение

В результате классификации временного ряда температуры методом К-средних были выделены группы лет с разными термическими режимами. Особый интерес

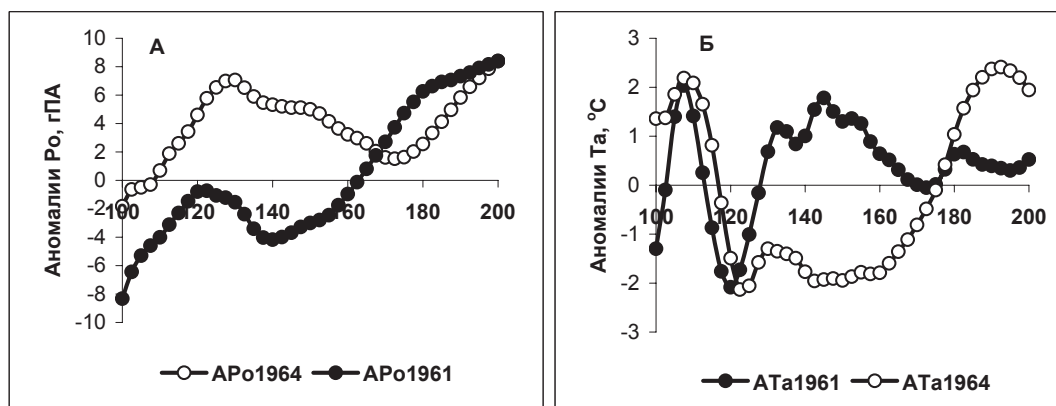


Рис. 9. Изменчивость аномалий приземного давления на 50° с.ш. в апреле 1964 и 1961 гг. (А) и аномалий температуры воздуха (T_a) на 45° с.ш. в июле 1961 и 1964 гг. (Б)

Fig. 9. Variation of normalized atmospheric pressure at the sea surface along 50° N in April of 1961 and 1964 (А) and air temperature anomaly along 45° N in July of 1961 and 1964 (Б)

представляют годы с экстремальным термическим режимом. С помощью этого метода были выявлены яркие различия термического режима в 1980-х и 2000-х гг.

На основании проделанной классификации и выделения групп с различными термическими режимами определялось влияние характера атмосферной циркуляции на термический режим в области течения Соя и ЮКР. Получено, что для теплых и холодных типов термического режима наблюдаются разные значимые связи с региональными атмосферными процессами. Так, теплый режим в июле в области течения Соя имеет отрицательную связь ($-0,64$) с интенсивностью ОА в июле, а холодный режим — в июне ($-0,52$). Для ЮКР значимые связи ($-0,56$) для теплых лет получены с интенсивностью охотского антициклона в июне. Для холодных лет значимые связи ($-0,70$) получены с интенсивностью ОА в июне и нормированными значениями над ЮВА в апреле ($0,59$).

Полученные корреляции находят физическое объяснение. Они подтверждают гипотезу о важной роли охотского антициклона в формировании термического режима в водах, омывающих южные Курильские острова. Высокая корреляция между давлением над Юго-Восточной Азией в апреле и холодным режимом в ЮКР в июле объясняется тем, что в апреле над континентальными районами Азии формируется муссонный гребень, а над Охотским морем и Курильскими островами — холодная муссонная ложбина. Различается значимость связей и для циркуляционных периодов. В первый период значимые связи отмечались с южными процессами, а во второй — с умеренными. В то же время число значимых связей, не превышающих $0,50$, значительно больше, чем превышающих $0,50$.

Список литературы

- Бобков А.А.** О внутрисезонной изменчивости течения Соя в районе Южных Курильских островов // Вестн. ЛГУ. Сер. 7. — 1990. — Вып. 2(14). — С. 105–109.
- Бобков А.А.** Течение Соя и его ветви // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. — 1989. — Т. 121, вып. 6. — С. 531–535.
- Воронина В.Ф., Куксова Н.И.** Исследование связи между сроками начала и окончания промысла сайры в районе южных Курильских островов и атмосферными процессами в предшествующие периоды года // Тр. ДВНИИ. — 1983. — Вып. 100. — С. 44–57.
- Воронина В.Ф., Павлычев В.П.** О возможности долгосрочного прогнозирования сроков миграции сайры в районе южных Курильских островов // Изв. ТИНРО. — 1984. — Т. 109. — С. 67–72.
- Завернин Ю.П.** Некоторые черты взаимодействия атмосферы и гидросферы в северо-западной части Тихого океана // Изв. ТИНРО. — 1969. — Т. 68. — С. 67–78.
- Завернин Ю.П.** Прогноз сроков подхода сайры к Курильским островам // Изв. ТИНРО. — 1967. — Т. 60. — С. 180–188.

- Ильинский О.К.** Охотский антициклон // Тр. ДВНИГМИ. — 1959. — Вып. 7. — С. 10–32.
- Каредин Е.П.** Термические типы лет и их использование для прогноза сайрового промысла // Долгопериодная изменчивость условий природной среды и некоторые вопросы рыбопромыслового прогнозирования. — М. : ВНИРО, 1989. — С. 194–207.
- Кун М.С.** Возможность долгосрочного прогнозирования развития планктона в зоне субарктического фронта северо-западной части Тихого океана // Изв. ТИНРО. — 1984. — Т. 109. — С. 41–50.
- Новиков Ю.В.** Влияние гидрологических условий на промысловые запасы сайры // Рыб. хоз-во. — 1966. — № 1. — С. 16–19.
- Павлычев В.П., Будаева В.Д., Хен Г.В. и др.** Межгодовые изменения гидрометеорологических условий в основных районах промысла северо-западной части Тихого океана и возможности их прогнозирования // Долгопериодная изменчивость условий природной среды и некоторые вопросы рыбопромыслового прогнозирования. — М. : ВНИРО, 1989. — С. 124–141.
- Саблин В.В., Павлычев В.П.** О влиянии термических условий на миграции и уловы сайры *Cololabis saira* ((Brevoort) в северо-западной части Тихого океана // Вопр. ихтиол. — 1981. — Т. 21, вып. 3. — С. 434–439.
- Шатилина Т.А.** Аномалии в повторяемости форм атмосферной циркуляции и особенности промысла сайры // Изв. ТИНРО. — 1984. — Т. 109. — С. 60–69.
- Шатилина Т.А.** Долгопериодная изменчивость атмосферной циркуляции над Дальневосточным регионом и ее влияние на термический режим и динамику вод // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 681–707.
- Шатилина Т.А.** О прогнозировании промысла сайры в Южно-Курильском районе // Рыб. хоз-во. — 1986. — № 12. — С. 26–27.
- Шатилина Т.А., Анжина Г.И.** Изменчивость интенсивности дальневосточного муссона в 1948–2010 гг. // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 167. — С. 146–159.
- Яковлев В.Н., Альтман Ю.С., Шатилина Т.А.** К методике прогнозирования промысловых характеристик сайры в Южно-Курильском районе // Океанол. — 1986. — № 4. — С. 698–702.

Поступила в редакцию 20.07.12 г.