

ОСОБЕННОСТИ ЦИКЛОГЕНЕЗА НАД ТЕРРИТОРИЕЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ЗА ПЕРИОД 1976–2015 ГГ.

Е.Л. Тунаев^{1,2}, В.П. Горбатенко², Н.В. Поднебесных³

*¹Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды, г. Новосибирск*

*²Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск*

*³Институт мониторинга климатических и экологических
систем СО РАН, г. Томск
eug_t@mail2000.ru*

Введение

Комплексный региональный мониторинг процессов изменения климата над территорией Западной Сибири [1], включающий исследования циркуляционных процессов [7] и их роли в обеспечении этих изменений [9], не позволил выделить вклад процесса местного циклогенеза в наблюдаемые изменения. Одним из активных очагов циклогенеза является междуречье Обь-Иртыш. Известно [8], что число циклонов, возникших непосредственно над территорией Сибири, составляет примерно 20 % от всех циклонов, определяющих погоду этой территории. Трудно переоценить роль местного циклогенеза в оправдываемости региональных прогнозов. Более того, циклоны умеренных широт являются важнейшими элементами общей циркуляции атмосферы [14], учет генерации и регенерации которых позволит улучшить не только мезомасштабные прогностические модели, но и модели больших масштабов. В образовавшихся циклонах погода становится неустойчивой, возможно выпадение значительного количества осадков, усиление контрастов температуры и давления. Поскольку образование таких циклонов не всегда поддается прогнозированию, это может найти отражение в качестве прогноза погоды, особенно осадков [21, 22]. Причиной тому является редкая для обширной территории Западной Сибири сеть метеорологических станций, не позволяющая получать информацию о полях метеорологических величин с достаточным разрешением, а также влияние местного циклогенеза. В связи с вышесказанным, актуально более подробное исследование характеристик циклонов, образовавшихся над Западной Сибирью за продолжительный период времени.

Целью настоящих исследований является изучение активности местного циклогенеза, влияющего на погоду на территории Западной Сибири, ограниченной $50\text{--}64^\circ$ с. ш. и $60\text{--}90^\circ$ в. д. за период 1976–2015 гг.

Исследуемая территория занимает обширные пространства от Большого Васюганского болота на севере до степей юга Сибири и севера Казахстана, от междуречья Обь-Иртыш на западе до Среднесибирского плоскогорья и гор Алтая на востоке. Все это, в свою очередь, определяет наличие разных условий для формирования и развития местных циклонов: диаметр, интенсивность и продолжительность жизни, высота (степень вертикального развития) и пр. Из ранних исследований циклонической активности над Западной Сибирью наиболее детальные принадлежат Л.И. Бордовской и К.И. Поповой [3, 18]. Кроме циклонов, приходящих на исследуемую территорию с разных направлений, были выделены два обширных очага регенерации и генерации местных циклонов – в районе от Ямала до Обской губы и в междуречье Иртыша и Тобола. Было обнаружено, что за период 1963–1967 гг. над Западной Сибирью образовалось 78 циклонов, причем меньшее их число образовалось зимой (только 11), а летом и в переходные сезоны (весной и осенью) их образовывалось по четыре циклона ежесезонно [4]. Из более поздних исследований по циклогенезу можно выделить работы авторов, которые рассматривали общую динамику его изменения в разном пространственном разрешении [5, 6], в том числе для территории России [10, 11, 13, 16] и отдельно – для Западной Сибири [12, 19, 20].

Для анализа характера циркуляции над Сибирью нами были использованы приземные синоптические карты за основные метеорологические сроки (00, 06, 12 и 18 ч ВСВ) за период 1976–2007 гг., приземные кольцевые карты погоды (за сроки 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 и 21 ч ВСВ) за период 2008–2015 гг., а также карты барической топографии из архива данных Западно-Сибирского регионального информационно-вычислительного центра.

В качестве местных циклонов рассматривалась область пониженного давления при наличии хотя бы одной замкнутой изобары с характерной циркуляцией и структурой метеорологических полей. Рассматривались только те барические образования, которые обнаруживались на кольцевых картах погоды не менее четырех соседних сроков, а на приземных синоптических картах – не менее двух сроков. Для данных циклонов оценивались такие характеристики, как их число, среднее давление в центрах и продолжительность влияния на исследуемую территорию. Сопоставлялись результаты анализа приземных синоптических, кольцевых карт погоды с картами барической топографии.

В ходе исследований все образовавшиеся циклоны были исследованы по ряду признаков: по характеру синоптической ситуации, на фоне которой они образуются; по интенсивности и степени развития, по району локализации центра; траектории смещения; высоты развития в толще атмосферы (для выявления степени вертикального развития циклонов), а также анализировалась сезонная составляющая циклогенеза.

Многолетняя и внутригодовая динамика

Анализируя общую за год повторяемость местных циклонов и продолжительности их суммарного воздействия на исследуемую территорию (суммарную продолжительность жизни), можно заметить ее квазициклический характер (рис. 1). Отмечаются периоды с относительно низкой циклонической активностью (1976–1987 и 1999–2007 гг.) и периоды с повышенным циклогенезом (1989–1998 и 2008–2015 гг.), когда в сумме за год местные циклоны повторялись от 29 до 46 раз и оказывали влияние на территорию Западной Сибири в среднем от четырех до шести дней каждый.

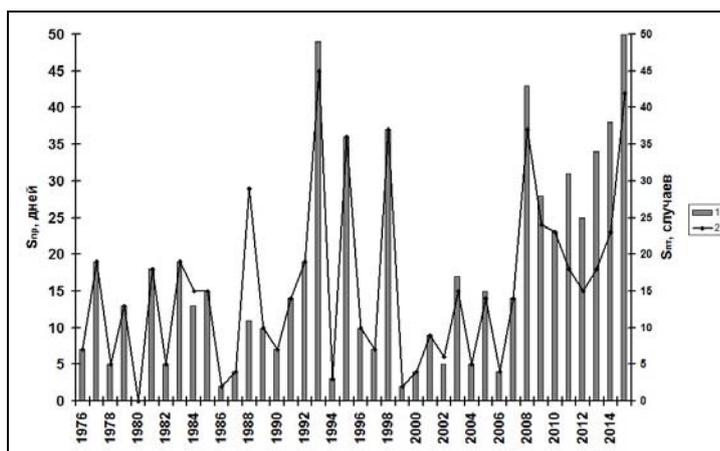


Рис. 1. Суммарная: 1 – продолжительность влияния местных циклонов (Sпр); 2 – повторяемость образования (Sпт) местных циклонов.

Во внутригодовом распределении местных циклонов (рис. 2) прослеживается значительное повышение их числа и продолжительности жизни (рис. 3) в августе (в среднем до 2,5 случаев) с наименьшим давлением в центре в июне-июле (среднее давление 1000 гПа, при минимальных

значениях 971–989 гПа). Это может быть связано с тем, что на вторую половину лета приходится наибольший прогрев земной поверхности при наличии дополнительного увлажнения с территории Васюганских болот.

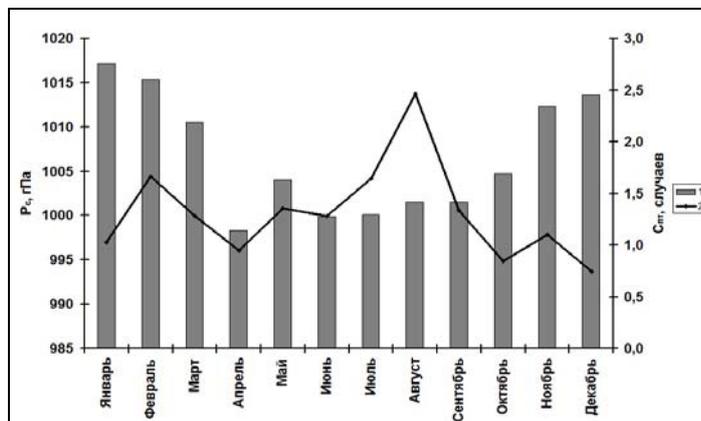


Рис. 2. Внутригодовое распределение: 1 – среднемесячных значений давления у поверхности Земли (P_c); 2 – среднего числа местных циклонов ($C_{пт}$) за период 1976–2015 гг.

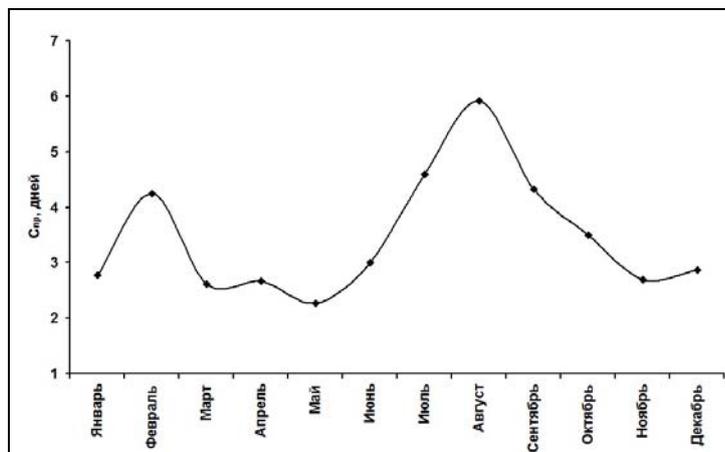


Рис. 3. Внутригодовое распределение средней продолжительности жизни местных циклонов ($C_{пр}$) за период 1976–2015 гг.

Вследствие этого усиливаются вертикальные восходящие потоки воздуха, отмечается в целом пониженный фон атмосферного давления, что влечет за собой повышенный циклогенез. Зимой же часто происходят блокирующие процессы (блокирующие антициклоны), и местные циклоны в этой ситуации, как правило, образуются в относительно повышенном поле давления (1010–1017 гПа). Тем не менее замечено некоторое увеличение числа местных циклонов во вторую половину зимы (январь–март), что, возможно, связано с активной циклонической деятельностью на севере Сибири. По-видимому, сказывается влияние Исландской депрессии, которая является одним из основных центров действия атмосферы и генератором циклонов, приходящих на исследуемую территорию с севера [2].

Замечено, что за период с 1975 по 2014 г. в северной широтной зоне прослеживается тенденция к общему понижению атмосферного давления вследствие усиления общей циклонической деятельности [17], которая, согласно настоящим исследованиям, сохраняется и в последние годы (рис. 4).

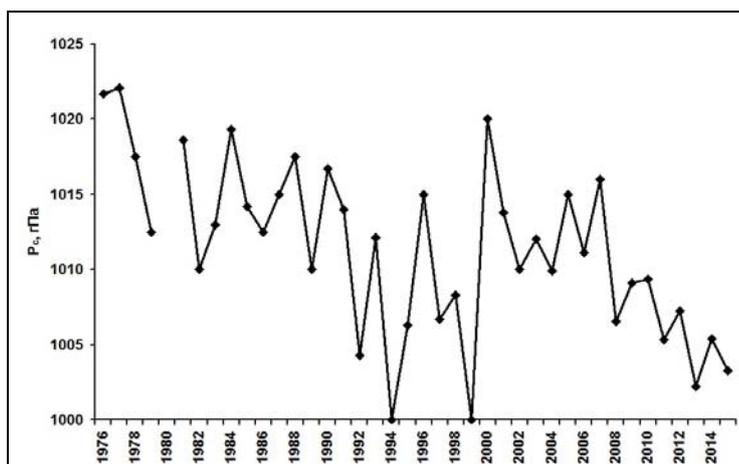


Рис. 4. Среднегодовое значение давления в центре местного циклона (P_c).

Эта динамика сказывается на давлении в центре образующихся над территорией юго-востока Западной Сибири местных циклонов. Поскольку местные циклоны становятся более глубокими, это, в свою очередь, может значительно повлиять на характер погодных условий и их предсказуемость. В начале периода 1976–2004 гг. давление находилось в

интервале 1010–1022 гПа, к концу периода оно уменьшилось на 8–12 гПа. Выявленная ранее [8] тенденция к понижению давления прослеживается, согласно настоящим исследованиям, и в последние 11 лет (абсолютный минимум давления 971 гПа наблюдался 17 сентября 2014 года).

Характеристики циклонов в зависимости от синоптических условий их образования

По характеру синоптической ситуации, господствовавшей над Западной Сибирью во время местного циклогенеза, было выделено четыре основных типа циклонических вихрей:

первый тип – циклоны, образовавшиеся на волнах фронтальных систем;

второй тип – несколько образовавшихся одновременно или поочередно заполняющихся и вновь образующихся циклонов (серия волновых циклонов);

третий тип – циклоны, образовавшиеся на вторичных (приземных) фронтах;

четвертый тип – другие циклоны.

Чаще других над территорией юго-востока Западной Сибири формируются циклоны на волнах фронтальных систем (рис. 5), так называемые волновые циклоны (в 52 % случаев). На втором месте по повторяемости встречаются циклоны, образовавшиеся также на волнах фронтальных систем и смещающиеся сериями (в 22 % случаев). Это происходит, когда за небольшой период времени возникают несколько циклонов, которые могут заполняться и образовываться вновь.

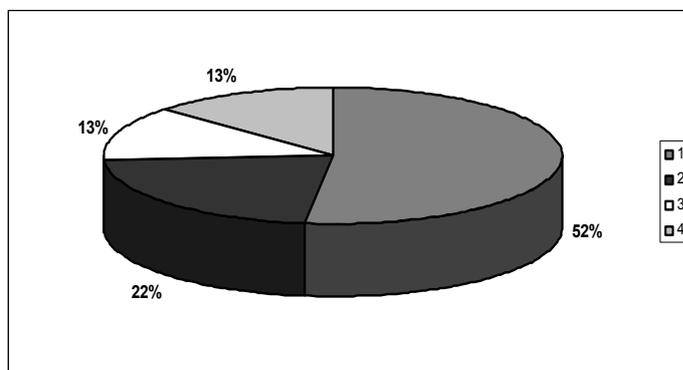


Рис. 5. Соотношение циклонов по характеру синоптического происхождения за период 2008–2015 гг.

Циклоны, образующиеся на приземных (вторичных) фронтах, и циклоны другого генезиса (такие, как циклоны, образовавшиеся в ложбине основной барической депрессии и малоподвижные циклоны) образуются в 13 % случаев каждый. В табл. 1 приведены основные характеристики каждой из групп в отдельности.

Таблица 1. Общие характеристики циклонов, классифицированных по синоптическому происхождению за период 1976–2015 гг.

Характеристики циклонов		1 тип	2 тип	3 тип	4 тип
Повторяемость, случаев (%)		107 (52)	45 (22)	27 (13)	26 (13)
Давление в центре, гПа	Среднее	1004	1000	1010	1007
	Минималн.	972	971	987	992
Продолжительность жизни, дней	Средняя	1,3	1,8	1,3	1,3
	Максималн.	6	6	5	5
Наиболее частое место зарождения		север	север, центр	север	север
Преобладающие траектории перемещения		юго-западные, западные	западные	западные, юго-западн. малоподвижные	южные, малоподвижные

Первый тип циклонов. Имеют наибольшую из рассматриваемых циклонов мощность вертикального развития, достигают высот 9 км (средняя высота составляет 4 км). Чаще всего такие барические образования возникают на севере территории в районе расположенном вблизи городов Тобольск и Ханты-Мансийск на западе и до Колпашево и Александровское на востоке. Смещаются такие циклоны с юго-западной составляющей на северо-восток, в районы Красноярского края. Минимальное давление в центрах понижается до 972 гПа при среднем значении 1004 гПа, средняя продолжительность жизни таких циклонов редко превышает два дня при максимальном периоде влияния около 6 дней.

Циклоны второго типа формируются преимущественно на севере и в центре территории, достигая высот 7,5 км над поверхностью земли, и смещаются с западной составляющей на восток на районы Красноярского края. Это наиболее глубокие по интенсивности и долгоживущие формы циклонов. Минимальное давление в центре достигает 971 гПа при среднем значении 1000 гПа. Средняя продолжительность жизни такого циклона достигает двух дней.

Циклоны третьего типа образуются в относительно повышенном поле атмосферного давления (минимальное давление в центре достигает 987 гПа при среднем значении 1010 гПа). Возникают они на севере территории, смещаются на восток с западной, юго-западной составляющей, либо

остаются малоподвижными. Средняя продолжительность жизни такого циклона около одного дня, а максимальная достигала 5 дней.

Циклоны четвертого типа возникают также над северными районами территории, смещаясь в половине случаев с южной составляющей на север Сибири на районы Обской Губы и полуострова Ямал, либо оставаясь малоподвижными. Минимальное давление в центре достигает 992 гПа при среднем значении 1007 гПа. При средней продолжительности жизни таких циклонов чуть более одного дня, максимальный период влияния может достигать 5 дней.

В целом, циклоны, образующиеся над территорией юго-востока Западной Сибири, имеют волновую природу. При волновом процессе на фронте сложно спрогнозировать, произойдет ли углубление ложбины и образование местного циклона на конкретной волне, или она пройдет, не получив достаточного развития. Это самые глубокие, достаточно высокие и долгоживущие циклоны. На практике, образующиеся местные волновые циклоны могут значительно исказить ожидаемое барическое поле, замедлив процесс. Например, зимой при такой ситуации бывает замедление процесса затока холода с севера (волна на холодном фронте поддерживает его, не давая провалиться далеко на юг). Это, в свою очередь, меняет поле температур, осадков, ветра и давления, и прогноз не оправдывается, либо оправдывается, но в значительно меньшей степени. Или другой пример: когда ожидается прохождение через обслуживаемую территорию только ложбины с фронтальной системой, прогнозируется определенный набор метеопараметров. На практике же образуются волновые циклоны, а это уже совсем иная синоптическая ситуация. С этими барическими образованиями могут быть связаны более значительные осадки, особенно если над территорией, для которой составляется прогноз, располагается центр циклона. Все это, в значительной степени, создает трудности для качественного прогнозирования погодных условий. Поскольку местные циклоны всех выделенных типов могут определять погоду на исследуемой территории от одного до 5–6 дней, представляют интерес характеристики циклонов в зависимости от продолжительности их жизни.

Характеристики циклонов в зависимости от продолжительности их жизни

Все циклоны, образующиеся над территорией Западной Сибири, были поделены на три группы:

- I группа – циклоны с продолжительностью жизни до одних суток;
- II группа – циклоны, живущие 2–3 дня;

III группа – циклоны, продолжительность жизни которых составляет 4–6 дней.

Из табл. 2 видно, что чаще других (в 74 % случаев) над территорией юго-востока Западной Сибири формируются циклоны I группы. Они проходят все стадии развития (от стадии молодого вихря до полного заполнения) в течение одних суток. Это наименее глубокие барические образования (минимальное давление в центре достигает значения 979 гПа при средних показателях в 1005 гПа). Эти циклоны имеют волновой характер, образуются, как и циклоны других групп, преимущественно на севере региона и смещаются с западной, юго-западной составляющей на районы Красноярского края и полуострова Таймыр. Высота развития таких вихрей может достигать 8 км. Данный результат оказался неожиданным, так как предполагалось, что за одни сутки циклон не может получить значительного вертикального развития.

Таблица 2. Общие характеристики циклонов, классифицированных по продолжительности жизни за период 1976–2015 гг.

Характеристики циклонов		I группа	II группа	III группа
Повторяемость, случаев (%)		152 (74)	46 (22)	7 (3)
Давление в центре, гПа	Среднее	1005	1001	995
	Минимальное	979	971	971
Наибольшая высота развития, км	Средняя	8	7	9
	Максимальная	9	9	9
Наиболее характерное синоптическое происхождение		волновые циклоны	волновые, серии циклонов	серии циклонов
Наиболее частое место зарождения		север	север	север
Преобладающие траектории перемещения		юго-западные западные	западные	юго-западные

В три раза реже (22 % от общего количества случаев) встречаются циклоны II группы, проживающие 2–3 дня. Эти циклоны имеют волновой характер, зачастую образуются на севере территории и смещаются сериями. Средняя высота развития таких вихрей составляет около 7 км при минимальном значении давления в центре в 971 гПа (среднее значение около 1001 гПа).

В III группу входят циклоны, живущие более 3 дней, а точнее 4–6 дней. Это наиболее редко встречающийся вид циклонов (3 %).

Для синоптика при прогнозировании различных параметров атмосферы (температура, осадки, давление, ветер и др.) одним из основополагающих факторов является прогноз барического поля (основных барических образований). Наибольший интерес представляют местные циклоны,

которые быстро образуются над территорией Западной Сибири и существуют не более суток. Как оказалось, такие циклоны имеют наибольшую повторяемость, поэтому они представляют большой интерес для практикующего специалиста гидрометслужбы. Эти циклоны менее интенсивные (имеют более высокое, по сравнению с остальными, давление в центре), имеют волновой характер, т. е. могут образоваться на любой волне (сложно оценить предпосылки этого), и достаточно развиты по вертикали. У циклонов, живущих более одних суток, легче проследить траекторию их движения и учесть ее в прогнозе, только с меньшей заблаговременностью.

Основные результаты, полученные в работе

1. Местные циклоны, как правило (74 %), образуются на волнах фронтальных систем, в ложбинах хорошо развитых циклонов, центры которых располагаются севернее или западнее исследуемой территории.

2. Большинство циклонических вихрей (около 60 %), образовавшихся над территорией Западной Сибири, хорошо развиты по вертикали и достигают верхней границы тропосферы.

3. Более чем в 70 % случаев зародившиеся циклоны проходят все этапы своего развития в течение одних суток. Продолжительность жизни других циклонов может достигать 6 суток.

4. В последние годы замечено общее увеличение числа образующихся над территорией Западной Сибири циклонов. Также происходит увеличение суммарной продолжительности их воздействия на изучаемую территорию. Особенно ярко этот процесс проявился за последние 11 лет. При этом замечена ярко выраженная тенденция постепенного понижения давления в центре циклонов к концу исследуемого периода.

5. Несмотря на то, что в среднем в каждом месяце замечено образование как минимум одного местного циклона, во внутригодовом ходе максимум повторяемости (2–3 циклона) приходится на август. Средняя продолжительность влияния местных циклонов на погоду в этот месяц достигает 6 дней. Второй по величине пик повторяемости приходится на февраль, в среднем 4 дня за месяц.

6. Замечена квазицикличность активности местного циклогенеза. На ее фоне в последние годы наблюдается фаза повышенной активности. Замечено выравнивание числа образовавшихся на территории Западной Сибири молодых циклонов между сезонами года (33, 29 и 38 % в зимний, летний и переходные сезоны соответственно). Из ранних работ [3] следовало, что большая часть циклонов (около 60 %) образовывалась в теплую часть года, на остальные сезоны приходилось только лишь 40 %.

7. Местные циклоны, в основном, формируются в центральной части Западной Сибири над пространствами Большого Васюганского болота и смещаются, как правило, на восток и северо-восток на районы Красноярского края.

Список использованных источников

1. Адаменко М.Ф., Алехина Н.В., Горбатенко В.П. и др. / под ред. М.В. Кабанова // Региональный мониторинг атмосферы. Часть 4. Природно-климатические изменения: Коллективная монография. Томск: РАСКО, 2000. 270 с.
2. Аухадеев Т.Р. Пространственно-временные изменения приземного давления воздуха в Северном полушарии в 1948–2013 гг. // Ученые записки Казанского университета. 2015. Кн. 3: Естественные науки. Т. 157. С. 20-34.
3. Бордовская Л.И. Характеристика синоптических процессов над Западной Сибирью // Проблемы гляциологии Сибири. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1974. С. 95-117.
4. Бордовская Л.И., Цибульский А.Е. Повторяемость и скорость движения циклонов и антициклонов над Западной Сибирью // Вопросы географии Сибири. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1976. Вып. 9. С. 22-29.
5. Бышев В.И., Кононова Н.К., Нейман В.Г., Романов Ю.А. Особенности динамики климата Северного полушария в XX столетии // Доклады Академии наук. 2002. Т. 384, № 5. С. 674-681.
6. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Поднебесных Н.В., Харюткина Е.В. Влияние атмосферной циркуляции на температурный режим // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24, № 1. С. 15-21.
7. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Логинова С.В., Поднебесных Н.В. Исследование циклонической и антициклонической активности на территории Западной Сибири по данным реанализа NCEP/DOE AMIP-II и синоптических карт // Оптика атмосферы и океана. 2009. № 1. С. 38-41.
8. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Поднебесных Н.В. Циркуляция атмосферы над Западной Сибирью в 1976-2004 гг. // Метеорология и гидрология. 2007. № 5. С. 28-36.
9. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Логинов С.В., Поднебесных Н.В., Харюткина Е.В. Роль циркуляционных факторов в потеплении климата Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 346. С. 174-180.
10. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Колебания и изменения климата на территории России // Известия РАН: Физика атмосферы и океана. 2003. № 2. С. 166-185.
11. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 50-67.
12. Дюкарев Е.А., Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В. Изменение климата на азиатской территории России во второй половине XX столетия: сравнение данных наблюдений и реанализов // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19, № 11. С. 934-940.

13. *Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Харюткина Е.В.* Структура и динамика метеорологических полей на азиатской территории России в период интенсивного глобального потепления 1975–2005 гг. // Журнал Сибирского федерального университета. 2008. Т. 1, № 4. С. 323-344.
14. *Калинин Н.А.* Исследование энергетики циклонов умеренных широт // Метеорология и гидрология. 1994. № 5. С. 55-67.
15. *Мохов И.И., Мохов О.И., Петухов В.К., Хайруллин Р.Р.* Влияние глобальных климатических изменений на вихревую активность в атмосфере // Известия РАН. ФАО. 1992. Т. 28, № 1. С. 11-26.
16. *Оценочный доклад* об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Том 1. Изменение климата. М.: Росгидромет, 2008. 277 с.
17. *Переведенцев Ю.П., Вильфанд Р.М., Шанталинский К.М.* Низкочастотные изменения атмосферного давления и приземной температуры воздуха во внетропических широтах Северного полушария // Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 360. С. 5-25.
18. *Попова К.И.* К вопросу о циркуляции атмосферы над Западной Сибирью в летний период // Труды ГГО. 1964. Вып. 164. С. 64-73.
19. *Решетько М.В., Моисеева Ю.А.* Климатические особенности и статистические оценки изменения элементов климата в районах вечной мерзлоты на территории севера Западной Сибири // Известия Томского политехнического ун-та. 2016. Т. 327, № 4. С. 108-118.
20. *Рутковская Н.В.* Климатическая характеристика сезонов года Томской области. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1979. 116 с.
21. *Тунаев Е.Л., Торубарова Г.П.* Оправдываемость методов прогноза осадков, применяемых в оперативной практике ФГБУ «Западно-Сибирское Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» // Международная конференция и школа молодых ученых по изменению, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды *Enviromis* 2016. Избранные труды. Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2016. С. 132–136.
22. *Тунаев Е.Л.* Оправдываемость прогнозов осадков в Алтайском ЦГМС // Всероссийская молодежная конференция с международным участием. Труды конференции. Барнаул: Изд-во Пять плюс, 2016. С. 295–299.

Поступила в редакцию 21.04.2017 г.