

КРУПНОМАСШТАБНАЯ АТМОСФЕРНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ НАД СИБИРЬЮ В КОНЦЕ XX – НАЧАЛЕ XXI ВЕКОВ: СРАВНЕНИЕ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ПРИЗЕМНЫХ СИНОПТИЧЕСКИХ КАРТ И РЕАНАЛИЗА

Н.В. Поднебесных, И.И. Ипполитов

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
Россия, 634055, г. Томск, Академический пр., 10/3; podnebesnykhmv@inbox.ru

Реферат. Неустойчивость погодных условий в Сибири определяется, главным образом, повторяемостью крупномасштабных атмосферных вихрей. Характер крупномасштабной атмосферной циркуляции меняется при изменении глобального климата. Цель данной работы – представить результаты сравнительного анализа характеристик барических образований на территории Сибири за период 1976-2015 гг. по данным приземных синоптических карт и карт, построенных с помощью реанализа. Область исследования была ограничена 50-70°с.ш., 60-110°в.д. Рассмотрены такие характеристики циклонов и антициклонов как их число, давление в центрах и продолжительность нахождения над исследуемой территорией. В работе показано, что при наличии некоторых количественных различий между числом барических образований, реанализ достаточно хорошо отражает качественную картину их временной изменчивости. В конце исследуемого периода, а именно в 2012-2015 гг. циклоны стали более глубокими, а антициклоны более интенсивными. При этом число барических образований увеличилось, а продолжительность уменьшилась.

Ключевые слова. Атмосферная циркуляция, циклоны, антициклоны, синоптические карты, реанализ, Сибирь.

Введение

Неустойчивость погодных условий региона определяется, главным образом, повторяемостью крупномасштабных атмосферных вихрей: циклонов, несущих облачность и осадки, и антициклонов, обеспечивающих периоды устойчивой погоды. Изменение крупномасштабной атмосферной циркуляции связано с потеплением климата, происходящим в последние десятилетия в Северном полушарии. Однако, как показывают расчёты (Груза, Ранькова, 2004; Ипполитов и др., 2004), темпы потепления неодинаковы в различных географических регионах. Поэтому изучение особенностей региональной циркуляции имеет существенное значение.

Исследованию влияния атмосферной циркуляции на климат посвящено большое число работ. Наиболее часто рассматриваются связи между климатическими параметрами и телеконнекционными индексами, описывающими, скорее, глобальную циркуляцию (NAO, SOI, SCAND и др.). В ряде

работ для описания циркуляции используются типизации, описывающие чередование определённых форм макропроцессов (индексы Дзердзеевского, Виттельса, Каца и др.) (Кононова, 2009). В появившихся в последние годы работах по исследованию циклонической и антициклонической активности (Gulev et al., 2001; Ioannidou, Yau, 2008) рассматриваются, полученные на основе баз данных реанализа, закономерности изменения вихревой активности как для полушария в целом, так и для отдельных регионов. Такие работы представляют большой интерес, однако, во-первых, их результаты должны быть протестированы с помощью аналогичных данных, получаемых с использованием синоптических карт, и, во-вторых, эти работы не связывают изменения в циркуляции с изменениями климата в рассматриваемых пространственных областях.

Цель данной работы – сравнительный анализ характеристик циклонов и антициклонов над территорией Сибири за период 1976-2015 гг. по данным приземных синоптических карт и карт, построенных с помощью реанализа.

Методы и материалы

Для анализа крупномасштабной атмосферной циркуляции за рассматриваемый период использовались приземные синоптические карты за основные метеорологические сроки (00, 06, 12 и 18 часов СГВ). В выбранном для исследования районе (50-70° с.ш.; 60-110° в.д.) прослеживались траектории перемещения центров барических образований (повторяемость), оценивалось давление в их центрах и продолжительность влияния на исследуемую территорию (Поднебесных, Ипполитов, 2017). В качестве циклона (антициклона) рассматривалась область пониженного (повышенного) давления при наличии хотя бы одной замкнутой изобары (5 мб) с характерной циркуляцией и структурой метеорологических полей (т.е. соответствующими циклону или антициклону переносу воздуха, распределением давления, облачности, осадков и т.д.). Результаты анализа характеристик вихрей, полученных с помощью приземных синоптических карт, сравнивались с результатами, полученными с помощью карт геопотенциала на уровне 1000 гПа, построенных на основе данных реанализа NCEP/DOE AMIP-II (Kanamitsu et al., 2002) 1979-2011 гг. и JRA-55 (Kobayashi et al., 2015) 2012-2015 гг.

Оценкам погрешностей в детектировании циклонов методами автоматического трекинга посвящена статья (Neu et al., 2013), а методом мануального трекинга статья (Поднебесных, Ипполитов, 2017).

Несмотря на то, что результаты проектов, использующих данные реанализа для различных исследований в области взаимодействия компонентов климатической системы и изменений климата, очень важны, следует подчеркнуть необходимость, там, где это возможно, сопоставления полей реанализа с полями, полученными на основе данных наблюдений. Это важно для получения объективной оценки возможности использования результатов реанализа для определенного класса задач и, прежде всего, для выявления ограничений их использования.

Результаты

Проведенный анализ траекторий движения центров барических образований, выполненный по данным приземных синоптических карт (Горбатенко и др., 2007) и по данным реанализа, показал неоднозначный характер связей результатов. Результаты сравнения числа барических образований представлены на рис. 1.

Из рисунка видно, что число циклонов и антициклонов по данным приземных синоптических карт превышает число барических образований по данным реанализа в среднем в 1.3 раза. Среднегодовое число циклонов в 1976-2015 гг. по данным приземных синоптических карт равно 52 ($\sigma = 17.6$; σ – стандартное отклонение), по данным реанализа – 45 ($\sigma = 14.7$); а антициклонов – 41 ($\sigma = 12.0$) и 34 ($\sigma = 6.6$) соответственно.

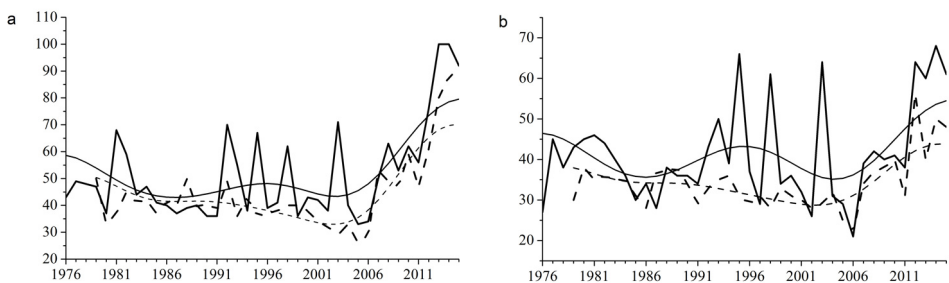


Рисунок 1. Число барических образований (циклонов (а), антициклонов (б)) по данным приземных синоптических карт (сплошная линия) и данным реанализа (прерывистая линия) над Сибирью за период 1976-2015 гг.

Здесь и на других рисунках плавные кривые получены применением НЧ-фильтра с точкой отсечения 10 лет

Изучение динамики числа барических образований показало, что среднее число циклонов, смещающихся по западным траекториям движения, по данным приземных синоптических карт, составляет 11, по данным реанализа – 10; смещающихся по северным траекториям движения – 21 и 16; смещающихся по южным траекториям движения – 20 и 18 соответственно. В то время как среднее число антициклонов, смещающихся по западным траекториям движения, по данным приземных синоптических карт, равно 10, по данным реанализа – 6; смещающихся по северным траекториям движения – 14 и 12; смещающихся по южным траекториям движения – 17 и 16 соответственно.

На рис. 1 видно увеличение числа как циклонов, так и антициклонов за последние годы. Обработка и анализ данных показали, что в 2012-2015 гг. основной вклад в увеличение числа как циклонов, так и антициклонов вносят барические образования, смещающиеся по северным и южным траекториям движения. Данный факт указывает на усиление меридионального и ослабление зонального переносов над территорией Сибири в последние годы.

По данным как приземных синоптических карт, так и реанализа, для многолетнего количества циклонов отмечается положительный значимый тренд

на уровне значимости $\alpha < 0.05$ (0.70 циклона/год и 0.64 циклона/год соответственно), наибольший вклад в который вносят северо-западные циклоны – по данным приземных синоптических карт и северо-западные и западные циклоны – по данным реанализа. Для многолетнего числа антициклонов как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа, наблюдается положительный значимый тренд (0.30 антициклона/год и 0.18 антициклона/год соответственно), наибольший вклад в который вносят западные и юго-восточные антициклоны – по данным приземных синоптических карт и юго-восточные антициклоны – по данным реанализа.

Во внутригодовом ходе числа барических образований как максимумы, так и минимумы наблюдаются в тёплый период года. Так максимальное число циклонов было зафиксировано в весенний период: по данным приземных синоптических карт – 578 за 1976-2015 гг. со средним годовым значением 15, а по данным реанализа – 468 со средним годовым значением 12. Минимальное число циклонов было зафиксировано в летний период: по данным приземных синоптических карт оно составляет 479 со средним годовым значением 12, а по данным реанализа – 373 со средним годовым значением 9.

Максимальное число антициклонов наблюдается в весенний период: по данным приземных синоптических карт оно составляет 475 за 1976-2015 гг. со средним годовым значением 12, а по данным реанализа – 373 со средним годовым значением 9. Минимальное число антициклонов по данным приземных синоптических карт наблюдается в зимний период – 359 со средним годовым значением 10. Минимальное число антициклонов по данным реанализа наблюдается в зимний и летний периоды: в зимний период оно составляет 283 со средним годовым значением 7, а в летний период – 286 со средним годовым значением 7.

На рис. 2 показано среднемесячное число циклонов и антициклонов за рассматриваемый период для территории Сибири. Для циклонов и антициклонов как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа максимум среднего числа отмечается в мае, а минимум в июле. Относительное усиление вихревой деятельности в весенне-летний сезон может быть обусловлено большими контрастами температур над территорией Сибири в области рек Обь и Енисей, и, как следствие, увеличением повторяемости барических образований, что согласуется с работой (Погосян, 1972). В то же время над остальной территорией Сибири отмечалось относительное ослабление вихревой деятельности в летний сезон из-за уменьшения контраста температур, что привело к сокращению числа барических образований (Горбатенко и др., 2007; Погосян, 1972).

Изучение многолетней динамики атмосферного давления в центрах барических образований (рис. 3) показало, что среднее многолетнее значение давления в центрах циклонов в 1976-2015 гг. по данным приземных синоптических карт, составляет 1000.3 гПа (изменяясь от 989.6 гПа до 1006.0 гПа), а по данным реанализа – 996.7 гПа (изменяясь от 992.1 гПа до 1000.7 гПа). Среднее многолетнее значение давления в центрах антициклонов, по данным приземных синоптических карт, равняется 1030.9 гПа (изменяясь от

1026.3 гПа до 1040.5 гПа), а по данным реанализа – 1027.0 гПа (изменяясь от 1022.9 гПа до 1035.8 гПа).

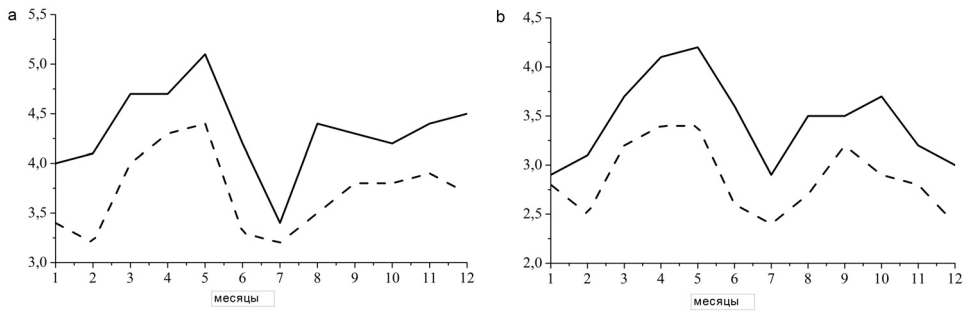


Рисунок 2. Среднемесячное число барических образований (циклонов (а), антициклонов (б)) по данным приземных синоптических карт (сплошная линия) и данным реанализа (прерывистая линия) над Сибирью за период 1976-2015 гг.

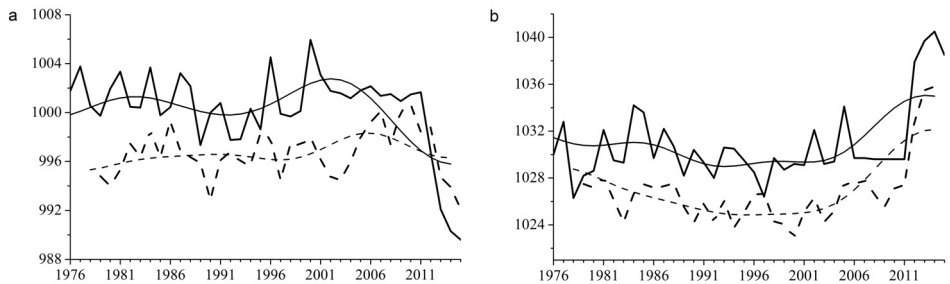


Рисунок 3. Давление в центрах (гПа) барических образований (циклонов (а), антициклонов (б)) по данным приземных синоптических карт (сплошная линия) и данным реанализа (прерывистая линия) над Сибирью за период 1976-2015 гг.

Так же анализ средних многолетних значений давления в центрах барических образований выявил, что наиболее глубокими за 1976-2015 гг. являются циклоны,двигающиеся на исследуемую территорию с северо-западного направления как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа. Наименее глубокими оказались местные циклоны, что не удивительно, поскольку данные циклоны являются неглубокими барическими образованиями с небольшой продолжительностью жизни. Наиболее высокими антициклонами являются юго-восточные, а наименее высокими северные антициклоны – по данным приземных синоптических карт и западные антициклоны – по данным реанализа.

На рис. 3 отчетливо видно падение давления в центрах циклонов (рис. 3а) и рост давления в центрах антициклонов (рис. 3б) за последние годы. Если же учесть тот факт, что число барических образований в данный период увеличилось, а продолжительность уменьшилась как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа, то можно сказать что все эти факторы являются иллюстрацией неустойчивости атмосферной циркуляции и – как следствие – нестабильности погоды в последние годы.

Обработка и анализ данных показали, что в 2012-2015 гг. основной вклад в углубление циклонов вносят вихри, смещающиеся по северо-западным траекториям как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа; а основной вклад в интенсификацию антициклонов вносят вихри, смещающиеся по юго-восточным траекториям (по данным приземных синоптических карт), и вихри, смещающиеся по северным траекториям (по данным реанализа).

По данным приземных синоптических карт тренд среднего многолетнего давления в центрах циклонов отрицательный (-0.12 гПа/год), значимый на уровне значимости $\alpha < 0.05$. По данным реанализа тренд положительный (0.03 гПа/год) и незначимый. Тренд среднего многолетнего давления в центрах антициклонов как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа, положительный (0.12 гПа/год и 0.13 гПа/год соответственно) и значимый.

Рассмотрение внутрigoдового хода давления в центрах барических образований по данным приземных синоптических карт и карт, построенных с помощью реанализа, показало, что наиболее глубокими они являются в зимний период, а наименее глубокими – в весенний период. Что касается антициклонов, то наиболее интенсивными они являются в зимний период, а наименее интенсивными в летний период.

Относительное ослабление циклонов в холодный период года, как и относительное усиление антициклонов в зимний сезон, обусловлено господством зимнего Азиатского антициклона над изучаемой территорией (Бордовская, Цибульский, 1976). В то время как относительное усиление циклонов в весенний сезон обусловлено интенсивным циклогенезом в данный период года, а относительное ослабление антициклонов в летний сезон уменьшением температурных контрастов (Погосян, 1972).

При рассмотрении многолетнего межгодового хода давления в центрах барических образований обнаружено, что во второй половине рассматриваемого периода давление в центрах циклонов по данным приземных синоптических карт ниже, чем в первой половине. По данным реанализа оно несколько выше. Давление в центрах антициклонов во второй половине рассматриваемого периода несколько выше, чем в первой половине (рис. 3). Это говорит о том, что во второй половине исследуемого периода циклоны по данным приземных синоптических карт стали более глубокими, а по данным реанализа – менее глубокими, а антициклоны более интенсивными как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа.

Проведены сравнения продолжительности воздействия барических образований на исследуемую территорию по результатам, полученным при обработке приземных синоптических карт, и карт, построенных с помощью реанализа. Средняя многолетняя продолжительность циклонов составила 7 суток как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа ($\sigma = 2.0$ и 2.3 соответственно) (рис. 4). Продолжительность антициклонов составила 11 суток ($\sigma = 3.3$) по данным приземных синоптических карт и 10 суток ($\sigma = 2.5$) по данным реанализа. Средняя годовая продолжительность общего воздей-

ствия на исследуемую территорию циклонов меньше, чем антициклонов, т.е. в течение года антициклональная погода наблюдалась над территорией Сибири чаще, чем циклоническая.

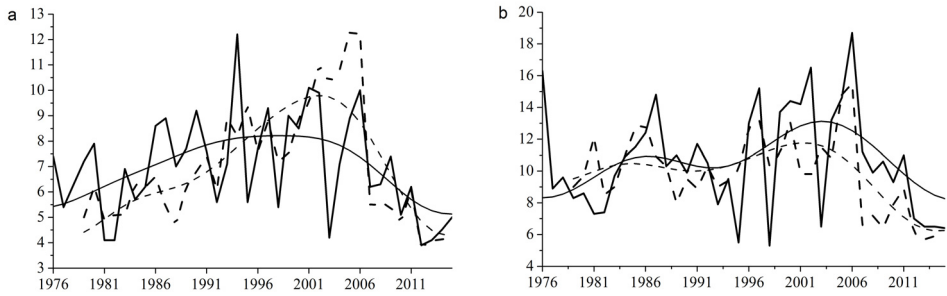


Рисунок 4. Продолжительность (сутки) воздействия барических образований (циклонов (а), антициклонов (б)) по данным приземных синоптических карт (сплошная линия) и данным реанализа (прерывистая линия) над Сибирью за период 1976-2015 гг.

Анализ средних многолетних значений продолжительности воздействия циклонов и антициклонов выявил, что наиболее продолжительными за весь период исследования являются циклоны,двигающиеся на исследуемую территорию с северо-западного направления как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа. Их продолжительность составляет 8.4 и 8.0 суток соответственно. Наименее продолжительны местные циклоны, их продолжительность составляет 2.9 суток. Наиболее продолжительными антициклонами являются северо-западные и западные – по данным приземных синоптических карт и северо-западные – по данным реанализа. Их продолжительность составляет 9.8 и 9.4 суток соответственно. Наименее продолжительны юго-западные антициклоны – по данным приземных синоптических карт и юго-восточные антициклоны – по данным реанализа. Их продолжительность составляет 7.8 и 6.9 суток соответственно.

На рис. 4 видно, что в 2012-2015 гг. как циклоны, так и антициклоны стали менее продолжительными как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа. Наименее продолжительными как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа, являются местные циклоны. По данным приземных синоптических карт наименее продолжительными являются юго-западные антициклоны, а по данным реанализа – юго-восточные антициклоны.

По данным приземных синоптических карт тренд средней многолетней продолжительности циклонов отрицательный (-0.02 суток/год) и незначимый. Наибольший вклад в него вносят северо-западные циклоны. По данным реанализа тренд положительный (0.02 суток/год) и незначимый. Наибольший вклад в него так же вносят северо-западные циклоны. Тренд средней многолетней продолжительности антициклонов по данным приземных синоптических карт отрицательный (-0.01 суток/год) и незначимый. Наибольший вклад в него вносят северо-западные и западные антициклоны. По данным реанализа тренд отрицательный (-0.08 суток/год) и значимый. Наибольший вклад в него вносят северо-западные антициклоны.

Над территорией Сибири в период 1976-2015 гг. по данным приземных синоптических карт отмечалось уменьшение продолжительности циклонической погоды, а по данным реанализа – уменьшение продолжительности антициклональной погоды.

Изучение сезонного распределения продолжительности барических образований показало, что наименее продолжительны циклоны весной как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа – 6 суток, а наиболее продолжительны осенью – 8 и 7 суток соответственно. Что касается антициклонов, то наименее продолжительны антициклоны летом как по данным приземных синоптических карт – 9 суток, так и по данным реанализа – 8 суток, а наиболее продолжительны антициклоны зимой – 13 и 11 суток соответственно.

Заключение

Таким образом, в результате проведенного сравнения барических образований и их характеристик по данным приземных синоптических карт и карт, построенных с помощью реанализа, обнаружено, что, несмотря на некоторые количественные различия между числом барических образований, на качественном уровне реанализ достаточно хорошо отражает реальную картину их временной изменчивости.

Над Сибирью в 1976-2015 гг. в холодный период года характеристики циклонов и антициклонов были связаны с активной деятельностью Азиатского антициклона и частым проявлением приземного антициклогенеза, а также большими контрастами температур и усилением зональной западной циркуляции. В теплый период года на характеристики барических образований оказывает влияние уменьшение контраста температур, нарушение (ослабление) зональной западной циркуляции (усиление меридиональной циркуляции), усиление фронтогенетического механизма образования циклонов и антициклонов. Это обуславливает подвижный цикло- и антициклогенез, и влияние термического механизма образования циклонов и антициклонов, что приводит к возникновению местных барических образований. Этот механизм преимущественно связан с влиянием подстилающей поверхности.

В конце 2012-2015 гг. циклоны стали более глубокими, а антициклоны более интенсивными. Если учесть, что число барических образований в данный период увеличилось, а продолжительность уменьшилась как по данным приземных синоптических карт, так и по данным реанализа, то можно сказать что все это иллюстрирует возросшую неустойчивость атмосферной циркуляции и как следствие – нестабильность погоды в последние годы в данном регионе.

Список литературы

Бордовская Л.И., Цибульский А.Е. 1976. Повторяемость и скорость движения циклонов и антициклонов над Западной Сибирью. – Вопросы географии Сибири, вып. 9, с. 22-29.

Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Поднебесных Н.В. 2007. Циркуляция атмосферы над Западной Сибирью в 1976-2004 гг. – Метеорология и гидрология, № 5, с. 28-36.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я. 2004. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата. – Метеорология и гидрология, № 4, с. 50-67.

Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Комаров А.И., Кусков А.И. 2004. Современные природно-климатические изменения в Сибири: ход среднегодовых приземных температур и давления. – География и природные ресурсы, № 3, с. 90-96.

Кононова Н.К. 2009. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзержевскому. – М., Воентехиниздат, 372 с.

Погосян Х.П. 1972. Общая циркуляция атмосферы. – Л., Гидрометеиздат, 396 с.

Поднебесных Н.В., Ипполитов И.И. 2017. Характеристики циклонов и антициклонов над Сибирью в конце XX - начале XXI века. – Метеорология и гидрология, № 4, с. 27-37.

Gulev S., Zolina O., Grigoriev S. 2001. Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data. – Climate Dynamics, vol. 17, pp. 795-809.

Ioannidou L., Yau M.K. 2008. A climatology of the Northern Hemisphere winter anticyclones. – Journal Geophysical Research, vol. 113, pp. D081119/1 - D081119/17.

Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., Yang S.-K., Hnilo J.J., Fiorino M., Potter G.L. 2002. NCEP-DOE AMIP-II reanalysis (R-2). – American Meteorological Society, pp. 1631-1643.

Kobayashi S., Ota Y., Harada Y., Ebata A., Moriya M., Onoda H., Onogi K., Kamahori H., Kobayashi C., Endo H., Miyaoka K., Takahashi K. 2015. The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. – Journal of the Meteorological Society of Japan, vol. 93, No. 1, pp. 5-48.

Neu U., Akperov M.G., Bellenbaum N., Benestad R., Blender R., Caballero R., Coccozza A., Dacre H.F., Feng Y., Fraedrich K., Grieger J., Gulev S., Hanley J., Hewson T., Inatsu M., Keay K., Kew S.F., Kindem I., Leckebusch G.C., Liberato M.L.R., Lionello P., Mokhov I.I., Pinto J.G., Raible C.C., Reale M., Rudeva I., Schuster M., Simmonds I., Sinclair M., Sprenger M., Tilinina N.D., Trigo I.F., Ulbrich S., Ulbrich U., Wang X.L., Wernli H. 2013. IMILAST: a community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms. – Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 94, No. 4, pp. 529-547.

LARGE-SCALE ATMOSPHERIC CIRCULATION OVER SIBERIA AT THE END OF XX AND THE BEGINNING OF XXI CENTURIES: A COMPARISON OF DATA OBTAINED ON THE BASIS OF SURFACE SYNOPTIC CHARTS AND THE REANALYSIS

N.V. Podnebesnykh, I.I. Ippolitov

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
10/3, Academicheskoy ave., 634055, Tomsk, Russian Federation; podnebesnykhnv@inbox.ru

Abstract. Instability of weather conditions in Siberia is mainly determined by the recurrence of large-scale atmospheric eddies. The pattern of large-scale atmospheric circulation changes as the global climate changes. The purpose of this work is to present results of comparative analysis of the characteristics of pressure systems in Siberia in 1976-2015 using the surface synoptic maps and maps based on reanalysis data. The study area was limited to the rectangle 50-70°N by 60-110°E. Such characteristics of cyclones and anticyclones as their number, pressure in the centers and duration of stay over the territory are considered. The paper shows that despite of some quantitative differences between numbers of pressure systems, the reanalysis quite well reflects the qualitative picture of their temporal variability. At the end of the study period, namely in 2012-2015, cyclones became deeper, and anticyclones more intense. Simultaneously, the number of pressure systems increased, and the duration decreased.

Keywords. Atmospheric circulation, cyclones, anticyclones, synoptic charts, reanalysis, Siberia.

References

Bordovskaya L.I., Cibul'skij A.E. 1976. Povtoryaemost' i skorost' dvizheniya ciklonov i anticiklonov nad Zapadnoj Sibir'yu [Repeatability and speed of cyclones and anticyclones over Western Siberia]. *Voprosy geografii Sibiri – Siberian Geography Issues*, vol. 9, pp. 22-29.

Gorbatenko V.P., Ippolitov I.I., Podnebesnyh N.V. 2007. Cirkulyaciya atmosfery nad Zapadnoj Sibir'yu v 1976-2004 gg. [Atmospheric circulation over Western Siberia in 1976-2004]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 5, pp. 28-36.

Gruza G.V., Ran'kova E.Ya. 2004. Obnaruzhenie izmenenij klimata: sostoyanie, izmenchivost' i ekstremal'nost' klimata [Climate change detection: condition, variability and extremes]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 4, pp. 50-67.

Ippolitov I.I., Kabanov M.V., Komarov A.I., Kuskov A.I. 2004. Sovremennye prirodno-klimaticheskie izmeneniya v Sibiri: hod srednegodovyh prizemnyh

temperatur i davleniya [Modern climatic changes in Siberia: the course of average annual surface temperatures and pressures]. *Geografiya i prirodnye resursy – Geography and natural resources*, no. 3, pp. 90-96.

Kononova N.K. 2009. *Klassifikaciya cirkulyacionnyh mekhanizmov Severnogo polushariya po B.L. Dzerdzeevskomu* [Classification of the circulation mechanisms of the Northern Hemisphere according to B.L. Dzerdzeevsky]. Moscow, 372 p.

Pogosyan H.P. 1972. *Obshchaya cirkulyaciya atmosfery* [General circulation of the atmosphere]. St. Petersburg, 396 p.

Podnebesnyh N.V., Ippolitov I.I. 2017. Harakteristiki ciklonov i anticiklonov nad Sibir'yu v konce XX – nachale XXI veka [Characteristics of cyclones and anticyclones over Siberia in the late XX - early XXI century]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 4, pp. 27-37.

Gulev S., Zolina O., Grigoriev S. 2001. Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data. – *Climate Dynamics*, vol. 17, pp. 795-809.

Ioannidou L., Yau M.K. 2008. A climatology of the Northern Hemisphere winter anticyclones. – *Journal Geophysical Research*, vol. 113, pp. D081119/1 - D081119/17.

Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., Yang S.-K., Hnilo J.J., Fiorino M., Potter G.L. 2002. NCEP-DOE AMIP-II reanalysis (R-2). – *American Meteorological Society*, pp. 1631-1643.

Kobayashi S., Ota Y., Harada Y., Ebata A., Moriya M., Onoda H., Onogi K., Kamahori H., Kobayashi C., Endo H., Miyaoka K., Takahashi K. 2015. The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. – *Journal of the Meteorological Society of Japan*, vol. 93, No. 1, pp. 5-48.

Neu U., Akperov M.G., Bellenbaum N., Benestad R., Blender R., Caballero R., Coccozza A., Dacre H.F., Feng Y., Fraedrich K., Grieger J., Gulev S., Hanley J., Hewson T., Inatsu M., Keay K., Kew S.F., Kindem I., Leckebusch G.C., Liberato M.L.R., Lionello P., Mokhov I.I., Pinto J.G., Raible C.C., Reale M., Rudeva I., Schuster M., Simmonds I., Sinclair M., Sprenger M., Tilinina N.D., Trigo I.F., Ulbrich S., Ulbrich U., Wang X.L., Wernli H. 2013. IMILAST: a community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms. – *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 94, No. 4, pp. 529-547.