

**Среда обитания
водных биологических ресурсов**

**Климатические факторы изменчивости
условий среды обитания промысловых биоресурсов
и функционирования морских экосистем**

УДК 551.213.3(571.6)

**Цикличность региональной атмосферной циркуляции
и температуры воздуха над Дальним Востоком в период
1980–2015 гг. и возможности прогноза**

Г.Ш. Цциашвили¹, Т.А. Шатилина², Т.В. Радченкова¹

¹Институт прикладной математики ДВО РАН (ФГБУН «ИПМ ДВО РАН»),
г. Владивосток

²Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр (ФГБНУ «ТИНРО-Центр»), г. Владивосток

E-mail: guram@iam.dvo.ru

В работе проделан статистический анализ изменчивости атмосферной циркуляции (АЦ) и температуры воздуха в центрах действия атмосферы (ЦДА) над Дальним Востоком. При анализе временных рядов климатических параметров обнаруживаются большие флюктуации, что требует уточнения оценок тренда. Уточнение оценки изменчивости климата позволяет проводить сравнение трендов для коротких временных рядов. В приземном поле давления выявлены отрицательные тренды. Над Охотским и Японским морями значимые отрицательные тренды свидетельствуют об усилении активности циклонов. Установлено, что начало тёплого периода для каждого центра происходит не одновременно. Выделены доминирующие циклы для каждого регионального центра. Показано, что эти циклы различаются по районам и месяцам. Обнаружение циклов с периодом 2–10 лет в региональных ЦДА свидетельствует о том, что крупномасштабные климатические сигналы взаимодействия атмосферы и океана отражаются в региональных структурах, а значит имеется возможность их прогноза. Опытный прогноз для климатических параметров был проведен для 2015 г. по ряду 1980–2014 гг. Оценка оправданности прогноза показала хороший результат.

Ключевые слова: значимость тренда геопотенциала H_{500} , приземного давления и температуры воздуха, уточнение оценок тренда, доминирующие циклы в региональной циркуляции, активность циклонов, блокирующие антициклоны в осенний период, большие флюктуации для локальных районов, возможность прогноза по циклам.

ВВЕДЕНИЕ

На значение региональной атмосферной циркуляции в формировании термического режима океана и атмосферы было указано в ряде работ [Муктепавел, Шатилина, 2012; Шатилина, Кравченко, 2013; Плотников и др., 2015; Цыпышева и др., 2016; Шатилина и др., 2016 а, б]. Оценка изменений циркуляционных процессов является определяющим фактором при совершенствовании

методов диагноза и прогноза климата, состояния термических условий в окраинных морях Дальнего Востока. Ранее статистическая оценка изменчивости атмосферной циркуляции и климата делалась для центров действия атмосферы (ЦДА), расположенных в пределах второго естественного синоптического района (2-й е.с.р.) северного полушария (30° – 70° с.ш., 95° в.д., 165° з.д.) [Шатилина и др., 2016 б].

В предлагаемой работе делается попытка статистического анализа изменчивости атмосферной циркуляции и климата в региональных центрах действия атмосферы, расположенных в пределах центрального района 2-го е.с.р. (30° – 70° с.ш., 120° – 160° в.д.). Заметим, что многие явления погоды, включая опасные явления, имеют локальный характер и сложную природу. Экстремальные гидрометеорологические условия и их локализация выявляются при анализе региональных ЦДА. Экстремальные условия оказывают влияние на условия промысла сайры, минтая, нерестовые районы сельди.

Выбор периода (1980–2015 гг.) для анализа региональной циркуляции связан со сменой трендов в ЦДА, а также в таком важном климатическом параметре как ледовитость Охотского моря [Пицальник и др., 2016]. Период 1980–2015 гг. отличается от предыдущего периода (1950–1979 гг.) и для европейской территории России. Так, оценки связи между средней по европейской территории России температурой приземного воздуха в июле и индексами макромасштабной атмосферной циркуляции, полученные для периодов 1950–1980 и 1981–2010 гг. очень различаются, что указывает на необходимость проведения анализа для каждого из этих периодов в отдельности [Попова, 2014]. Кроме того, в этом периоде отмечались крупные Эль-Ниньо (1982–1983 и 1997–1998 гг.). В эти годы наблюдались аномальные структуры барических полей и у восточного побережья Азии: экстремальные значения геопотенциала H_{500} (изобарическая поверхность 500 гПа) над Охотским морем зимой, аномально высокое давление в июне над Охотским морем и изменение интенсивности летнего и зимнего муссона [Шатилина, Анжина, 2011].

В последние десятилетия определённый интерес проявляется к исследованию цикличности в различных явлениях и, в частности, к использованию этого природного свойства для разработки прогностических методов [Карпова, Суставов и др., 1991; Методические рекомендации..., 1997; Антонов, 2007]. В будущем, наряду с применением численных прогностических моделей, будут развиваться и эмпирические методы долгосрочного прогноза, основанные, в частности, на учёте аномалий температуры океана,

особенно его энергоактивных зон, взаимосвязи процессов над различными районами, аналогичности и цикличности циркуляционных процессов и др. [Васильев, Вильфанд, 2008]. Различные данные наблюдений указывают на наличие в системе океан–атмосфера короткопериодных климатических параметров с типичной периодичностью от 2 до 10 лет. Такие вариации (или климатические сигналы) представляют собой один из основных объектов исследования, поскольку они определяют межгодовую изменчивость гидрометеорологических полей в глобальном и региональном масштабах [Полонский, Кибальчик, 2015].

Целью работы являются оценка трендов, выявление циклов во временных сериях геопотенциала H_{500} , приземного давления и приземной температуры воздуха и анализ возможностей прогноза по циклам.

Для анализа были выбраны барические объекты, характеризующие региональные динамические структуры над центральным районом 2-го е.с.р.

Летняя Дальневосточная депрессия (ЛДД), расположенная над северо-восточным Китаем и примыкающими к нему районами Приамурья и Монголии, является климатически достаточно устойчивым барическим образованием тёплого полугодия, что следует из многолетних карт давления на уровне моря. Взаимодействие летней Дальневосточной депрессии с Тихоокеанским и Охотским антициклонами способствует интенсивному переносу воздушных масс с океана на континент и установлению летнего муссона над дальневосточными районами. В зимнее время над Охотским морем усиливается циклогенез, а в период май–август часто наблюдаются области высокого давления (*Охотский антициклон*). В формировании летней погоды на Дальнем Востоке роль области высокого давления над Охотским морем и прилегающими к нему районами является определяющей. Этот региональный летний центр действия атмосферы оказывает существенное влияние на термический режим Курильского района [Шатилина, Кравченко, 2013]. В зимний период над северо-западной частью Охотского моря располагается центр вторичного *Полярного тропосферного циклона* (*Охотский тропосферный циклон* —

ОТЦ), который оказывает большое влияние на циркуляцию воздушных масс у Восточного побережья Азии. В зимнее время над Камчаткой часто располагается *высотный гребень Тихоокеанского антициклона* с выходом в пределы Охотского моря, что формирует аномальные атмосферные и термические условия над морем.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основными данными для расчёта среднемесячных характеристик атмосферной циркуляции и температуры воздуха в районах расположения ЦДА послужили архивы реанализа (NCEP/NCAR Reanalysis Monthly Means and Other Derived Variables) атмосферного давления, геопотенциала H_{500} и температуры воздуха в узлах регулярной сетки $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ за период с 1980 г. по 2015 г.

Для анализа межгодовой изменчивости атмосферной циркуляции выбраны следующие районы: летняя Дальневосточная депрессия (ЛДД) — $40\text{--}55^\circ$ с.ш., $115\text{--}135^\circ$ в.д.; акватория Охотского моря, северо-западная часть Охотского моря (СЗО) — $45\text{--}60^\circ$ с.ш., $135\text{--}145^\circ$ в.д.; северо-восточная часть Охотского моря и Камчатка (СВО) — $45\text{--}60^\circ$ с.ш., $155\text{--}165^\circ$ в.д. В рамках упомянутых границ рассчитывались средние по площади значения приземного давления (P_o), геопотенциала H_{500} и температуры воздуха у земли (T_a). Эти интегральные характеристики позволяют количественно оценить межгодовые изменения региональной циркуляции атмосферы у Восточного побережья Азии. Отметим особо, что соответствующие характеристики для Охотского моря рассчитывались не по прямоугольной области, а по значениям параметра в узлах сетки, расположенных на акватории моря. Таким образом, нами были сформированы временные серии интегральных характеристик атмосферной циркуляции за период 1980—2015 гг.

Поскольку этот ряд короткий (36 лет), то использование таких методов, как вейвлет-анализ не совсем подходит, поэтому мы сделали ставку на оценку трендов и флюктуаций. При анализе региональных временных рядов климатических параметров обнаруживаются большие флюктуации для локальных территорий, что требует уточнения оценок тренда. Параметры

флюктуаций во многих исследованиях не учитываются, а их учёт необходим для процедур сравнения трендов в разных районах наблюдений.

Нами были выбраны оценки коэффициента линейного тренда a , остаточная изменчивость s и их отношения a/s .

Особенностью используемых статистических оценок является более точное определение остаточной изменчивости s , на которую не влияют неточности в определении коэффициента линейного тренда a [Цициашвили, 2008]. Уточнение оценки остаточной изменчивости позволяет проводить сравнение трендов для коротких временных рядов различных климатических параметров. Тренд считался значимым, когда значения для отношения коэффициента тренда к остаточной изменчивости a/s превышало или равнялось 0,04, что позволяло проверить гипотезу о наличии тренда с точностью 0,95 в рамках гипотезы о независимости и нормальном распределении флюктуаций. Используемый статистический аппарат позволяет провести сравнительную оценку значимости тренда a/s и остаточной изменчивости s для временных рядов интегральных характеристик атмосферы (H_{500} , P_o) и температуры воздуха в период 1980—2015 гг.

Для выделения периодов используется метод Фурье в предположении, что имеется линейный тренд на фоне достаточно больших флюктуаций. Его оценка для локальных районов с большими флюктуациями содержит ошибку. Поэтому предлагается альтернативный вариант оценки коэффициентов Фурье [Шатилина и др., 2016 а].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Примеры влияния региональной атмосферной циркуляции в районе нерестилищ охотской сельди и промысла сайры в Южно-Курильском районе (ЮКР). Размножение охотской сельди происходит в узкой прибрежной зоне в районе квазистационарных полыней северо-западной части Охотского моря. В работе [Муктепавел, Шатилина, 2012] показано, что весной в 1993, 1999 и 2012 гг. в прибрежной зоне северо-западного сектора акватории полыни отсутствовали, что явилось причиной неурожайных поколений охотской сельди. Экстремальные условия, явившиеся

причиной тяжёлой ледовой ситуации в северной части Охотского моря, достаточно подробно изложены в статье [Муктепавел, Шатилина, 2012]. В этой работе показано, что одним из главных факторов, формирующих ледовые условия в Охотском море, является положение и интенсивность Охотского тропосферного

циклона (ОТЦ) и Тропосферного гребня (ТГ) над северо-восточной частью Охотского моря.

В качестве примера таких экстремальных условий на рис. 1а представлены аномалии геопотенциала H_{500} и аномалии температуры воздуха у земли в феврале 1999 г.

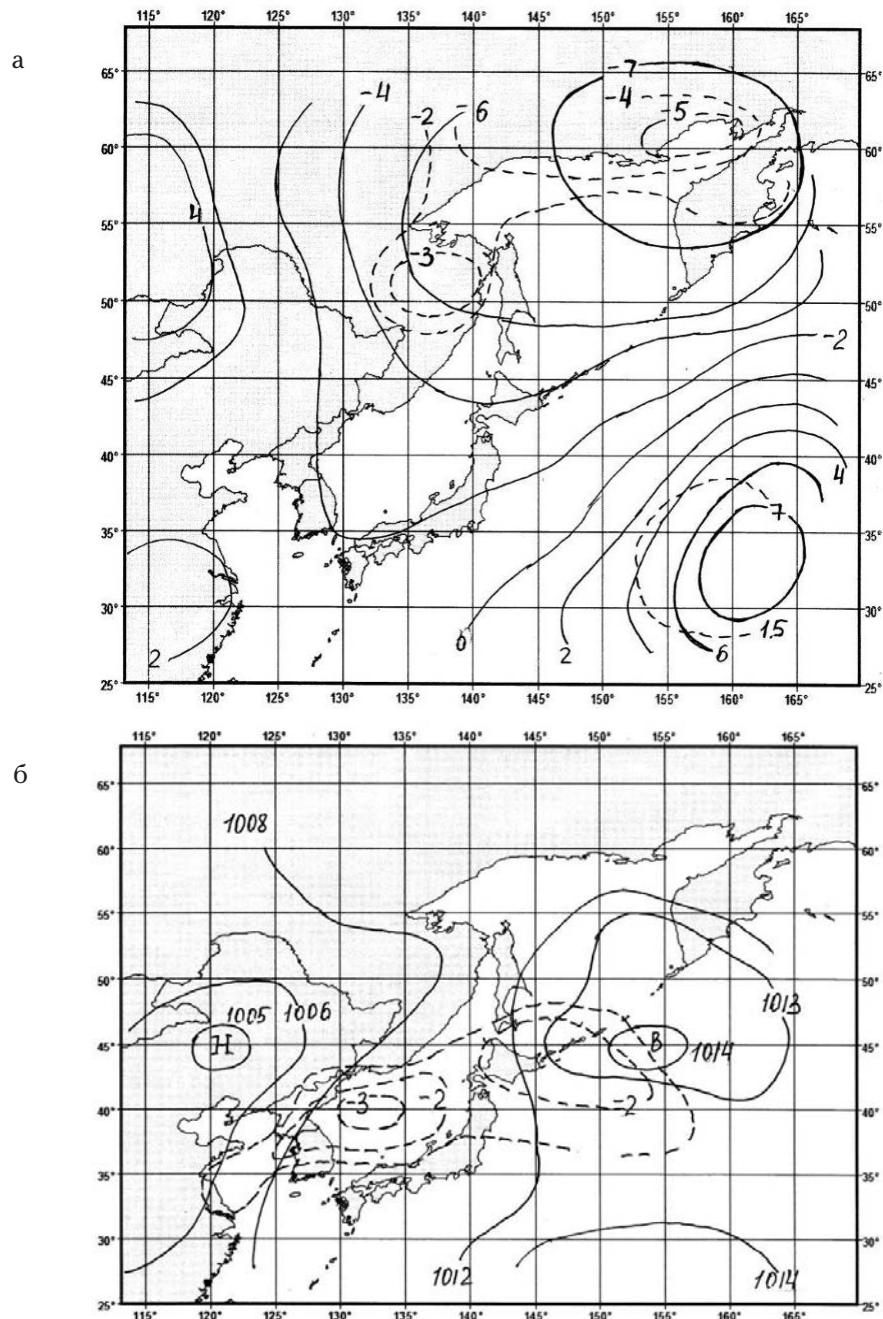


Рис. 1. Пример экстремальных условий:

- а — аномалии геопотенциала H_{500} , дам (—) и температуры воздуха, $^{\circ}\text{C}$ (---) в феврале 1999 г.;
 б — среднее поле давления у поверхности земли, гПа (—) и аномалии температуры воздуха (---) в июле 1986 г.

Из рис. 1 a видно, что экстремальное понижение геопотенциала H_{500} отмечается над северо-восточной частью Охотского моря и Камчаткой. В приземном поле в этом очаге падения у земли наблюдается экстремально низкая температура воздуха. Из этого примера видно, что критические явления имеют локальный характер.

На рис. 1 b представлено среднее поле давления у поверхности земли и аномалии температуры воздуха в июле 1986 г., когда в Южно-Курильском районе отмечались чрезвычайно низкие уловы сайры [Сайра, путинный прогноз, 2012]. Видно, что над Охотским морем отмечается антициклональное поле повышенной интенсивности, центр Дальневосточной депрессии располагается южнее своего климатического положения. Такая ситуация характерна для первой холодной стадии дальневосточного муссона, что видно по распределению аномалий температуры воздуха. При таких процессах наблюдается экстремальное понижение температуры воздуха над ЮКР и Юго-Западной частью Японского моря. В июле 1986 г. отмечалась и экстремально низкая температура воды в Японском море и ЮКР [Цициашвили и др., 2012].

Из этих примеров видно, что критические события в распределении гидробионтов обуславливаются экстремальными гидрометеорологическими условиями, которые имеют региональный характер. Поэтому представляется важным выявить межгодовую изменчивость атмосферных параметров в этих центрах.

Тенденции в изменчивости геопотенциала H_{500} , приземного поля давления и температуры воздуха. На рис. 2 представлена межгодовая изменчивость аномалий геопотенциала H_{500} (дам) в феврале и марте 1980–2016 гг.

Анализ динамики аномалий H_{500} свидетельствует о значительных флюктуациях и отсутствии значимого тренда. Максимальные значения H_{500} в феврале над северо-западной частью Охотского моря отмечаются в 1990, 1995, 2014 и 2015 гг., а минимальные значения этого параметра были в 1999, 2012 и 2001 гг. (рис. 2 a). Над северо-восточной частью Охотского моря максимальные значения геопотенциала в феврале наблюдались в 1990, 2014 и 2015 гг., а минимальные — в 1999, 2000, 2001 и 2012 гг. (рис. 2 b). В марте над СЗО максимальные значения H_{500} отмечались в 1989, 1990 и 2008 гг., а минимальные — в 1999 и 2013 гг. (рис. 2 c). Максимальные значения

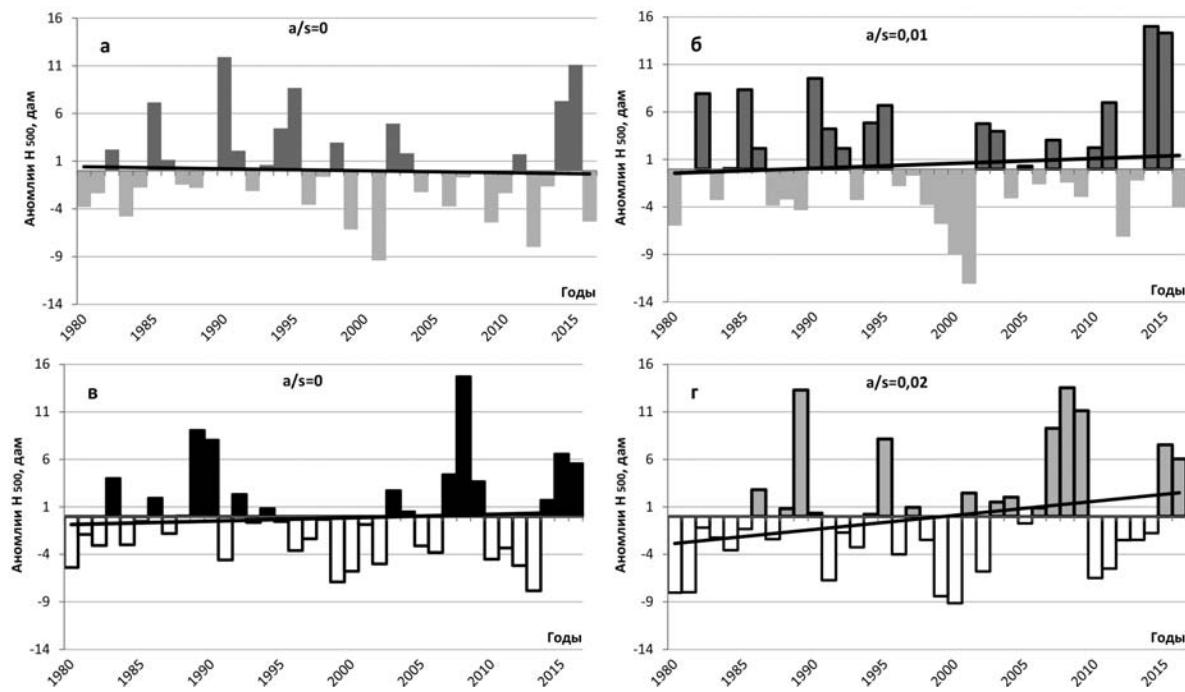


Рис. 2. Динамика аномалий геопотенциала H_{500} и значимость тренда (a/s) в период 1980–2016 гг.:
а — февраль СЗО; б — февраль СВО; в — март СЗО; г — март СВО

H_{500} над северо-восточной частью Охотского моря в марте отмечались в 1989, 2008, 2009 и 2015 гг., а минимальные — в 1980, 1981, 1999, 2000 гг. (рис. 2 τ).

На рис. 3 представлена динамика аномалий приземного давления над выделенными объектами в июне—августе.

В июне значимый отрицательный тренд над Охотским морем (рис. 3 a) свидетельствует об ослаблении летнего муссона, что согласуется с работами [Плотников и др., 2015; Шатилина, Анжина, 2011]. Максимальная интенсивность муссона отмечалась в 1981, 1983 и 1989 гг., а минимальная — в 1982, 1999, 2001, 2003, 2005 и 2011 гг. В июле наблюдается тенденция к ослаблению интенсивности охотского антициклона (ОА), но она не значима (рис. 3 b). В этом месяце максимальная интенсивность ОА отмечалась в 1988, 1993 и 2003 гг. В период 2004–2015 гг. отмечалось устойчивое ослабление ОА (а значит и летнего муссона). В динамике приземного давления над летней дальневосточной депрессией наблюдается отрицательный тренд, но он статистически не значим

(рис. 3 c). Наибольшее ослабление интенсивности ЛДД (высокие значения P_o) отмечалось в 1986, 1989, 1993 и 1996 гг., а усиление интенсивности было в 2000 г. и 2013 г. В августе над северо-западной частью Охотского моря (СЗО) наблюдался значимый отрицательный тренд (рис. 3 d). Максимальные значения в этом месяце были в 1980, 1987, 2002 и 2015 гг. Устойчивый период ослабления ОА наблюдался в 2003–2013 гг.

Тенденции в изменчивости приземной температуры воздуха. На рис. 4 a видно, что в феврале тренд над ЛДД незначим. Над этим центром холодный период отмечался с 1980 г. по 1988 г., а тёплый — с 1989 г. по 2015 г. Экстремальное повышение температуры воздуха здесь наблюдалось в 1998, 2002, 2007 и 2015 гг. Над Охотским морем в феврале значимый тренд в изменчивости Та также отсутствует (рис. 4 b). В этом месяце над Охотским морем отмечены три года с резким похолоданием — 1980, 1984 и 2001 гг. Максимальное потепление было в 1991 г. и 2015 г. В марте над Охотским морем отмечались значительные

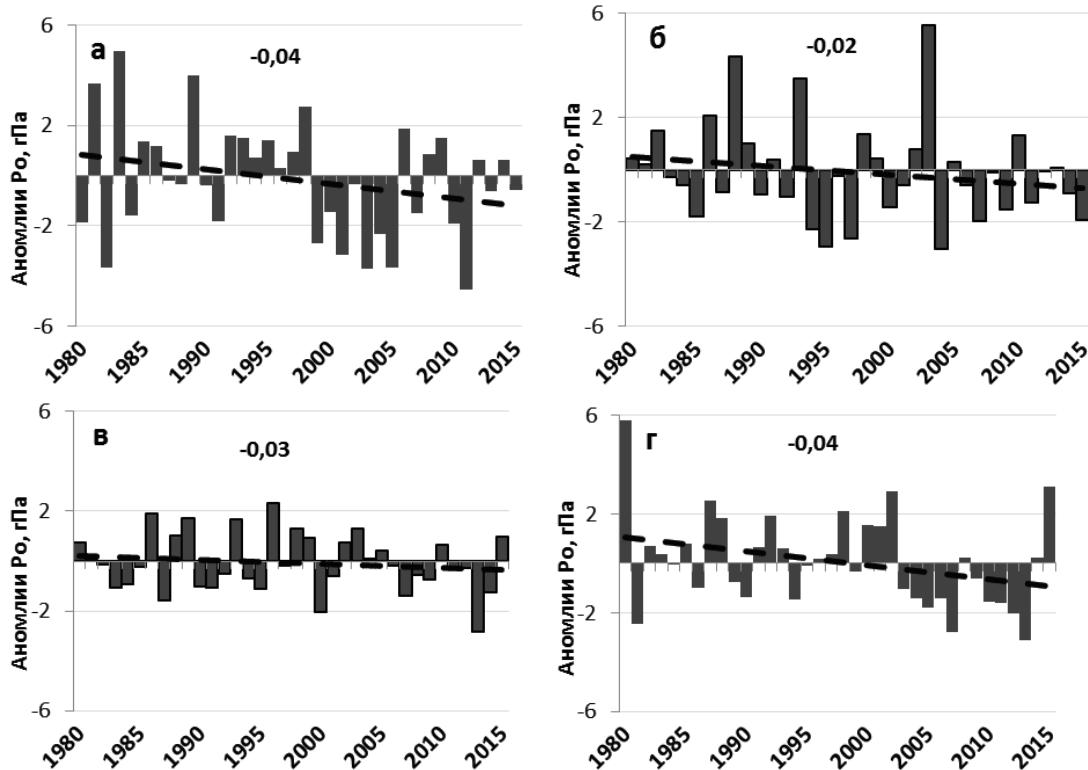


Рис 3. Межгодовая динамика аномалий приземного давления (P_o) и значимость тренда (a/s) в период 1980–2015 гг.: *a* — июнь, Охотское море; *б* — июль, Охотское море; *в* — июль, ЛДД; *г* — август, северо-западная часть Охотского моря (СЗО)

флуктуации Та, тренд незначим (рис. 4 ν). Значительное похолодание отмечалось в 1980, 1981 гг., а также в период 1999–2001 гг. Экстремальное потепление отмечалось в марте 1989, 2008, 2009 и 2015 гг.

В летний период отмечалось значимое потепление над ЦДА. Так, в июне над СЗО значимость тренда составляла 0,04 (рис. 4 τ), над Охотским морем в августе значимость тренда была 0,07 (рис. 4 δ), а над ЛДД — 0,06 (рис. 4 e).

В июне 1983, 1985 и 1993 гг. и в августе 1981 и 1993 гг. значительное похолодание наблюдалось над летней Дальневосточной депрессией. В августе над Охотским морем устойчивое потепление отмечалось с 2005 г., а экстремальное повышение температуры воздуха было в 2006 г. и 2012 г. Похолодание над морем наблюдалось в августе в 2002 г. Отметим, что периоды похолодания над региональными центрами согласуются с усилением ОА.

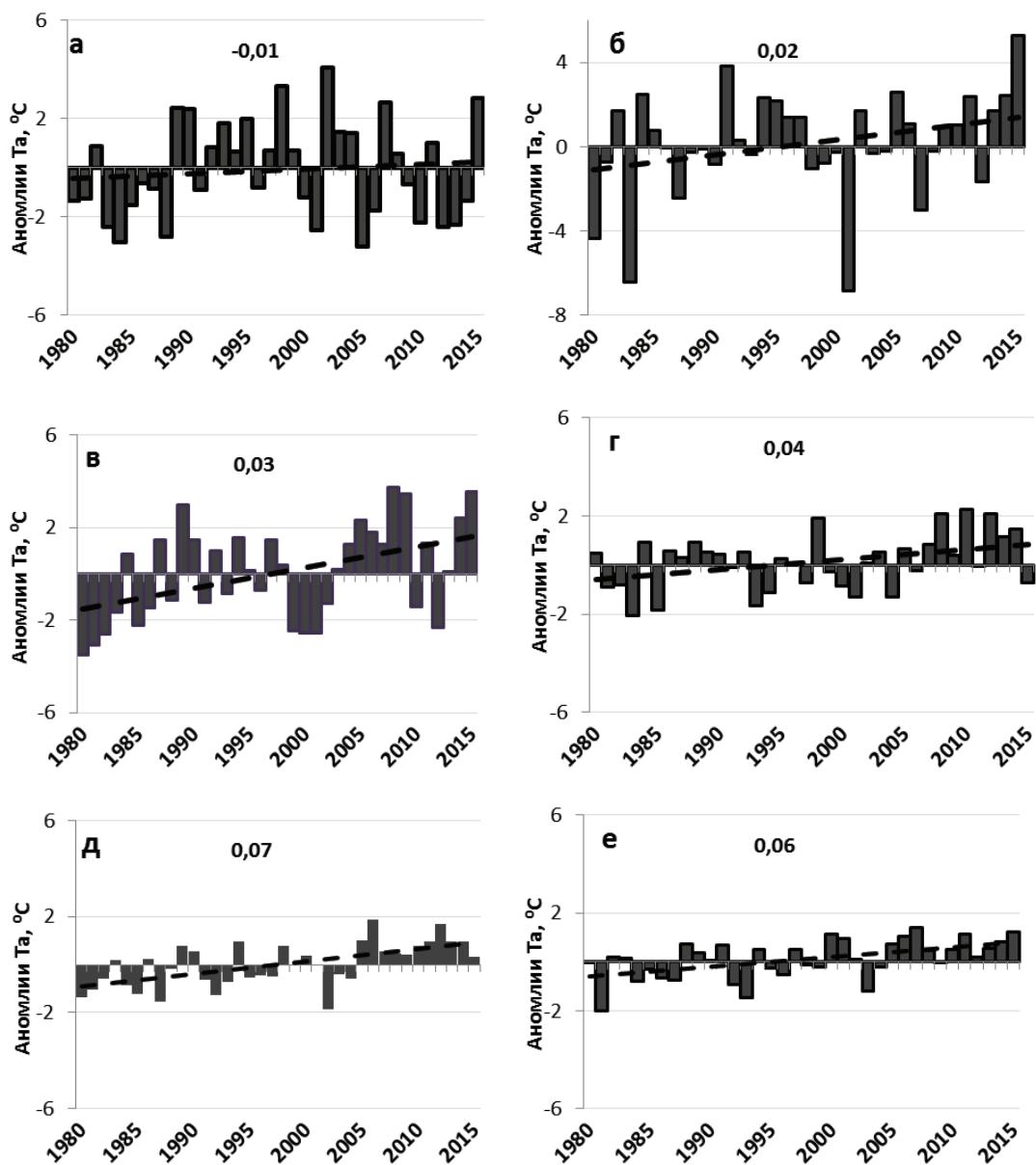


Рис 4. Межгодовая изменчивость аномалий температуры воздуха и значимость линейных трендов (а/с):
а — февраль, ЛДД; б — февраль, Охотское море; в — март, Охотское море; г — июнь, СЗО;
д — август, Охотское море; е — август, ЛДД

Цикличность региональной атмосферной циркуляции и температуры воздуха. В табл. 1–3 представлены данные значений коэффициентов Фурье для временного ряда геопотенциала H_{500} , приземного давления и температуры воздуха в области Дальневосточной депрессии, над Охотским морем, северо-восточной частью Охотского моря (СВО) и северо-западной частью моря (СЗО) для периодов 2, 3, 5, 6, 7 и 10 лет.

Из табл. 1 видно, что над ЛДД значимые циклы отмечаются в феврале с периодичностью 5 лет и в июне с такой же периодичностью, в августе над этим центром выявлен шестилетний цикл. Над Охотским морем в феврале доминирующие циклы отмечаются для двухлетнего, трехлетнего, шестилетнего и семилетнего циклов. Над СВО доминирующими циклами являются трёхлетний и семилетний. В СЗО в феврале значимы все циклы, а самые мощные в этом месяце — трёхлетний и семилетний циклы. То есть в феврале выделенные циклы соответствуют циклам, выделяемым в системе

океан—атмосфера. Это свидетельствует о том, что региональный охотский центр реагирует на крупномасштабные циклы, обнаруженные в низких широтах (феномен Эль-Ниньо). В марте над ЛДД наиболее высокие значения Фурье отмечаются для трёхлетнего и шестилетнего циклов. Для Охотского моря в марте наиболее значимы двухлетний, трёхлетний и пятилетний циклы. Для СВО в марте большие значения имеют двухлетний и пятилетний циклы. Для СЗО также большое значение имеют двухлетний и пятилетний циклы. Заметим, что ведущие циклы для районов Охотского моря не согласуются с доминирующими циклами в области ЛДД. В июне над ЛДД значим только пятилетний цикл. Над Охотским морем наибольшую значимость имеют двух-, трёх- и семилетний периоды. Над СВО в июне значим только двухлетний период, а над СЗО — двух-, трёх-, семилетний и десятилетние периоды. В июле над ЛДД нет значимых циклов. Над Охотским морем, СВО и СЗО выделяется трёхлетний и над СВО — шестилетний цикл. В августе

Таблица 1. Значения коэффициентов Фурье для временного ряда геопотенциала H_{500} в области Дальневосточной депрессии, над Охотским морем, северо-восточной частью Охотского моря и северо-западной частью Охотского моря для периодов 2, 3, 5, 6, 7 и 10 лет

Месяц, регион		Периоды, лет					
		2	3	5	6	7	10
Февраль	ЛДД	0,29	0,47	0,70	0,37	0,27	0,17
	Охотское море	1,04	1,85	0,45	0,84	1,28	0,08
	СВО	0,81	2,33	0,47	1,15	1,21	0,69
	СЗО	0,84	1,36	0,53	0,57	1,20	0,15
Март	ЛДД	0,44	1,24	0,28	1,15	0,81	0,69
	Охотское море	1,66	1,21	1,74	0,33	0,66	0,99
	СВО	1,78	1,27	1,91	0,74	0,67	0,36
	СЗО	1,43	0,96	1,36	0,34	0,61	1,02
Июнь	ЛДД	0,35	0,42	0,47	0,07	0,06	0,16
	Охотское море	1,08	0,86	0,06	0,28	0,58	0,45
	СВО	0,55	0,19	0,27	0,30	0,30	0,23
	СЗО	1,08	0,82	0,11	0,15	0,67	0,56
Июль	ЛДД	0,35	0,25	0,13	0,14	0,12	0,04
	Охотское море	0,43	0,85	0,12	0,31	0,50	0,30
	СВО	0,49	0,79	0,21	0,70	0,20	0,25
	СЗО	0,37	0,88	0,30	0,13	0,42	0,18
Август	ЛДД	0,12	0,28	0,14	0,83	0,22	0,49
	Охотское море	0,39	0,31	0,26	0,39	0,21	0,08
	СВО	0,29	0,27	0,17	0,32	0,20	0,38
	СЗО	0,26	0,38	0,24	0,35	0,06	0,34

Примечание. Жирным шрифтом в табл. 1, 2, 3 выделены значения коэффициентов Фурье, более или равные 0,50.

значимые циклы шесть и десять лет выявляются только над $\Lambda\Delta\Delta$. Таким образом, в режиме летней Дальневосточной депрессии обнаружен шестилетний цикл. В режиме охотского антициклона 2–3 и семь лет.

Из табл. 2 видно, что над $\Lambda\Delta\Delta$ в феврале доминирующим циклом является шестилетний. Для Охотского моря доминирующим периодом в приземном поле является семилетний. Для СВО наибольшие значения коэффициентов Фурье выявлены для пяти, шести и семи лет. Для СЗО ведущим периодом является шесть лет. В марте в области $\Lambda\Delta\Delta$ значимыми периодами являются двух-, пяти- и десятилетние циклы. Над Охотским морем выявляются периоды 2, 5 и 7 лет, а над северо-восточной частью моря — 2, 3, 7 и 10 лет. Над СЗО значим только один двухлетний период. В июне значимых циклов не обнаружено. Над Охотским морем, СВО и СЗО значим только шестилетний цикл. Т.е. в режиме Охотского антициклона в июле обнаружен значимый шестилетний цикл. В приземном поле в августе над $\Lambda\Delta\Delta$ значимых циклов не установлено. Над Охотским морем и СЗО значим только двух-

летний период. Над СВО наблюдается значимый шестилетний цикл.

Из табл. 3 видно, что над областью $\Lambda\Delta\Delta$ значимые коэффициенты Фурье приземной температуры воздуха выявляются для 5, 7 и 10 циклов. Над Охотским морем доминирующими циклами являются трёхлетний, пятилетний, шестилетний и десятилетний. Над СЗО доминирующим является семилетний цикл. В марте над всеми ЦДА доминирующим периодом является двухлетний. Над $\Lambda\Delta\Delta$ в марте значимыми периодами также являются пяти-, семи- и десятилетний. В летний сезон в поле температуры воздуха значимых циклов не обнаружено.

Таким образом, наиболее высокие коэффициенты Фурье в зимний сезон обнаруживаются в поле геопотенциала H_{500} над Охотским морем, северо-восточной частью и северо-западной частью. Значения геопотенциала H_{500} над Охотским морем и СЗО отражают интенсивность высотной климатической ложбины у восточного побережья Азии, а над СВО — интенсивность тихоокеанского гребня. Таким образом, в интенсивности климатической тропо-

Таблица 2. Значения коэффициентов Фурье для временного ряда приземного давления в области Дальневосточной депрессии, над Охотским морем, северо-восточной и северо-западной частью Охотского моря для периодов 2, 3, 5, 6, 7 и 10 лет

Месяц, регион		Периоды, лет					
		2	3	5	6	7	10
Февраль	$\Lambda\Delta\Delta$	0,42	0,37	0,39	0,59	0,02	0,22
	Охотское море	0,75	0,18	0,85	0,82	1,37	0,49
	СВО	0,51	0,25	1,21	1,24	1,88	0,44
	СЗО	0,59	0,13	0,46	0,90	0,46	0,09
Март	$\Lambda\Delta\Delta$	0,79	0,16	0,65	0,14	0,21	0,61
	Охотское море	0,68	0,39	0,52	0,22	0,50	0,47
	СВО	0,76	0,88	0,24	0,45	0,59	0,67
	СЗО	0,54	0,22	0,37	0,21	0,21	0,45
Июнь	$\Lambda\Delta\Delta$	0,16	0,11	0,11	0,30	0,06	0,44
	Охотское море	0,46	0,45	0,13	0,44	0,31	0,10
	СВО	0,46	0,41	0,15	0,10	0,24	0,22
	СЗО	0,32	0,30	0,13	0,42	0,41	0,14
Июль	$\Lambda\Delta\Delta$	0,20	0,23	0,34	0,05	0,46	0,11
	Охотское море	0,48	0,32	0,14	0,73	0,32	0,12
	СВО	0,41	0,26	0,13	0,55	0,15	0,23
	СЗО	0,35	0,32	0,34	0,51	0,39	0,14
Август	$\Lambda\Delta\Delta$	0,23	0,18	0,03	0,22	0,03	0,04
	Охотское море	0,55	0,16	0,24	0,35	0,21	0,45
	СВО	0,35	0,13	0,21	0,54	0,13	0,38
	СЗО	0,63	0,19	0,36	0,25	0,08	0,14

Таблица 3. Значения коэффициентов Фурье для временного ряда температуры воздуха в области Дальневосточной депрессии, над Охотским морем, северо-восточной и северо-западной частью Охотского моря для периодов 2, 3, 5, 6, 7 и 10 лет

Месяц, регион		Периоды, лет					
		2	3	5	6	7	10
Февраль	ЛДД	0,37	0,18	0,51	0,39	1,00	0,50
	Охотское море	0,30	0,51	0,62	0,59	0,09	0,56
	СВО	0,28	0,57	0,52	0,15	0,09	0,20
	СЗО	0,21	0,32	0,39	0,33	0,58	0,09
Март	ЛДД	0,54	0,12	0,56	0,24	0,58	0,54
	Охотское море	0,64	0,77	0,35	0,10	0,16	0,09
	СВО	0,52	0,62	0,24	0,07	0,09	0,23
	СЗО	0,60	0,35	0,34	0,13	0,47	0,23
Июнь	ЛДД	0,10	0,05	0,13	0,15	0,08	0,13
	Охотское море	0,14	0,18	0,11	0,16	0,02	0,09
	СВО	0,15	0,13	0,19	0,15	0,05	0,03
	СЗО	0,08	0,16	0,07	0,25	0,07	0,24
Июль	ЛДД	0,13	0,09	0,11	0,04	0,08	0,02
	Охотское море	0,14	0,08	0,06	0,04	0,17	0,14
	СВО	0,05	0,28	0,04	0,05	0,09	0,04
	СЗО	0,12	0,16	0,14	0,06	0,24	0,10
Август	ЛДД	0,09	0,12	0,26	0,22	0,09	0,12
	Охотское море	0,10	0,10	0,32	21	0,19	0,10
	СВО	0,06	0,09	0,14	0,11	0,05	0,08
	СЗО	0,04	0,17	0,29	0,29	0,24	0,13

сферной ложбины у восточного побережья Азии выявляются периоды 2–7 лет.

Возможность прогнозирования геопотенциала H_{500} , приземного давления и температуры воздуха (на примере 2015 г.). Анализ межгодовой изменчивости региональных гидрометеорологических условий в период 1980–2015 гг. выявил особенности изменчивости в 2015 г. Этот год побил все рекорды по числу месяцев с экстремальными условиями. Так, он стал рекордсменом по количеству экстремумов в поле геопотенциала H_{500} и в приземном поле. Причиной этих аномалий стали устойчивые блокирующие антициклони и гребни на севере и востоке Тихого океана. Аномалии геопотенциала, связанные с этими блоками, в феврале южнее Камчатки и над Аляской составили 16 дам (данные Гидрометцентра). Заметим, что по нашим данным в феврале над Охотским морем и Камчаткой аномалии составили 14 дам, т.е. были близки к оценке Гидрометцентра. Это подтверждает наши предположения о репрезентативности выбранных для анализа районов. Экстремальная температура воздуха в январе–марте 2015 г. отмечалась на

станции Охотск, где аномалия составила $5,6^{\circ}\text{C}$ (повторяемостью раз в 21–22 года). На станции Поронайск (восточный Сахалин) аномалия температуры воздуха составила $3,8^{\circ}\text{C}$ (повторяемостью раз в 10 лет), на станции Ича аномалия достигла $3,4^{\circ}\text{C}$ (повторяемостью 7 лет) и на станции Петропавловск-Камчатский — $3,6^{\circ}\text{C}$ (повторяемостью 9–10 лет) [Бережная и др., 2015 а, б, в].

Попытаемся составить прогноз значений H_{500} , P_o и T_a по ряду 1980–2014 гг. на февраль, март, июнь, июль и август 2015 г. для региональных центров Охотского моря и летней Дальневосточной депрессии. Отметим особо, что прогноз проводится по всем коэффициентам Фурье, а не только по доминирующему циклам. Существует много способов и различных критериев оценки прогнозов, выбор которых зависит от её цели. С точки зрения потребителя прогноза даже самый научно обоснованный метод прогноза представляет интерес лишь в том случае, если он приносит определённую пользу [Васильев, Вильфанд, 2008].

Для H_{500} прогноз считался не оправдавшимся, когда разность между фактическим

значением и прогнозом была более 4–5 дам, а для P_0 — более 4 гПа. Для температуры воздуха прогноз считался не оправдавшимся, когда разность была более 2 °С.

Прогноз значений геопотенциала H_{500} на 2015 г. по данным 1980–2014 гг. на февраль, март, июнь и июль полностью оправдался. Не оправдался прогноз над Охотским морем в августе. Прогноз значений приземного давления на 2015 г. не оправдался в марте над северо-восточной частью Охотского моря. По температуре воздуха все прогнозы на эти месяцы оправдались. Таким образом, достаточно хорошие результаты прогноза выбранных климатических параметров свидетельствуют о возможности использования этого метода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение уточняющей функции Фурье позволило выделить доминирующие циклы в региональных центрах действия атмосферы над Дальним Востоком. Выявлено, что наибольшие коэффициенты Фурье отмечаются над районами Охотского моря для геопотенциала H_{500} . Обнаружение доминирующих циклов с периодом 2–10 лет в региональных ЦДА свидетельствует о том, что крупномасштабные климатические сигналы взаимодействия атмосферы и океана отражаются в региональных структурах, а значит имеется возможность их прогноза.

Опытный прогноз значений климатических параметров (H_{500} , P_0 и T_a) показал возможность при разработке прогнозов состояния региональной циркуляции учитывать цикличность, выявленную в региональных центрах действия атмосферы. Это позволит заранее предвидеть формирование экстремальных ледовых условий в Охотском море, влияющих на формирование условий для нереста сельди, а также ведение промысла минтая. Прогноз интенсивности охотского антициклона в июне–августе позволит судить о благоприятных (слабый антициклон) или неблагоприятных (интенсивный антициклон) условиях для формирования промысловых концентраций сайры в районе южных Курильских островов.

ЛИТЕРАТУРА

Антонов А.Е. 2007. Природная циклоэнергетика. Гидрометеорологическое и рыбопромысловое прогнозирование. СПб.: Гидрометеоиздат. 216 с.

- Бережная Т.В., Голубев А.Д., Паршина Л.Н. 2015 а. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в январе 2015 г. // Метеорология и гидрология. № 4. С. 107–111.
- Бережная Т.В., Голубев А.Д., Паршина Л.Н. 2015 б. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в феврале 2015 г. // Метеорология и гидрология. № 5. С. 127–130.
- Бережная Т.В., Голубев А.Д., Паршина Л.Н. 2015 в. Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в марте 2015 г. // Метеорология и гидрология. № 6. С. 122–125.
- Васильев А.А., Вильфанд Р.М. 2008. Прогноз погоды. М.: Росгидромет. 60 с.
- Карпова И.П., Суставов Ю.В., Николаев Д.Л. 1991. Использование приёмов экстраполяции временных рядов в методах сверхдолгосрочного прогнозирования // Методы расчёта и прогноза гидрометеорологических процессов в промысловых районах. Л.: ЛГМИ. Вып. 112. С. 38–50.
- Методические рекомендации по использованию метода сверхдолгосрочного прогнозирования гидрометеорологических элементов (МСПГЭ) и программного комплекса «Призма». 1997. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 40 с.
- Муктепавел Л.С., Шатилина Т.А. 2012. Основные причины формирования аномально тяжелых ледовых условий в районе северо-западной части Охотского моря с учетом распределения основных нерестилищ охотской сельди // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 9. № 1. С. 89–103.
- Пицальник В.М., Романюк В.А., Минервин И.Г., Батухтина А.С. 2016. Анализ динамики аномалий ледовитости Охотского моря в период с 1882 по 2015 гг. // Известия ТИ НРО. Т. 185. С. 228–239.
- Плотников В.В., Мезенцева Л.И., Дубина В.А. 2015. Циркуляция атмосферы над Дальним Востоком и её отражение в ледовых процессах. Владивосток: Дальнаука. 159 с.
- Полонский А.Б., Кибальчич И.А. 2015. Циркуляционные индексы и температурный режим Восточной Европы в зимний период // Метеорология и гидрология. № 1. С. 5–17.
- Попова В.В. 2014. Летнее потепление на европейской территории и экстремальная жара 2010 г. как проявление тенденций крупномасштабной атмосферной циркуляции в конце XX – начале XXI вв. // Метеорология и гидрология. № 3. С. 37–62.
- Сайра, путинный прогноз. 2012. Владивосток. С. 68.
- Цициашвили Г.Ш. 2008. Оценки дисперсий // Дальневосточный математический журнал. Т. 8. № 2. С. 89–94.
- Цициашвили Г.Ш., Шатилина Т.А., Радченкова Т.В. 2012. Особенности изменчивости поверхностной температуры воды в районах, расположенных в об-

- ласти основных течений Японского моря и СЗТО в 2000–2012 гг. и влияние на промысел сайры // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 9. № 2. С. 96–116.
- Цыпышева И.Л., Муктепавел Л.С., Цициашвили Г.Ш., Шатилина Т.А., Радченкова Т.В.* 2016. Особенности изменчивости ледовитости в Татарском проливе (Японское море) в связи с региональной атмосферной циркуляцией // Известия ТИНРО. Т. 184. С. 135–149.
- Шатилина Т.А., Анжина Г.И.* 2011. Изменчивость интенсивности дальневосточного муссона в 1948–2011 гг. // Известия ТИНРО. Т. 167. С. 146–159.
- Шатилина Т.А., Кравченко Р.Б.* 2013. Результаты классификации временного ряда температуры воды в Южно-Курильском районе и связь с региональными атмосферными индексами // Известия ТИНРО. Т. 172. С. 208–223.
- Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Муктепавел Л.С., Радченкова Т.В.* 2014. Статистические оценки трендов климатических изменений над Дальним Востоком в зимний и летний периоды 1980–2012 гг. // Вопросы промысловой океанологии. М.: Изд-во ВНИРО. Вып. 11. № 1. С. 76–97.
- Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В.* 2016 а. Комплексная оценка изменчивости температуры воды на поверхности в северо-западной части Тихого океана в июле–сентябре 1950–2014 гг. // Известия ТИНРО. Т. 184. С. 120–134.
- Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В.* 2016 б. Оценка тенденций изменчивости центров действия атмосферы над Азиатско-Тихоокеанским регионом в летние периоды 1950–1979 и 1980–2012 гг. // Метеорология и гидрология. № 1. С. 17–28.
- REFERENCES**
- Antonov A.E.* 2007. Prirodnaia cikloenergetika. Gidrometeorologicheskoe i rybopromyslovoe prognozirovaniye. SPb.: Gidrometeoizdat. 216 s.
- Berezhnaya T.V., Golubev A.D., Parshina L.N.* 2015. Anomal'nye gidrometeorologicheskie yavleniya na teritorii Rossii Federacii v yanvare 2015 g. // Meteorologiya i gidrologiya. № 4. S. 107–111.
- Berezhnaya T.V., Golubev A.D., Parshina L.N.* 2015. Anomal'nye gidrometeorologicheskie yavleniya na teritorii Rossii Federacii v fevrale 2015 g. // Meteorologiya i gidrologiya. № 5. S. 127–130.
- Berezhnaya T.V., Golubev A.D., Parshina L.N.* 2015. Anomal'nye gidrometeorologicheskie yavleniya na teritorii Rossii Federacii v marte 2015 g. // Meteorologiya i gidrologiya. № 6. S. 122–125.
- Vasil'ev A.A., Vil'fand R.M.* 2008. Prognoz pogody. M.: Rosgidromet. 60 s.
- Karpova I.P., Sustarov YU.V., Nikolaev D.L.* 1991. Ispol'zovanie priyomov ekstrapolyacii vremennykh ryadov v metodakh sverhdolgosrochnogo prognozirovaniya // Metody raschota i prognoza gidrometeorologicheskikh processov v promyslyovyh rajonah. L.: LGMI. Vyp. 112. S. 38–50.
- Metodicheskie rekommendacii po ispol'zovaniyu metoda sverhdolgosrochnogo prognozirovaniya gidrometeorologicheskikh ehlementov (MSPGEH) i programmnogo kompleksa «Prizma».* 1997. Murmansk: Izd-vo PINRO. 40 s.
- Muktepavel L.S., SHatilina T.A.* 2012. Osnovnye prichiny formirovaniya anomal'no tyazhelyh ledovyh uslovij v rajone severo-zapadnoj chasti Ohotskogo morya s uchetom raspredeleniya osnovnyh nerestilishch ohotskoj sel'di // Voprosy promyslovoj okeanologii. Vyp. 9. № 1. S. 89–103.
- Pishchal'nik V.M., Romanyuk V.A., Minervin I.G., Bautuhina A.S.* 2016. Analiz dinamiki anomalij ledovitosti Ohotskogo morya v period s 1882 po 2015 gg. // Izvestiya TINRO. Т. 185. S. 228–239.
- Plotnikov V.V., Mezenceva L.J., Dubina V.A.* 2015. Cirkulyaciya atmosfery nad Dal'nim Vostokom i eyo otrazhenie v ledovyh processah. Vladivostok: Dal'nauka. 159 s.
- Polonskij A.B., Kibal'chich I.A.* 2015. Cirkulyacionnye indeksy i temperaturnyj rezhim Vostochnoj Evropy v zimnj period // Meteorologiya i hidrologiya. № 1. S. 5–17.
- Popova V.V.* 2014. Letnee poteplenie na evropejskoj territorii i ekstremal'naya zhara 2010 g. kak proyavlenie tendencij krupnomasshtabnoj atmosfernoj cirkulyacii v konse HKH – nachale HKHI vv. // Meteorologiya i hidrologiya. № 3. S. 37–62.
- Sajra, putinnyj prognos.* 2012. Vladivostok. S. 68.
- Ciciashvili G.SH.* 2008. Ocenki dispersij // Dal'nevostochnyj matematicheskij zhurnal. Т. 8. № 2. S. 89–94.
- Ciciashvili G.SH., SHatilina T.A., Radchenkova T.V.* 2012. Osobennosti izmenchivosti poverhnostnoj temperatury vody v rajonah, raspolozhennyh v oblasti osnovnyh techenij Yaponskogo morya i SZTO v 2000–2012 gg. i vliyanie na promysel sajry // Voprosy promyslovoj okeanologii. Vyp. 9. № 2. S. 96–116.
- Cypysheva I.L., Muktepavel L.S., Ciciashvili G.SH., SHatilina T.A., Radchenkova T.V.* 2016. Osobennosti izmenchivosti ledovitosti v Tatarskom prolige (Yaponskoe more) v svyazi s regional'noj atmosfernoj cirkulyacij // Izvestiya TINRO. Т. 184. S. 135–149.
- Shatilina T.A., Anzhina G.I.* 2011. Izmenchivost' intensivnosti dal'nevostochnogo mussona v 1948–2011 gg. // Izvestiya TINRO. Т. 167. S. 146–159.
- Shatilina T.A., Kravchenko R.B.* 2013. Rezul'taty klassifikacii vremennogo ryada temperatury vody v Yuzhno-Kuril'skom rajone i svyaz' s regional'nymi atmosfernymi indeksami // Izvestiya TINRO. Т. 172. S. 208–223.
- Shatilina T.A., Ciciashvili G.SH., Muktepavel L.S., Radchenkova T.V.* 2014. Statisticheskie ocenki trendov klimaticeskikh izmenenij nad Dal'nim Vostokom v zimnj i letnj periody 1980–2012 gg. // Voprosy promyslovoj okeanologii. M.: Izd-vo VNIRO. Vyp. 11. № 1. S. 76–97.
- Shatilina T.A., Ciciashvili G.SH., Radchenkova T.V.* 2016 a. Kompleksnaya ocenka izmenchivosti temperatury vody

na poverhnosti v severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana v iyule-sentyabre 1950–2014 gg. // Izvestiya TINRO. T. 184. S.120–134.

*Shatilina T.A., Ciciashvili G.SH., Radchenkova T.V. 2016 b.
Ocenka tendencij izmenchivosti centrov dejstviya atmosfery nad Aziatsko-Tihookeanskim regionom v letnie*

periody 1950–1979 i 1980–2012 gg. // Meteorologiya i hidrologiya. № 1. S. 17–28.

*Поступила в редакцию 17.03.2017 г.
Принята после рецензии 15.06.2017 г.*

Cyclicity of the regional atmospheric circulation and air temperature over the Far East during 1980–2015 and forecast opportunities

G.Sh. Tsitsiashvili¹, T.A. Shatilina², T.V. Radchenkova¹

¹Institute of applied mathematics FEB RAS (FSBIS «IAM FEB RAS»), Vladivostok

²Pacific Research Fisheries Centre (FSBSI «TINRO-Centre»), Vladivostok

Statistical analysis of the atmospheric circulation variability (AC) and the air temperature in atmosphere action centers (AAC) over the Far East has done in the work. We have used the atmospheric pressure reanalysis data (NCEP / NCAR), data of 500 hPa geopotential and the air temperature in points of regular grid $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ from 1980 to 2015. In the analysis of the time series of climate parameters, large fluctuations are detected that requires to clarify the trend evaluations. Correction of the climate variability evaluations allows to compare trends for the short time series. Shown that significant trends on the isobaric surface of 500 hPa are detected in autumn that indicates an increase of subtropical anticyclones. Negative trends are revealed in the surface baric field. Significant negative trends indicate the cyclone activity strengthening over the Okhotsk Sea and the Japan Sea. Active cyclogenesis is observed amid increasing the blocking anticyclones over the Pacific Ocean. It was found that the start of warm period for each center does not occur simultaneously. The use of periodic Fourier function is allowed to allocate dominant cycles for each regional center and to compare their power. Shown that the dominant cycles vary by areas and months. Thus during the cold period, the biggest modules of Fourier coefficients for the H500 are observed over Kamchatka. Detection of cycles with the period of 2–10 years in regional AAC suggests that the large-scale climatic signals of the atmosphere-ocean interaction are reflected in regional structures, and hence, there is a possibility of their forecast. Experimental forecast of climatic parameters was performed for 2015 to series 1980–2014. Verification of this forecast showed a good result.

Keywords: significance of the 500 hPa geopotential trend, surface pressure and air temperature, clarifying of the trend evaluations, dominant cycles in regional circulation, cyclone activity, blocking anticyclones in autumn, large fluctuations for local areas, possibility of forecast by cycles.