

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В РАЙОНЕ АРХ. ШПИЦБЕРГЕН

У.В. ПРОХОРОВА¹, П.Н. СВЯЩЕННИКОВ^{1,2}, Б.В. ИВАНОВ^{1,2}

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, yliva@rambler.ru

² — Санкт-Петербургский государственный университет

Приведены результаты исследования временной изменчивости циркуляции атмосферы в Западной Арктике: Норвежское – Баренцево море. Для характеристики атмосферной циркуляции была использована классификация форм циркуляции атмосферы по Вангенгейму — Гирсу за холодный (ноябрь–апрель) и теплый (март–октябрь) периоды года. Рассматривается повторяемость серий с одной и той же формой циркуляции в зависимости от продолжительности и изменчивости во времени этих характеристик. Величина повторяемости представляется как параметр устойчивости синоптических процессов в рассматриваемом регионе. В качестве дополнительных характеристик рассчитывались горизонтальные градиенты барического поля (по данным атмосферного давления на уровне моря). Получены оценки изменчивости меридиональных и широтных составляющих адвекции воздуха.

Ключевые слова: Арктика, изменение климата, атмосферная циркуляция.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее актуальных проблем современной климатологии является оценка наблюдаемых изменений климата, определяемых в первую очередь по увеличению средней температуры воздуха. Важная роль в формировании климата Арктики и его изменчивости принадлежит атмосферной циркуляции, обеспечивающей обмен теплом и влагой с умеренными широтами. Имеются инструментальные подтверждения и теоретические оценки полярного усиления колебаний климата вследствие роста меридионального переноса тепла (Алексеев, 2015; Алексеев и др., 2016).

В данном исследовании рассматриваются изменения во времени характеристик атмосферной циркуляции в районе архипелага Шпицберген. В последние десятилетия здесь отмечается рост приземной температуры воздуха (Куражов, 2007; Gjeltén et al., 2016) и усиление таяния ледников (Hagen et al., 2003; Day et al., 2012). Участились случаи, когда устойчивый припай во фьордах архипелага не образуется в зимний период года (Pavlov et al., 2013; Zhuravskiy et al., 2012).

В качестве характеристик атмосферной циркуляции были использованы формы атмосферной циркуляции по классификации Вангенгейма–Гирса, а также приземные меридиональные и широтные горизонтальные градиенты давления воздуха. Рассматривалось изменение повторяемостей форм атмосферной циркуляции на основе классификации Вангенгейма–Гирса, описывающей особенности перемещения ци-

клонов и антициклонов над атлантико-европейским сектором Северного полушария (Вангенгейм, 1952; Гирс, 1971). Исходя из преобладающих основных переносов в тропосфере и нижней стратосфере, возможные варианты атмосферной циркуляции по Вангенгейму–Гирсу сведены к трем основным типам: западному (W), восточному (E) и меридиональному (C). Тип циркуляции устанавливается по направлению основных переносов воздушных масс. Западный тип циркуляции характеризуется усилением западного переноса, при котором отмечается зональное смещение циклонов из Атлантического океана на восток. Восточный тип циркуляции характеризуется либо нарушением западного переноса путем вторжения с востока или северо-востока антициклонов, развивающихся в континентальном воздухе, либо развитием на континенте мощных стационарных антициклонов. Меридиональный тип циркуляции характеризуется нарушением западного переноса путем вторжения на север Скандинавии континентального арктического воздуха и образованием меридиональной полосы высокого давления через Скандинавию на центральную часть Европы (Гирс, 1974; Демин и др., 2014).

Ряд авторов считают, что в крупномасштабной циркуляции атмосферы наблюдаются периоды с длительным преимущественным развитием того или иного макропроцесса — так называемые циркуляционные эпохи: эпоха W+C — 1891–1899 гг.; W — 1900–1928 гг.; E — 1928–1939 гг.; C — 1940–1948 гг.; E+C — 1949–1974 гг. Эти эпохи выделялись на основании учета повторяемости форм циркуляции атмосферы W, E, C в течение года, годового фона распределений аномалий давления и температуры воздуха в Северном полушарии (Гирс, 1971, 1974; Орлов и др., 2008). Во многих исследованиях, в том числе упомянутых ранее, посвященных проблемам изменения климата и атмосферной циркуляции, основанных на классификации Вангенгейма–Гирса, были использованы данные, с суммами дней с той или иной формой циркуляции за каждый месяц, исключая изучение внутримесячной изменчивости. В ряде работ было проведено сопоставление изменений приземной температуры воздуха с межгодовой изменчивостью форм атмосферной циркуляции. Была выявлена связь между повышением температуры и преобладанием форм W и E и ее понижением и формами C и E. (Боков и др., 2013). Была установлена взаимосвязь между изменениями индекса Северо-Атлантического колебания (NAO) и формой циркуляции W с количеством осадков. Увеличение повторяемости формы W и индекса NAO способствует увеличению количества осадков на юге Западной Сибири. Были выделены эпохи по превышению норм повторяемости с одним типом, с 1973 по 2006 г.: 1973–1984 гг. — эпоха циркуляции E, 1985–1990 гг. — переходный период с преобладанием типа E и возрастанием W, 1991–2006 гг. — эпоха преобладания W+C (Безуглова и др., 2008). В представленной работе рассматривается вопрос об устойчивости каждой из трех форм атмосферной циркуляции во времени. Оценка устойчивости осуществляется на основании анализа повторяемости величины продолжительности в днях существования той или иной формы циркуляции. Анализ выполняется как для теплого, так и для холодного периодов года.

ИЗМЕНЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

В работе выполнен анализ изменений атмосферной циркуляции в соответствии с классификацией Вангенгейма–Гирса за период с 1891 г. по настоящее время. Для исследования был использован каталог ежедневных данных о формах циркуляции, созданный в лаборатории долгосрочных метеорологических прогнозов ГНЦ РФ ААНИИ.

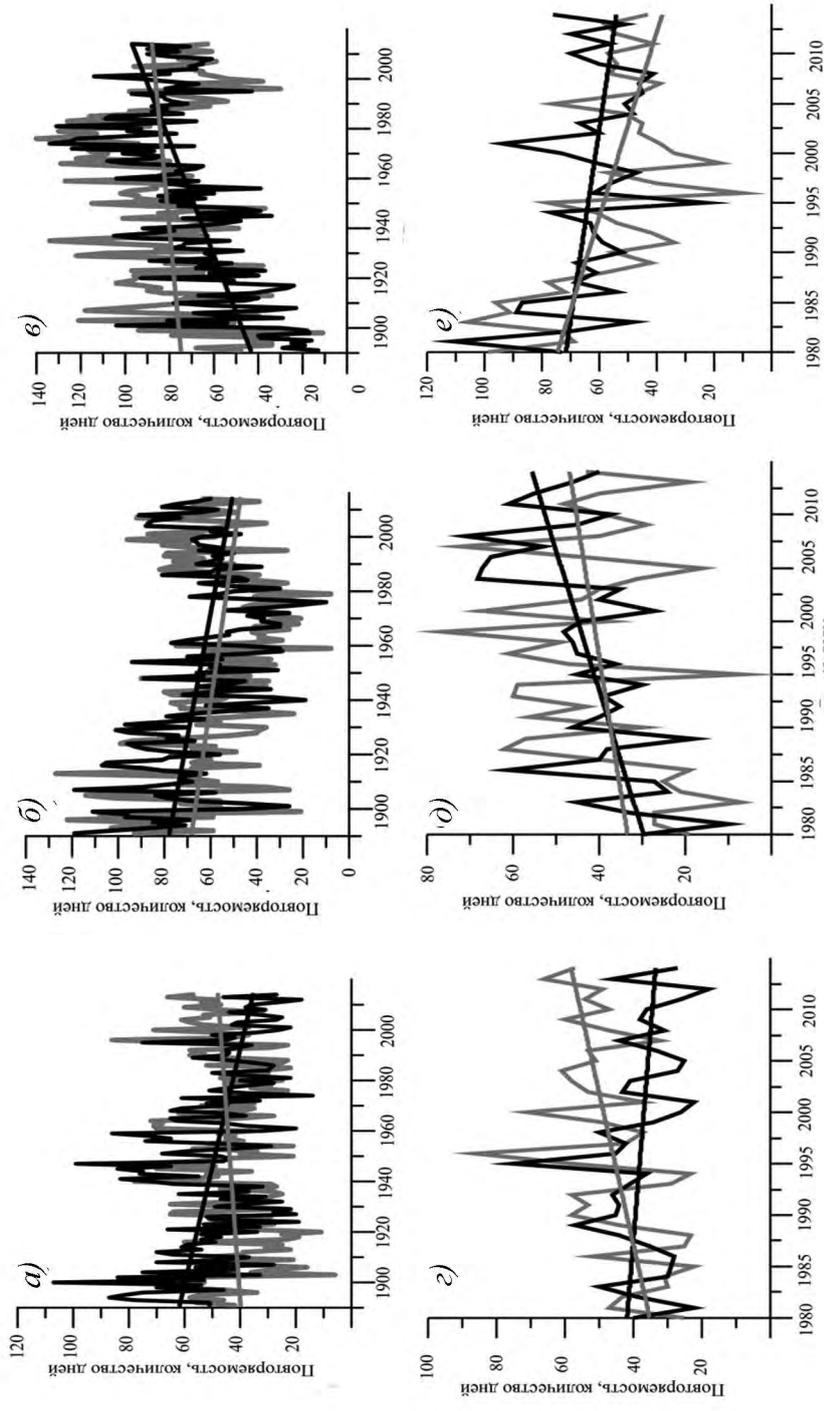


Рис. 1. Повторяемость форм циркуляций за период с 1891 по 2015 г. (а — С, б — W, в — E) и с 1980 по 2015 г. (з — С, д — W, е — E), за теплый (серая линия) и холодный (черная линия) периоды года.

Были получены оценки повторяемости форм циркуляции С, W, E за холодный (с ноября по апрель) и теплый (с мая по октябрь) периоды (см. рис.1) с 1891 по 2015 г. Выявлено, что в холодный период наблюдается тенденция уменьшения количества дней с типом С и W и значительное увеличение числа дней с типом циркуляции E. В теплый период — увеличение числа дней с С и E типами и значительное уменьшение количества дней с типом W. Особый интерес представляет интервал времени с 1980 г. по настоящее время (н/в), который является периодом «современного» потепления в Арктике (Rachauri et al.; 2014, Груза и др., 2012). Для этого периода обнаружено уменьшение повторяемости формы циркуляции E и увеличение повторяемости формы W в холодную часть года, что отличается от тенденций за весь период наблюдений (с 1891 г. по н/в). В теплый период года за последние 30 лет также наблюдаются тенденции уменьшения повторяемости формы циркуляции E и увеличения повторяемости форм W и С. Как уже было отмечено ранее, на основе преобладания одного типа над другими были выделены эпохи. С 1980 г. по н/в отмечен рост количества дней с формой W, повторяемость которой значительно выше, чем формы E, из чего можно сделать вывод, что с 1980 «E+C» эпоха сменяется эпохой «W+C».

Помимо повторяемостей количества дней с определенной формой циркуляции, был произведен расчет повторяемостей количества подряд идущих дней с одной формой по градациям продолжительности, что позволяет проанализировать устойчивость синоптических процессов (см. рис. 2). То есть была получена оценка устойчивости той или иной формы, через расчет времени (продолжительности), на которое она устанавливалась. Градации устойчивости были выбраны следующим образом. За

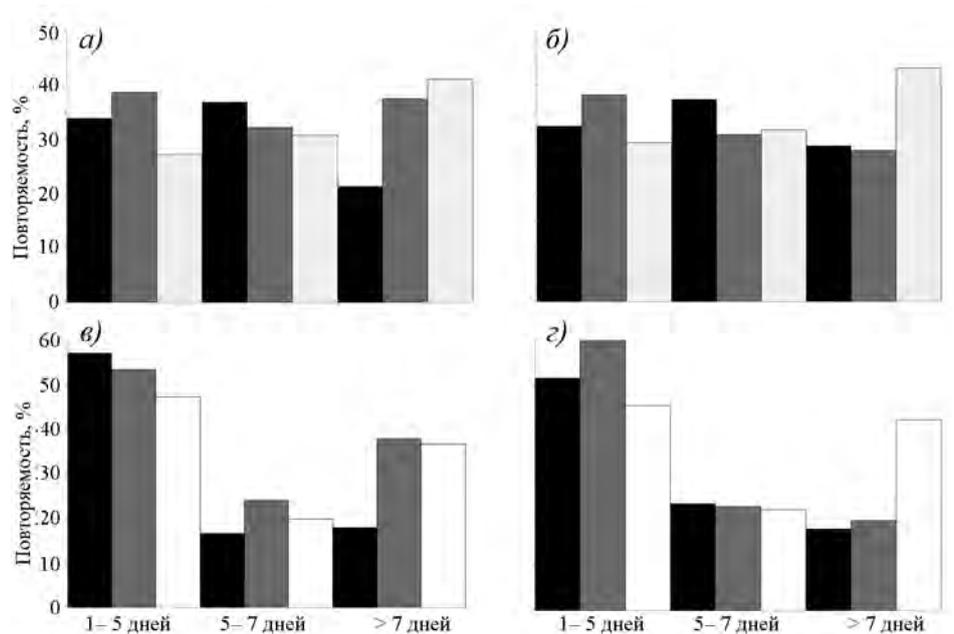


Рис. 2. Частота установления форм циркуляции за период с 1891 по 2015 (а, б) и с 1980 по 2015 гг. (в, з) за холодный (а, в) и теплый (б, з) периоды по градациям: короткие (1–5 дней), средние (5–7 дней) и длинные (более 7 дней) (черный цвет — форма С, серый цвет — форма W, белый цвет — форма E).

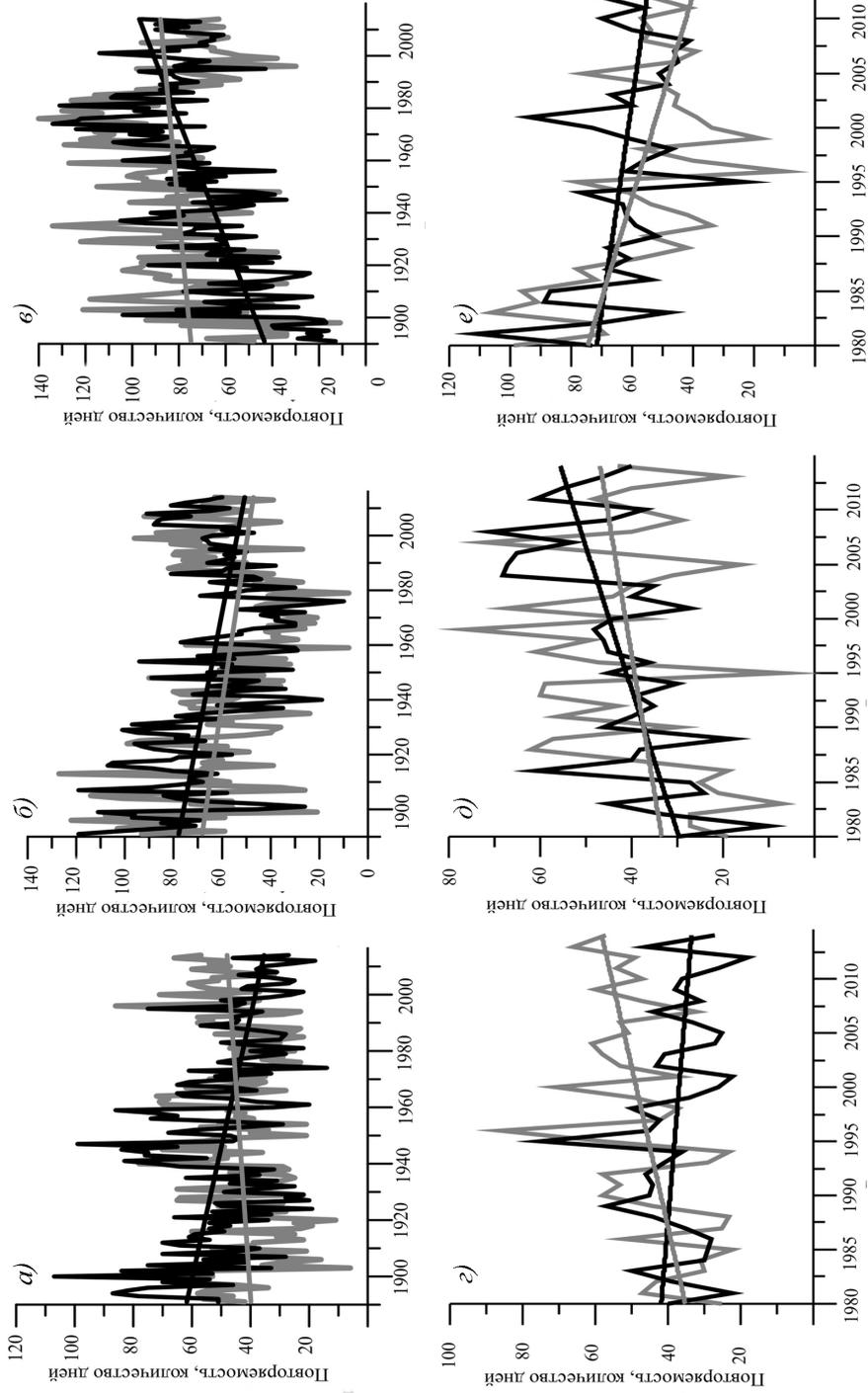


Рис. 3. Повторяемость в днях подряд существования форм циркуляции за период с 1891 по 2015 г. (α — форма С, β — форма W, ϵ — форма E) и с 1980 по 2015 г. (ϵ — форма С, δ — форма W, e — форма E), по градам: 1–5 дней (черный), 5–10 дней (темно-серый) и 10–15 дней (светло-серый).

фиксированную величину был взят естественный синоптический период (5–7 дней) — промежуток времени, в течение которого сохраняется такое термобарическое поле в тропосфере, которое обуславливает определенное направление перемещения барических образований у поверхности Земли и сохранение географического расположения их центров на пространстве естественного синоптического района (Мультиановский, 1933). За весь период наблюдений для формы С наиболее часто наблюдалась продолжительность в интервале 5–7 дней для типа W, 1–5 дней для типа С и более 7 дней для типа E. За период с 1980 по 2015 г. все три формы устанавливаются в основном за 1–5 дней, то есть за последние 36 лет возросла неустойчивость синоптических процессов в рассматриваемом регионе.

Оценки изменения повторяемости во времени какой-либо формы циркуляции (количество дней, когда наблюдается только одна определенная форма), вычисленные для каждого сезона за весь период наблюдений, позволяют оценить тенденции изменения устойчивости синоптических процессов во времени (см. рис. 3). Так, для периода 1891–2015 гг. наблюдается значительное увеличение повторяемости продолжительных (5–10 и >10 дней) и коротких интервалов (1–5 дней) с формой циркуляции E. Для форм С и W наблюдается увеличение коротких интервалов (1–5 дней), количество периодов в 5–10 дней осталось без изменения, но уменьшилось количество продолжительных интервалов (более 10 дней).

Для периода 1980–2015 гг. для форм С и W наблюдается увеличение повторяемости кратковременных и продолжительных процессов, а для формы E — увеличение средних по времени и продолжительных. Таким образом, в период современного потепления отмечается тенденция к изменению атмосферной циркуляции: если устанавливается атмосферная циркуляция, соответствующая форме E, то существование во времени подобного поля давления увеличивается. Подобное явление свидетельствует о возможном увеличении влияния атмосферной циркуляции в виде восточного переноса на распространение морского ледяного покрова в районе Гренландского и Баренцева морей.

ЛОКАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ

Изменения в климатической системе в Арктике происходят достаточно неравномерно и по времени, и по пространству (ACIA, 2004). Наиболее заметные изменения — это повышение средней температуры воздуха в центральном и восточном секторах Арктики. (ACIA, 2004). Помимо роста температуры воздуха у поверхности, в отдельных регионах отмечаются изменения и других характеристик климатической системы (IPCC Climate, 2014). Так, в работах (Nilsen et al., 2008; Pavlov et al., 2013; Tislenko et al., 2015) отмечается, что в ряде фьордов острова Западный Шпицберген последнее время не наблюдается формирование устойчивого припая, что связывается с увеличением притока во внутренние районы фьордов более теплых и соленых вод атлантического происхождения. Несмотря на наблюдаемое потепление в данном регионе, в зимний период продолжают сохраняться отрицательные значения температуры воздуха, при которых образование льда было бы возможно. Отсутствие льда может быть вызвано не только усилением притока атлантических вод, но и изменением циркуляции атмосферы в рассматриваемом регионе, которое может способствовать динамическому разрушению припая и выносу льда из внутренних районов фьордов в пролив Фрама. Вместе с тем атмосферная циркуляция может способствовать усилению или ослаблению океанической циркуляции в верхнем слое океана. Таким образом, атмосферная циркуляция оказывает влияние на оба фактора.

Для анализа пространственной изменчивости переносов воздуха в приземном слое атмосферы использовались величины горизонтальных градиентов поля атмосферного давления, рассчитанные по ежедневным данным давления воздуха на уровне моря для периода 1983–2012 гг. Были рассчитаны следующие градиенты: Баренцбург (Шпицберген) — Тромсё (Норвегия); Данмарксфафн (Гренландия) — Нью-Олесунн (Шпицберген). Учитывались знаки полученных градиентов как характеристики направления переноса воздуха (адвекции) в приземном слое воздуха, с учетом влияния силы Кориолиса, в широтном и меридиональном направлении. Подобная методика уже использовалась для исследования циркуляционного режима в районе острова Западный Шпицберген для периода с июля 2010 по август 2011 г. (Przybylak et al., 2012). Авторами указанной работы были выделены 14 типов синоптических ситуаций, учитывающих направление адвекции по положению циклонов и антициклонов. В летний период (июнь–август) повторяемость положительных значений градиента Данмарксфафн — Нью-Олесунн выросла за период с 1983 по 2012 г., а градиента Баренцбург — Тромсё не имеет выраженной тенденции. В зимний период (декабрь–февраль) преобладают направления с севера на юг и запада на восток, но какой-либо значимой тенденции изменения направления переносов не выявлено. Также были рассчитаны повторяемости величины продолжительности в днях серий одного знака по следующим градациям: 1–5 дней, 5–10 дней и более 10 дней. Эта величина, описывающая продолжительность естественного синоптического периода, характеризует устойчивость во времени синоптических процессов в данном регионе. Наиболее часто встречаются серии с продолжительностью градиента одного знака от 1 до 5 дней, что характеризует частую смену знака барического поля в районе исследования, и, соответственно, можно сделать вывод, что для данного региона характерна быстрая во времени смена направлений атмосферных переносов. Статистически значимые изменения во времени повторяемостей знаков градиентов этого параметра в течение периода 1983–2012 гг. отсутствуют.

Оценка изменения частотной структуры временной изменчивости горизонтальных градиентов давления была произведена с целью выявления колебаний с различным периодом и оценки их вклада во временную изменчивость переносов воздушных масс. Для данной цели был применен вейвлет-анализ, который используется, когда результат анализа сигнала должен не только выявить характерные временные масштабы процесса, но и дать сведения о моментах времени, в которых эти масштабы наблюдаются (Астафьева, 1996; Зверева, 2016). Для такого анализа входным сигналом являются рассчитанные ранее горизонтальные градиенты барического поля. В результате преобразования были рассчитаны коэффициенты, которые дают представление об изменчивости сигнала на различных временных масштабах. На рис. 4 (см. цвет. вклейку) приведена спектрограмма преобразованного сигнала, с использованием вейвлета «Морле» как одного из наиболее широко применяемых в гидрометеорологических расчетах (Белоненко и др., 2009).

На спектрограмме градиента для пунктов Данмарксфафн — Нью-Олесунн (рис. 4а) хорошо заметны колебания, соответствующие периоду в 1 год, являющиеся сезонными. Для больших масштабов (до 30 лет) также были выполнены расчеты. Однако каких-либо значимых колебаний, влияющих на изменчивость на спектрограмме, обнаружено не было. Для градиента между пунктами Нью-Олесунн — Тромсё (рис. 4б) колебаний с небольшим периодом (до года), а также с периодом до 30 лет

обнаружено не было. То есть временная изменчивость обусловлена факторами, не имеющими периодичности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В результате исследования временной изменчивости крупномасштабных процессов, с использованием классификации Вангенгейма–Гирса, отмечается, что за весь исследуемый период (1891 г. – н/в) в холодную часть года (ноябрь – апрель) наблюдается тенденция уменьшения количества дней с меридиональным (С) и западным (W) типами циркуляции и значительное увеличение числа дней с восточным (E) типом. В летний период (март–октябрь) наблюдается тенденция к увеличению числа дней с типами циркуляции С и E за счет значительного уменьшения повторяемости дней с типом W.

Для периода «современного» потепления (1980 г. – н/в) в холодное полугодие наблюдается увеличение повторяемостей форм циркуляции W, а в теплое полугодие — форм С и W, что является ситуацией, обратной той, которая отмечается за весь период наблюдений.

Анализ устойчивости синоптических процессов как продолжительности существования циркуляции с определенной формой показал, что для типа циркуляции E характерна большая устойчивость, нежели для типов С и W, и наблюдается тенденция к увеличению частоты установления типа E на период продолжительностью 5 дней и более.

В результате анализа пространственно-временной изменчивости атмосферной циркуляции участка Западной Арктики (район Норвежского и Баренцева морей) было выявлено преобладание неустойчивого и быстро изменяющегося по направлениям характера циркуляции в рассматриваемых районах. Из результатов вейвлет-анализа следует, что наибольший вклад во временную изменчивость 1983–2012 гг. значений градиента атмосферного давления, соответствующего направлению переноса с севера на юг (Данмарксхафн — Нью-Олесунн), вносят сезонные колебания. А для направления адвекции «запад — восток», характеризуемой градиентом давления Нью-Олесунн — Тромсё, периодические сезонные колебания, вносящие значимый вклад в изменчивость, проявляются не постоянно, но в течение периодов 1990–1995 гг. и 2010–2013 гг. В течение 1990–1993 гг. отмечается увеличение вклада в изменчивость колебаний с периодом более одного года. В остальное время вклад всех временных составляющих в изменчивость одинаков, что соответствует процессу белого шума.

Исследования выполнены в рамках плановой тематики НИОКР ЦНТП Росгидромета (раздел 1.5.3.7) и при поддержке российско-норвежских проектов: «Ис-фьорд — прошлый и современный климат» (Программа научного сотрудничества Росгидромет — Met-Norway), «Океанографический режим фьордов Шпицбергена на примере заливов Грен-фьорд и Билле-фьорд» (проект СПбГУ — Арктический университет Норвегии, г. Тромсё).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Г.В. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2015. Т. 1. С. 11–26.
- Алексеев Г.В., Кузьмина С.И., Уразгильдеева А.В., Бобылев Л.П. Влияние атмосферных переносов тепла и влаги на потепление в Арктике в зимний период // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2016. Т. 1. С. 43–63.

- Астафьева Н.М.* Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1996. Т. 166. № 11. С. 1145–1170.
- Безуглова Н.Н., Зинченко Г.С.* Региональные климатические проявления глобальной циркуляции атмосферы на юге Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2009. № 3. С. 83–87.
- Белоненко Т.В., Колдунов В.В., Старицын Д.К., Фукс В.Р., Шилов И.О.* Изменчивость уровня Северо-Западной части Тихого океана. СПб.: СМИО-Пресс, 2009. 309 с.
- Боков В.Н., Воробьев В.Н.* Изменчивость атмосферной циркуляции и изменение климата // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2010. № 13. С. 83–88.
- Вангенгейм Г.Я.* Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики // Труды ААНИИ. 1952. Т. 34. С. 1–52.
- Гирс А.А.* Многолетние преобразования атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 280 с.
- Гирс А.А.* Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 488 с.
- Груза Г.Н., Ранькова Э.Я.* Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России. Обнинск: ФБГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. 194 с.
- Демин В.И., Священников П.Н., Иванов Б.В.* Изменения крупномасштабной циркуляции атмосферы и современное потепление климата на Кольском полуострове // Вестник Кольского научного центра РАН. 2014. Т. 84. № 2. С. 101–105.
- Зверева А.Е.* Спектральный и вейвлет-анализ аномалий уровня Японского моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 114–120.
- Куражов В.К., Иванов В.В., Коржиков А.Я.* Роль атмосферной циркуляции в формировании долгопериодных колебаний климата Арктики // Труды ААНИИ. 2007. Т. 447. С. 33–44.
- Мультиановский Б. П.* Основные положения синоптического метода долгосрочных прогнозов погоды. Ч. 1. М.: ЦУУГМС, 1933. 142 с.
- Орлов И.А., Сидоренков Н.С.* Атмосферные циркуляционные эпохи и изменения климата // Метеорология и гидрология. 2008. № 9. С. 22–29.
- Савичев А.И., Мироничева Н.П., Цепелев В.Ю.* Особенности колебаний атмосферной циркуляции в Атлантико-европейском секторе полушария в последние десятилетия // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2015. № 39. С. 120–131.
- ACI. Impacts of a Warming Arctic-Arctic Climate Impact Assessment // Impacts of a Warming Arctic-Arctic Climate Impact Assessment, by Arctic Climate Impact Assessment. UK: Cambridge University Press, 2004. 144 p.
- Day J. J., Bamber J. L., Valdes P. J., Kohler J.* The impact of a seasonally ice free Arctic Ocean on the temperature, precipitation and surface mass balance of Svalbard // The Cryosphere. 2012. № 6. P. 35–50.
- Gjelten H.M., Nordli Ø., Isaksen K., Førland E.J., Sviashchennikov P.N., Wyszynski P., Prokhorova U.V., Przybylak R., Ivanov B.V., Urazgildeeva A.V.* Air temperature variations and gradients along the coast and fjords of western Spitsbergen // Polar Research. 2016. Vol. 35. № 1. URL: https://www.researchgate.net/publication/305755045_29878-203023-1-SP [дата обращения 16.11.2017]
- Hagen J.O., Kohler J., Melvold K., Winther J.G.* Glaciers in Svalbard: mass balance, runoff and freshwater flux // Polar Research. 2003. Vol. 22. № 2. P. 145–159.
- Nilsen, F., Cottier F., Skogseth R., Mattsson S.* Fjord-shelf exchanges controlled by ice and brine production: the interannual variation of Atlantic Water in Isfjorden, Svalbard // Continental Shelf Research. 2008. Vol. 28. № 14. P. 1838–1853.

Pachauri R.K., Meyer L. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland. IPCC. 2014. 151 p.

Pavlov A.K., Tverberg V., Ivanov B.V., Nilsen F., Falk-Petersen S., Granskog M.A. Warming of Atlantic water in two west Spitsbergen fjords over the last century (1912–2009) // *Polar Research*. 2013. Vol. 32. URL: <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v32i0.11206> [дата обращения 01.11.2017]

Przybylak R., Araźny A., Kejna M. Topoclimatic diversity in Forlandsundet region (NW Spitsbergen) in global warming conditions. Oficyna Wydawnicza “Turpress”. 2012. URL: https://www.researchgate.net/profile/Rajmund_Przybylak/publication/261996139 [дата обращения 01.11.2017].

Tislenko D.I., Ivanov B.V. Long-term variability of Atlantic water temperature in the Svalbard fjords in conditions of past and recent global warming // *Czech Polar Reports*. 2015. № 5 (2). P. 134–142.

Zhuravskiy D., Ivanov B., Pavlov A. Ice conditions at Gronfjorden Bay, Svalbard, from 1974 to 2008. // *Polar Geography*. 2012. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1088937X.2012.662535> [дата обращения 01.11.2017].

U.V. PROKHOROVA, P.N. SVIASHCHENNIKOV, B.V. IVANOV

INVESTIGATION OF THE TEMPORARY VARIABILITY OF THE CHARACTERISTICS OF ATMOSPHERIC CIRCULATION IN THE AREA OF SPITSBERGEN

The article presents the results of a study of the temporal variability of atmospheric circulation in the Arctic region. The classification of atmospheric circulation forms according to Wangenheim — Girs for cold (November – April) and warm (March – October) periods of the year are used. We consider the repeatability of series with one form of circulation for gradations of duration and variability in time of this characteristic, as a parameter of stability of synoptic processes in the region under consideration. As additional characteristics, the horizontal gradients of the pressure field are calculated according to the atmospheric pressure at sea level. Estimates of the variability of the meridional and latitudinal directions of air advection are obtained.

Keywords: Arctic, climate change, circulation.

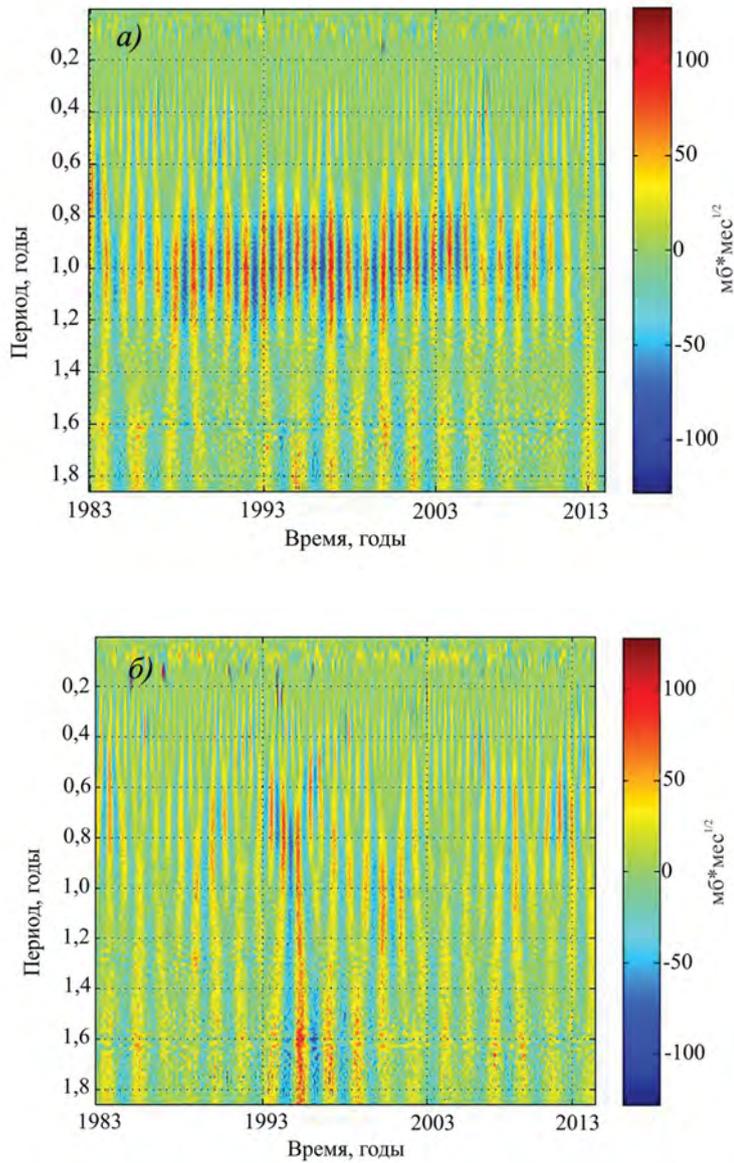


Рис. 4. Спектрограмма вейвлет-коэффициентов, рассчитанных для градиентов между пунктами Данмарксхафн — Нью-Олесунн (а) и Нью-Олесунн — Тромсё (б), в масштабе 1 год.