

УДК 551.589: 551.515.9

ИЗМЕНЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ В XX-XXI СТОЛЕТИЯХ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ КЛИМАТА

Н.К. Кононова

Институт географии РАН,
Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29,
NinaKononova@yandex.ru

Резюме. Исследованы многолетние данные (1899–2013гг.) о колебаниях циркуляции атмосферы Северного полушария с использованием типизации Б.Л. Дзердзеевского. Выделены три циркуляционные эпохи как периоды с наибольшими положительными отклонениями суммарной годовой продолжительности одной группы циркуляции от среднего многолетнего значения. Выявлены типы циркуляции, наиболее часто встречающиеся в каждой эпохе. На фоне вековых колебаний рассмотрены особенности современного периода (1998–2013гг.). В этот период в нижней тропосфере наблюдается максимальный меридиональный перенос воздушных масс (в среднем 335 дней в году). В 93 днях в среднем за год отмечаются макропроцессы с циклонами на полюсе, без блокирующих процессов, с тремя-четырьмя выходами южных циклонов в разных секторах полушария. В остальные дни развиваются макропроцессы с антициклоном на полюсе, выходами южных циклонов в двух-четырёх секторах полушария и арктическими вторжениями в их тылу, формирующими блокирующие процессы. В результате среднегодовая температура воздуха Северного полушария перестала повышаться с конца XX века. Из-за роста продолжительности периодов высокого давления зимой и летом годовая амплитуда температуры воздуха оказалась максимальной за весь период наблюдений. Одновременные выходы южных циклонов в разных секторах полушария вызывают одновременное возникновение опасных природных процессов, связанных с обильными осадками, в разных регионах. Выявлены типы циркуляции, при которых это происходит.

Ключевые слова: циркуляция атмосферы, Северное полушарие, сектора полушария, температура воздуха, годовая амплитуда, осадки, опасные процессы.

CHANGES IN THE NORTHERN HEMISPHERE ATMOSPHERIC CIRCULATION IN THE 20th – 21st CENTURIES AND THEIR CONSEQUENCES FOR CLIMATE

N.K. Kononova

Institute of Geography, RAS,
29, Staromonetnyi per., 119017, Moscow, Russia,
NinaKononova@yandex.ru

Summary. Long-term data series on fluctuations of the atmospheric circulation in the Northern Hemisphere from 1899 to 2013 are analyzed on the basis of classification by B.L. Dzerdzevskiy. Three circulation epochs were identified as the periods with the greatest positive deviations in total annual duration of one circulation group from the long-term average. Most frequent circulation types are identified for each epoch. The features of the modern period (1998–2013) are considered against the background of secular oscillations.

The maximum meridional transport of air masses was observed in the lower troposphere during this period (335 days per year on average). macro processes with cyclones on the pole without blocking processes and with three or four episodes of southern cyclones emergence in different sectors of the hemisphere are identified at 93 days on average per year. In the remaining days macro processes with anticyclone on the pole, episodes of southern cyclones emergence in two – four sectors of the hemisphere, and the Arctic invasions forming a blocking processes in their rear are developed. As a result, the average annual air temperature in the Northern Hemisphere stopped rising in the end of 20th century. Within-year amplitude of air temperature reached its maximum for the entire period of observations due to an increase in duration of the high pressure periods in winter and in summer. Episodes of simultaneous emergence of southern cyclones in different sectors of the hemisphere caused the simultaneous emergence of natural hazards associated with heavy rainfall in different regions. Types of circulation under which this occurs were identified.

Keywords: Atmospheric circulation, Northern Hemisphere, sector of hemisphere, air temperature, within-year amplitude, rainfall, dangerous processes.

Введение

Исследование изменений климата с середины прошлого века играет важную роль в климатологии. С самого начала эти исследования опирались на анализ многолетних колебаний циркуляции атмосферы (Дзердзевский, 1956; Рубинштейн, Полозова 1966, Barry, Perry, 1973). Позднее основное внимание стало уделяться антропогенным факторам изменения климата. В XXI веке в связи с ростом повторяемости зимних отрицательных и летних положительных экстремумов температуры, а также положительных и отрицательных экстремумов осадков и метеорологически обусловленных опасных природных процессов на территории России интерес к циркуляционным факторам климата снова возрос.

В статье представлены результаты исследований многолетних колебаний циркуляции атмосферы в типизации Б.Л. Дзердзеевского, В.М. Курганской и З.М. Витвицкой (1946) за 1899–2013гг. На их фоне проанализированы особенности 1998–2013гг. Показана связь многолетних колебаний температуры воздуха Северного полушария и глобальной с общей циркуляцией атмосферы и температуры воздуха и осадков на отдельных станциях с колебаниями циркуляции атмосферы в секторах полушария. Отмечена роль изменения характера циркуляции атмосферы в XXI веке в увеличении повторяемости и одновременном проявлении некоторых опасных природных процессов в разных секторах полушария.

Методы и материалы

В работе использована типизация циркуляции атмосферы Северного полушария, разработанная под руководством Б.Л. Дзерзееевского (Дзерзееевский и др. 1946) специально для анализа многолетних колебаний циркуляции атмосферы, связанных с ними колебаний температуры воздуха и атмосферных осадков и климатического прогноза. В современный переломный период именно эта типизация, благодаря её структуре и накопленному материалу, даёт возможность оценить предстоящие изменения.

На основе ежедневных синоптических карт Северного полушария в типизации выделено 4 группы циркуляции, 13 типов и 41 подтип, элементарный циркуляционный механизм (ЭЦМ), который и служит основной единицей типизации (табл. 1).

На основе сборно-кинематических карт на каждый ЭЦМ составлена динамическая схема географического положения и путей перемещения циклонов и антициклонов, в силу чего каждый ЭЦМ, характеризуя положение на Северном полушарии в целом, отражает и синоптическую ситуацию в любом регионе, независимо от его размеров.

Таблица 1 – Характеристика групп циркуляции атмосферы Северного полушария в типизации Б.Л. Дзерзееевского

Группа циркуляции	Типы ЭЦМ, входящие в группу	Атмосферное давление в Арктике	Количество одновременных блокирующих процессов в разных секторах полушария	Количество одновременных выходов южных циклонов в разных секторах полушария
Зональная	1 и 2	Высокое	0	2 – 3
Нарушения зональности	3 – 7	Высокое	1	1 – 3
Меридиональная северная	8 – 12	Высокое	2 – 4	2 – 4
Меридиональная южная	13	Низкое	0	3 – 4

Именно поэтому с самого начала и до последних лет эта типизация используется разными специалистами для анализа глобальных и региональных изменений климата, водного и ледового режима и подверженности различных территорий опасным природным явлениям. Примеры динамических схем ЭЦМ, относящихся к разным группам циркуляции, приведены на рис. 1. Полностью все схемы с подробным описанием размещены в свободном доступе на сайте www.atmospheric-circulation.ru.

Для обеспечения однородности анализа изменений циркуляции атмосферы над регионами Б.Л. Дзерзееевский выделил на полушарии океанические и континентальные сектора (Дзерзееевский, 1970): атлантический

(60° з.д. – 0°), европейский (0° – 60° в.д.), сибирский (60° – 120° в.д.), дальневосточный (120° – 170° в.д.), тихоокеанский (170° – 120° з.д.) и американский (120° – 60° з.д.).

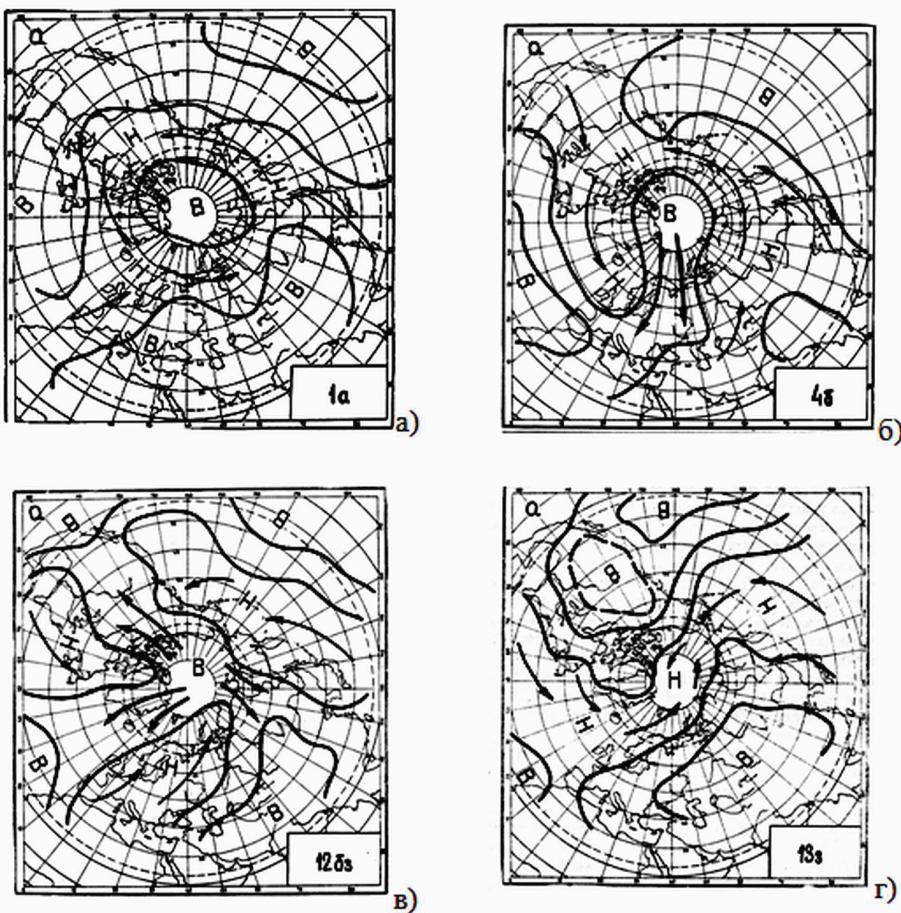


Рисунок 1 – Динамические схемы ЭЦМ: а) – зональная группа, б) – нарушение зональности, в) – меридиональная северная, г) – меридиональная южная. Буквы В и Н обозначают высокое и низкое давление. Стрелки, направленные с юга на север, обозначают траектории южных циклонов; стрелки, направленные с севера на юг, – траектории арктических антициклонов или их гребней (арктические вторжения, блокирующие процессы).

По направлениям перемещения барических образований над секторами сформировалось 10 групп циркуляции, однако ни в одном секторе все 10 групп не встречаются. Наибольшее их количество (9) отмечается в американском секторе, наименьшее (5) – в дальневосточном.

Россия расположена в четырёх секторах: европейском, сибирском, дальневосточном и тихоокеанском. Для всех ЭЦМ и групп ЭЦМ посчитана месячная и годовая суммарная продолжительность за 1899–2013 гг. (www.atmospheric-circulation.ru).

Изменение характера циркуляции атмосферы Северного полушария с 1899г. по настоящее время

Анализ суммарной годовой продолжительности групп циркуляции Северного полушария (рис. 2) показал, что преобладающим направлением переноса воздушных масс в нижней тропосфере является меридиональное. С юга на север перемещаются циклоны, с севера на юг в их тылу – антициклоны и их гребни. С 1899г. в суммарной годовой продолжительности северных и южных процессов на фоне их постоянного роста отмечается три всплеска: 1906-1915гг., максимум в 1915г. (278 дней при средней за 1899-2013гг. 244 дня); 1960-1969гг. (314 дней в 1969г.) и с 1981г. по настоящее время. С 1989г. суммарная годовая продолжительность меридиональных процессов устойчиво превышает 300 дней в году. Максимумы приходятся на 2000г. (346 дней) и 2009г. (347 дней).

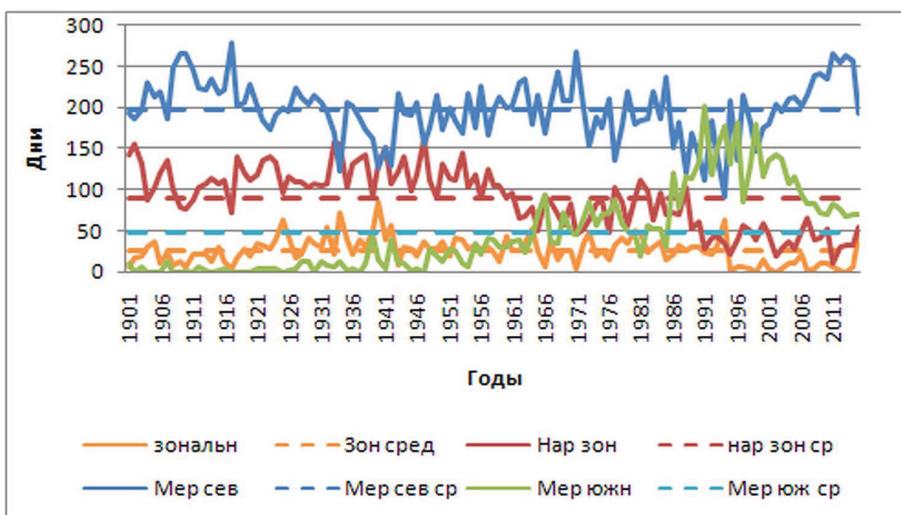


Рисунок 2 – Суммарная годовая продолжительность групп циркуляции 1899 – 2013гг. Пунктиром показано среднее за весь период. В 1981-1997гг. основной вклад в межширотный обмен вносили южные циклоны. С 1998г. в связи с ослаблением влияния океана увеличилась роль арктических вторжений. Почти треть года приходится на циркуляционные процессы с четырьмя одновременными выходами южных циклонов на полуширарии и столькими же блокирующими процессами в их тылу.

Близость разнородных воздушных масс способствует обострению атмосферных фронтов и создаёт благоприятные условия для выпадения обильных осадков, провоцирующих сход селей. Такая ситуация в XXI веке почти ежегодно создаётся в горах Кавказа, находящихся на пути средиземноморских циклонов. Встречая на пути препятствие в виде антициклона над Европейской Россией, циклоны либо оставляют всю влагу в горах Кавказа, либо уносят её в Западную Сибирь и Среднюю Азию, создавая условия для схода селей в горах. Селевые катастрофы в XXI веке не раз отмечались в Таджикистане.

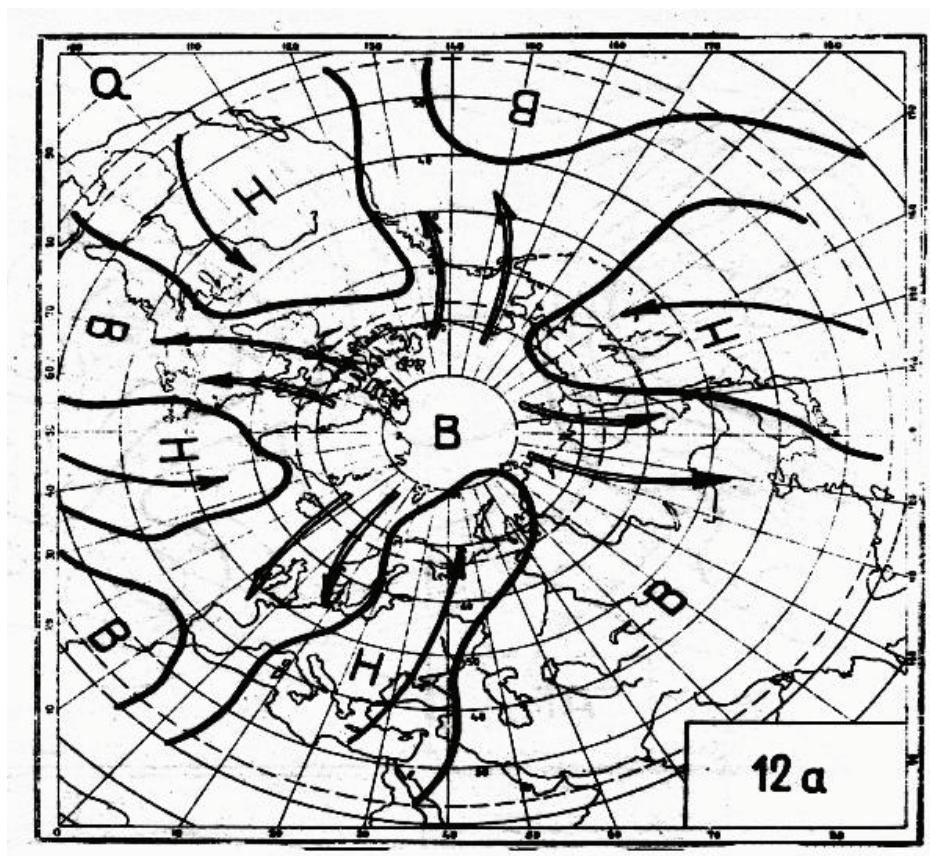


Рисунок 3 – Динамическая схема ЭЦМ 12а. Буквы В и Н обозначают высокое и низкое давление. Стрелки, направленные с юга на север, обозначают траектории южных циклонов; стрелки, направленные с севера на юг, – траектории арктических антициклонов или их гребней (арктические вторжения, блокирующие процессы).

На Дальнем Востоке ситуация особенно опасная, поскольку южные циклоны, зачастую бывшие тайфуны, регенерировавшие на фронтах полярнофронтовых циклонов, упираются в полосу высокого давления, направленную на Тихий океан через Берингов пролив. Они несут большой запас влаги и перемещаются с большой скоростью, поэтому количество осадков и последствия их выпадения могут быть катастрофическими на большой территории.

На рис. 4 показан многолетний ход отклонений суммарной годовой продолжительности, обобщённой меридиональной (северной + южной) и обобщённой зональной (зональной + нарушение зональности) групп циркуляции от их средних значений за 1899-2013гг. Меридиональная циркуляция обеспечивает межширотный обмен воздушных масс, зональная – широтное перемещение барических образований. В XXI веке межширотный обмен наивысший за весь период с 1899г.

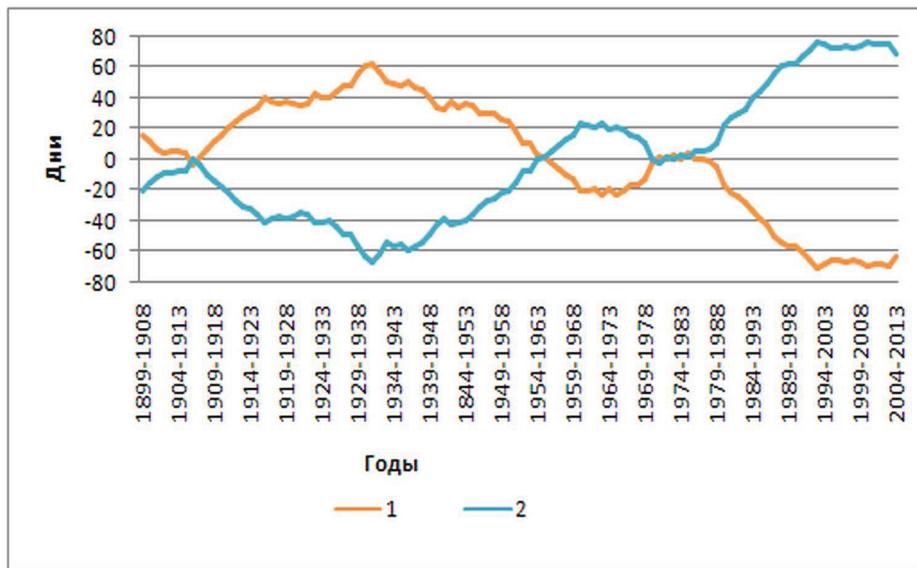


Рисунок 4 – Десятилетние скользящие средние отклонений суммарной годовой продолжительности групп циркуляции Северного полушария от средней за 1899-2013 гг.:
1-зональная циркуляция, 2-меридиональная циркуляция

Заметим, что названия «меридиональная северная» и «меридиональная южная» в некоторой степени условны. К меридиональной северной группе отнесены процессы, при которых в результате одновременных арктических вторжений в двух-четырёх секторах Северного полушария формируются полосы высокого давления, соединяющие арктический антициклон с субтропическим. Они блокируют западный перенос, потому и называются блокирующими процессами. Однако, как известно, арктические вторжения происходят в тылу западных или южных циклонов. Это хорошо видно на рис. 3, на котором представлен самый турбулентный макропроцесс на Северном полушарии. С ним связаны обильные осадки и наводнения на Кавказе, в Сибири и на Дальнем Востоке. В настоящее время его продолжительность экстремально велика: в 2012 г. она составила 106 дней за год.

К меридиональной южной группе отнесены процессы с циклоном на Северном полюсе, поддерживаемым одновременным выходом южных циклонов в двух-трёх секторах в холодное полугодие и в четырёх секторах в тёплое полугодие (рис. 5). В тылу этих циклонов тоже происходят арктические вторжения, но они кратковременны, и блокирующие процессы при них не формируются.

Заметим, что на эти два процесса в XXI веке приходится в среднем 78% длительности тёплого полугодия. Анализ отклонений суммарной годовой продолжительности меридиональной северной, меридиональной южной и обобщенной зональной групп циркуляции позволил выявить длительные (в несколько десятилетий) периоды положительных аномалий продолжительности какой-либо группы циркуляции. Эти периоды получили название циркуляционных эпох (Дзердзеевский, 1956).

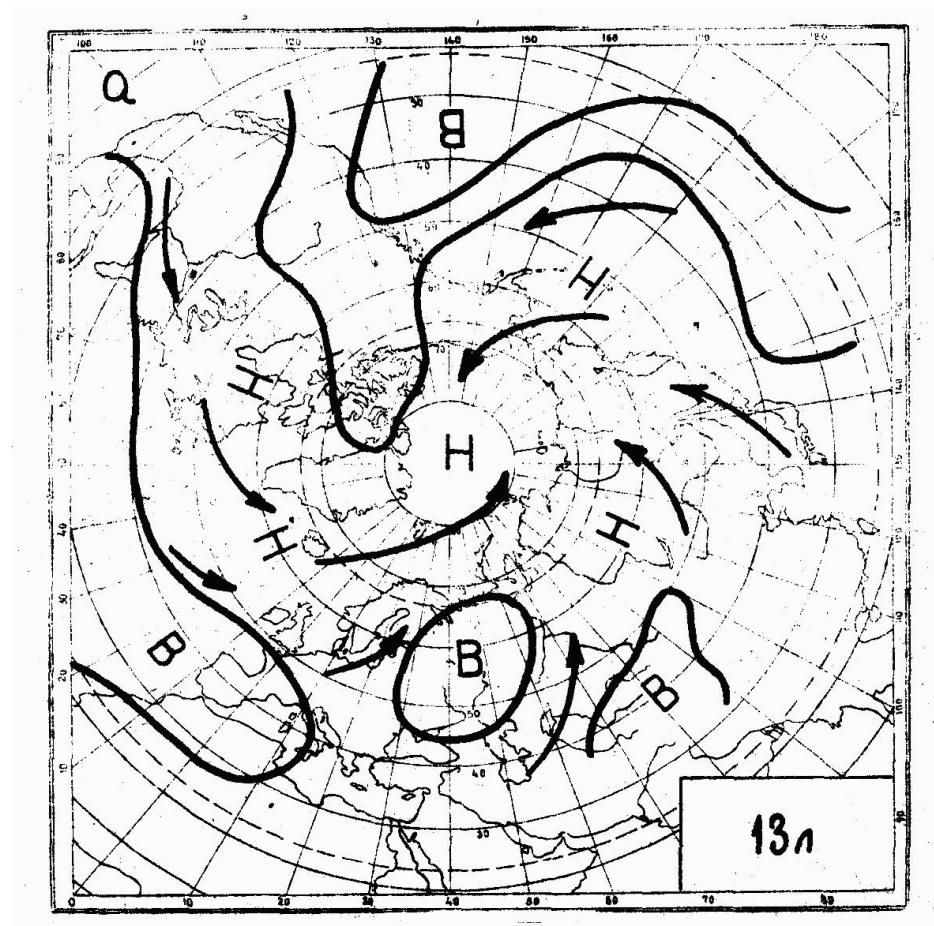


Рисунок 5 – Динамическая схема ЭЦМ 13л.

Буквы *B* и *H* означают высокое и низкое давление.

Стрелками показаны траектории циклонов.

С 1899г. на Северном полушарии сменились три циркуляционные эпохи (рис. 6): две меридиональные (с 1899 по 1915гг. и с 1957г. по настоящее время) и одна зональная (1916-1956гг.).

Меридиональные эпохи различаются между собой преобладанием различных групп циркуляции. В начале XX века отмечалась меридиональная северная эпоха, годовая продолжительность блокирующих процессов была выше средней за 1899-2012гг., т.е. в средние широты перемещались арктические антициклоны и их гребни. Преобладала зимой морозная, а летом жаркая погода без осадков. В целом на Северном полушарии и в России отмечалось похолодание (Climatic Research Unit: Data <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>).

Наибольшей суммарной годовой продолжительностью в эту эпоху отличались летние ЭЦМ 4б, 10б и зимние 11а, 10а и 12б,3 (Таблица 2).

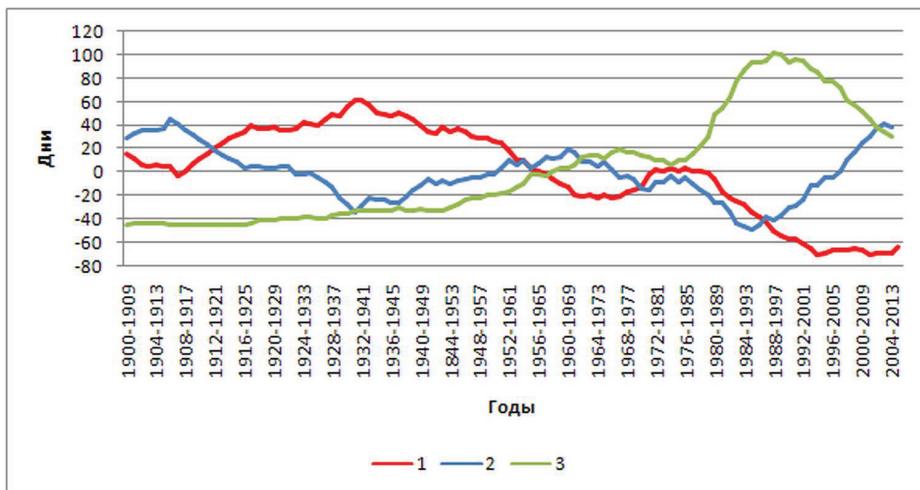


Рисунок 6 – Отклонения продолжительности групп циркуляции Северного полушария (10-летние скользящие средние) за 1899-2013 гг. от средней за тот же период: 1 – зональная + нарушение зональности; 2 – меридиональная северная (блокирующие процессы); 3 – меридиональная южная.

Таблица 2 – Наиболее продолжительные ЭЦМ в первой циркуляционной эпохе, сумма средних значений которых составляет более полугода

ЭЦМ	Средняя годовая продолжительность, дни
11а	39
10а	25
12бз	22
4б	18
10б	17
5б	16
11б	15
7аз	14
8а	13
12бл	13
Сумма	194

При ЭЦМ 10б южные циклоны монгольской ветви полярного фронта выходят на Восточную Сибирь. В них вливаются средиземноморские циклоны, проходящие через Казахстан. В их тылу формируется один из двух блокирующих процессов на полуширье, направленный на территории, прилегающие к Уралу. В сухом быстро прогревающемся арктическом воздухе оказывались в общей сложности больше месяца зернопроизводящие районы Западной Сибири, Европейской России и Украины. В холодный период при ЭЦМ 11а один из двух блокирующих процессов в тылу дальневосточных циклонов направлен на Восточную Сибирь, и под влиянием сибирского антициклона только при этом ЭЦМ

более полутора месяцев оказывалась вся Россия, исключая крайний север Европы и Западной Сибири. Средиземноморские циклоны, проходя через западные регионы России и Украину, вливались в атлантические циклоны, проходящие по северу России.

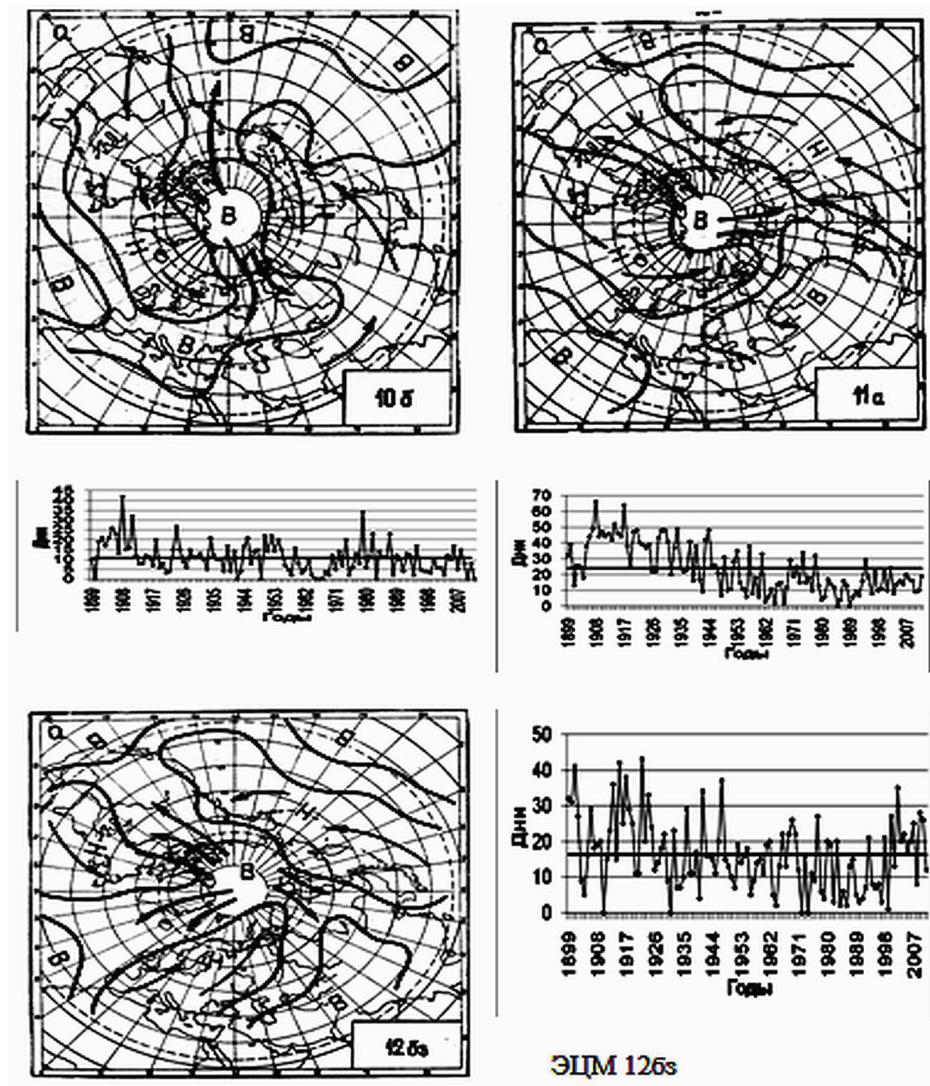


Рисунок 7 – Динамические схемы и суммарная годовая продолжительность (1899-2012гг.) ЭЦМ, наиболее часто встречающихся в меридиональной северной эпохе 1899-1915гг.

Также в холодное полугодие при ЭЦМ 12бз (22 дня в году) в тылу дальневосточных циклонов, доходящих до Камчатки и Чукотки, формируется блокирующий процесс, поддерживающий сибирский антициклон, дотягивающийся западным отрогом до Черноморского побережья Кавказа. Средиземноморские циклоны перемещаются с юго-запада на северо-восток, достигая устья Оби и Енисея.

В зональную эпоху, наряду с преобладающими, как и в первую эпоху, меридиональными северными ЭЦМ (Таблица 3), повышенной продолжительностью отличались ЭЦМ с одним арктическим вторжением.

Таблица 3 – Наиболее продолжительные ЭЦМ во второй циркуляционной эпохе, сумма средних значений которых составляет более полугода

ЭЦМ	Средняя годовая продолжительность, дни
11а	31
10а	21
12бз	18
4б	16
3	14
7ал	14
11б	13
7аз	13
8а	12
10б	12
5б	11
2б	11
12вз	11
Сумма	196

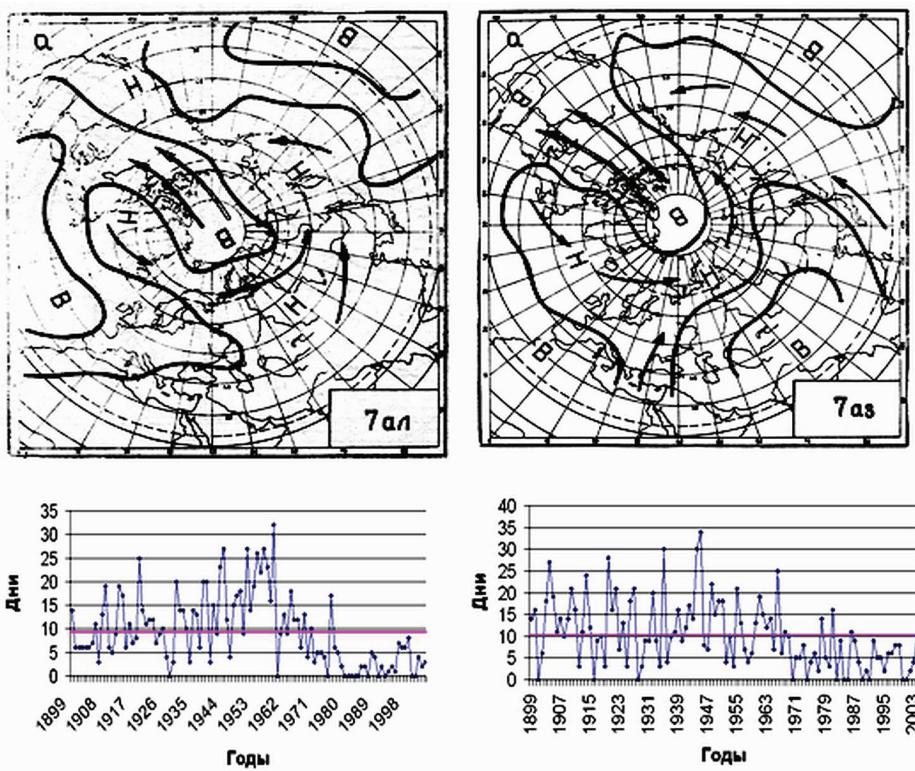


Рисунок 8 – Динамические схемы и суммарная годовая продолжительность (1899-2012гг.) ЭЦМ, наиболее часто встречающихся в зональной эпохе.

Атлантические циклоны проходили вдоль всего побережья Евразии. Этот период вошёл в историю как период потепления Арктики. На материке же господствовали антициклоны, так что отмечались и сильные морозы, и сильные засухи. Об этом периоде Л.С. Бергом в книге «Климат и жизнь» была написана глава о понижении уровня Каспийского моря во время потепления Арктики из-за недостатка осадков в бассейне Волги (Берг, 1947).

Здесь приводим по одному зимнему и летнему ЭЦМ этой группы (рис. 8). Как видно на динамических схемах, зимой вся Россия, исключая крайний север, находилась под воздействием сибирского антициклона, а летом в зоне блокирующего процесса, сформировавшегося в сухом арктическом воздухе, и под влиянием азорского антициклона находилось большинство зернопроизводящих районов России и Украины.

С 1957г. началась меридиональная южная эпоха. В ней в 2 раза продолжительнее среднего многолетнего значения оказались выходы южных циклонов, которые несли из низких широт в высокие тёплый и влажный воздух: Таблица 4, рис. 9.

Таблица 4 – Наиболее продолжительные ЭЦМ в третьей циркуляционной эпохе, сумма средних значений которых составляет более полугода

ЭЦМ	Средняя годовая продолжительность, дни
13л	46
13з	39
12а	29
9а	15
11а	14
12бз	14
12г	12
8а	11
12бл	10
Сумма	190

Следует заметить, что в первой трети XX века меридиональная южная циркуляция почти отсутствовала, только в 1963г. её продолжительность впервые превысила среднюю за 1899-2012гг. (рис. 6). Это определило однородность первых двух эпох: одна из двух групп циркуляции оказывалась преобладающей в течение всей эпохи. Третья эпоха делится на периоды с преобладанием какой-либо группы циркуляции при общем доминировании меридиональной южной (табл. 5).

В период 1957 – 1969 помимо общего для 3-й эпохи преобладания меридиональных южных ЭЦМ 13з, 13л повысилась продолжительность ЭЦМ 12а, 12вз, 12г, 12бз., при которых один из 3 – 4 блокирующих процессов обязательно формируется над Восточной Сибирью Таблица 6, рис.10.

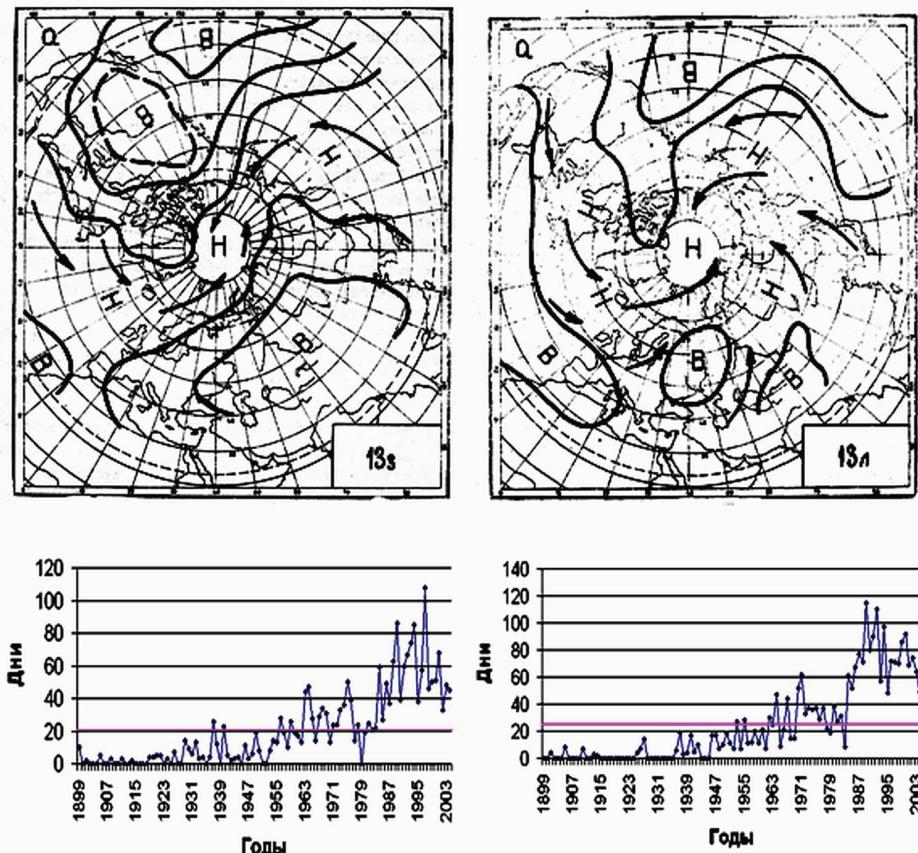


Рисунок 9 – Динамические схемы и суммарная годовая продолжительность (1899-2012 гг.) ЭЦМ, наиболее часто встречающихся в меридиональной южной эпохе.

Таблица 5 – Циркуляционные периоды внутри меридиональной южной циркуляционной эпохи

Период	Годы
Повышенная продолжительность меридиональной северной циркуляции	1957-1969
Рост продолжительности зональной циркуляции	1970-1980
Быстрый рост меридиональной южной циркуляции	1981-1997
Уменьшение продолжительности меридиональной южной циркуляции и рост меридиональной северной	1998-2013

Если в меридиональную северную циркуляционную эпоху повышенной продолжительностью отличались ЭЦМ с двумя противоположными по направлению блокирующими процессами, один из которых развивался над регионом России, то в 1957-1969 гг. возросла продолжительность ЭЦМ с двумя близкими по направлению и тремя-четырьмя блокирующими процессами, два из которых направлены на Россию. Таким образом, общее

количество блокирующих процессов и формирующихся в результате стационарных антициклонов как на полуширье в целом, так и на территории России, увеличилось.

Таблица 6 – Наиболее продолжительные ЭЦМ в 1957 – 1969гг. третьей циркуляционной эпохи, сумма средних значений которых составляет более полугода

ЭЦМ	Средняя годовая продолжительность, дни
13з	25
12а	25
13л	21
12вз	21
12г	18
8а	15
12бз	15
11а	13
7ал	13
11б	12
7аз	11
Сумма	189

Для ЭЦМ 12а в этот период отмечается первый всплеск суммарной годовой продолжительности (20-40 дней). При нём, преимущественно в переходные сезоны, развивается мощный блокирующий процесс (один из четырёх) над всей Сибирью и Поволжьем в тылу южных циклонов, выходящих на Дальний восток. На запад Европейской России при этом выходят средиземноморские циклоны. Второй блокирующий процесс над Россией развивается на крайнем северо-востоке. При этом ЭЦМ часто отмечаются чрезвычайные ситуации на Дальнем Востоке, на Северном Кавказе и Черноморском побережье, а также у западных рубежей России.

Продолжительность ЭЦМ 12вз в 1957-1969гг. в течение всего периода превышает среднюю, чего не отмечается ни в один другой период, и колеблется от 15 до 40 дней. При этом ЭЦМ в холодное полугодие один блокирующий процесс из трёх формируется в тылу дальневосточных южных циклонов и направлен на Восточную Сибирь, а второй, развиваясь в тылу средиземноморских циклонов, направлен на Кольский полуостров и западные регионы России. Южные циклоны способны спровоцировать штормовую погоду и сильные осадки на Дальнем Востоке, Северном Кавказе, Черноморском побережье и в центре России. Вместе с тем, с ними связано повышение температуры в этих регионах, а также в Западной Сибири вплоть до северных районов. Арктическое вторжение на Восточную Сибирь поддерживает высокое давление в сибирском антициклоне, гарантируя сильные морозы на всей территории Восточной Сибири.

Суммарная годовая продолжительность ЭЦМ холодного периода 12г в 1957-1969гг. оказывается наибольшей за весь период наблюдений (до 35 дней за сезон). Ежегодные отклонения от средней положительны. При

этом ЭЦМ два из трёх блокирующих процессов на полушарии развиваются над Россией: над Восточной Сибирью в тылу дальневосточных циклонов и над Чукоткой в тылу тихоокеанских циклонов.

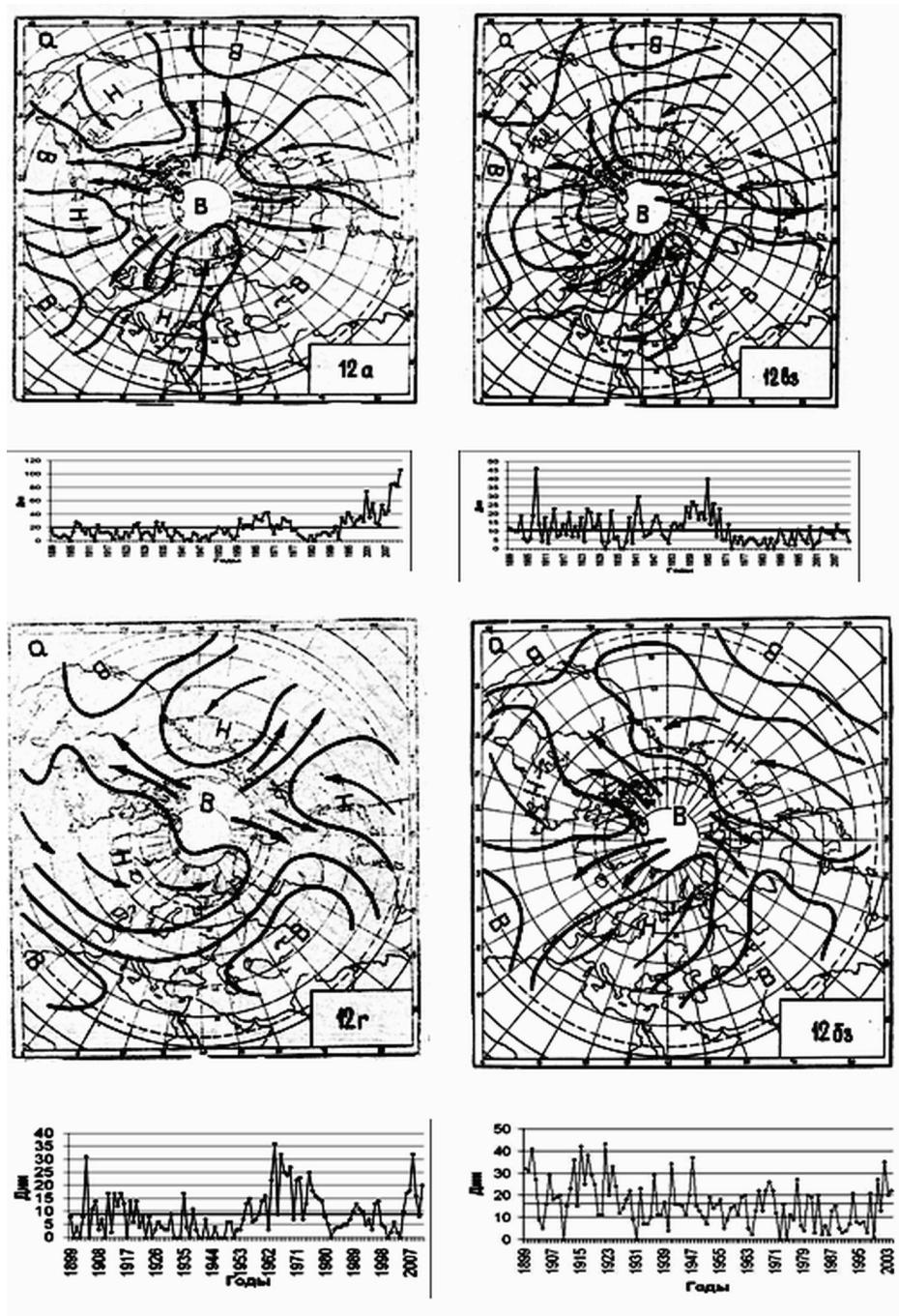


Рисунок 10 – Динамические схемы и суммарная годовая продолжительность (1899-2013гг.) ЭЦМ, наиболее часто встречающихся в период 1957-1969гг.

Мощный сибирский антициклон западным отрогом соединяется с азорским антициклоном. Атлантические циклоны обходят эту антициклическую систему с севера, неся тепло и осадки на арктическое побережье. На большей части территории России в антициклоне формируется морозная погода без осадков.

Таблица 7 – Наиболее продолжительные ЭЦМ в 1970 – 1980 гг. третьей циркуляционной эпохи, сумма средних значений которых составляет более полугода

ЭЦМ	Средняя годовая продолжительность, дни
13л	37
13з	24
11а	19
12а	19
12г	15
4б	15
11б	15
2а	12
11г	12
8а	12
10б	12
Сумма	192

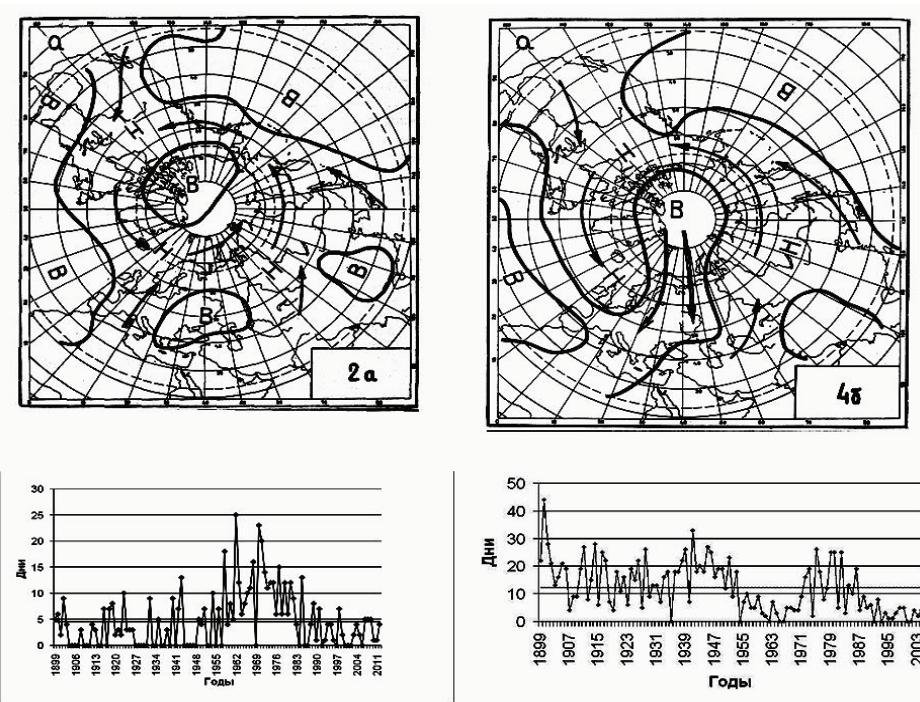


Рисунок 11 – Динамические схемы и суммарная годовая продолжительность (1899-2013 гг.) зональных ЭЦМ и нарушения зональности, наиболее часто встречающихся в период 1970-1980 гг.

В период нового увеличения суммарной годовой продолжительности зональной группы и нарушения зональности (1970-1980гг.) у большинства ЭЦМ этих групп отмечался второй всплеск продолжительности, а ЭЦМ 2а, 4а и 5в отличались наибольшей суммарной годовой продолжительностью именно в этот период Таблица 7, рис. 11.

Характерно, что в этот период суммарная годовая продолжительность всех трёх групп циркуляции была близка к средней многолетней (рис.6)

Как и в зональную эпоху, арктический регион полностью или частично находится во власти атлантических циклонов, подпитываемых южными. На континенте же в зимний период господствует сибирский антициклон. Блокирующие процессы развиваются либо над Европейской, либо над Азиатской Россией.

В 1981 – 1997гг., в период быстрого роста меридиональной южной циркуляции наибольшей суммарной годовой продолжительности достигли зимний ЭЦМ 13з (до 100 дней) и летний ЭЦМ 13л (до 120 дней, рис. 9). Максимальной в это время была также суммарная годовая продолжительность меридиональных северных ЭЦМ 9а, 12а, 10а, 11а, 8а (Таблица 8).

Таблица 8 – Наиболее продолжительные ЭЦМ в 1981 – 1997гг. третьей циркуляционной эпохи, сумма средних значений которых составляет более полугода

ЭЦМ	Средняя годовая продолжительность, дни
13л	67
13з	54
9а	17
12а	15
10а	13
11а	12
8а	10
Сумма	188

При ЭЦМ 13з сибирский антициклон в этот период существенно сократился по площади, открыв путь средиземноморским циклонам через Европейскую Россию в Арктику. Количество суровых зим в России в этот период существенно уменьшилось. При ЭЦМ 13л ясная антициклоническая погода устанавливается над югом Европы, Европейской Россией и югом Западной Сибири. Циклоны с Восточного Средиземноморья выходят на Северный Кавказ и Черноморское побережье. Встречая преграду в виде антициклона, не позволяющего им пройти на Европейскую Россию, они выливаются обильными осадками в предгорьях Кавказа, создавая порой чрезвычайную ситуацию.

С 1998г. началось уменьшение суммарной годовой продолжительности

меридиональной южной циркуляции, хотя по данным на 2012г. она всё ещё на 22 дня в году превышает среднюю (рис. 6). После минимума в 1992г. (91 день за год) начинается новый рост суммарной годовой продолжительности меридиональной северной циркуляции, в 2012г. она на 60 дней превышает среднюю (Таблица 9).

Таблица 9 – Наиболее продолжительные ЭЦМ в 1998 – 2013 гг. третьей циркуляционной эпохи, сумма средних значений которых составляет более полугода

ЭЦМ	Средняя годовая продолжительность, дни
12а	54
13л	52
13з	45
9а	23
12бз	20
Сумма	193

Наибольшей суммарной годовой продолжительностью в 1998–2012гг. отличаются ЭЦМ 12а, 13л, 13з, 9а и 12бз.

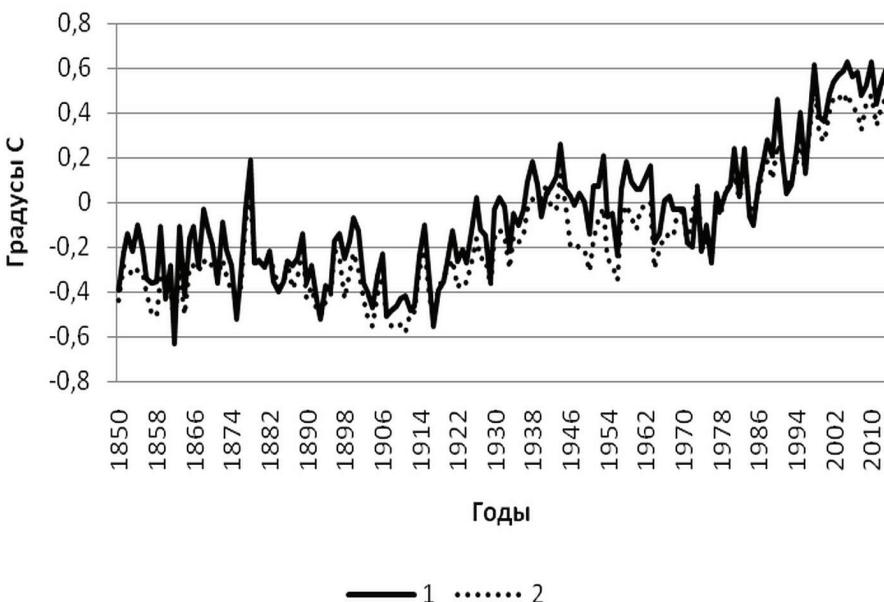
Современный период оказывается наиболее разнообразным по характеру циркуляции и наиболее неустойчивым.

При ЭЦМ тёплого полугодия 9а (20-40 дней) с двумя противоположными блокирующими процессами над океанами по северу России проходят атлантические циклоны. На Дальний Восток выходят южные циклоны, в тылу которых формируется гребень высокого давления над югом Восточной Сибири. Средиземноморские циклоны, выходя на Черноморское побережье Кавказа, встречают мощную препяду в виде обширного антициклона над югом Европейской России и Западной Сибири и либо приносят обильные осадки на Кавказ, либо уходят по южной границе антициклона в Казахстан.

Не следует забывать, что в этот период максимум суммарной годовой продолжительности (более 100 дней в отдельные годы) отмечается у ЭЦМ 12а (рис. 3), второй всплеск продолжительности – у ЭЦМ 12бз (до 35 дней). Продолжительность ЭЦМ 13з и 13л (рис. 8) снижается в течение этого периода со 110 и 80 дней соответственно до 45 – 50, т.е. продолжает играть существенную роль.

Колебания температуры воздуха северного полушария в XX – XXI вв.

Смена характера циркуляции атмосферы сказывалась и на среднегодовой приземной глобальной температуре воздуха и Северного полушария (рис. 12).



*Рисунок 12 – Аномалии среднегодовой температуры воздуха Северного полушария (1) и глобальной (2) за 1850-2013гг.
(<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>)*

Прежде всего, заметим, что положительные аномалии температуры Северного полушария почти в течение всего времени больше, чем глобальной. Заметим также, что в XXI веке эти различия наибольшие за весь период с 1850г. Похожая ситуация отмечалась в 1850-1875гг. и в 1945-1969гг. Второй период, как и современный, характеризуется ростом продолжительности блокирующих процессов.

Остановимся подробнее на колебаниях температуры воздуха Северного полушария. До 1926г. отклонения температуры от средней за 1961-1990 г. были сплошь отрицательными, исключая 1878г. Таким образом, первая меридиональная эпоха на полуширье – это эпоха похолодания. Наиболее холодными за весь период 1899-2012гг. были 1917 год (отклонение $-0,542^{\circ}\text{C}$) и 1913г. ($-0,53^{\circ}$).

С 1918г. начинается постепенное повышение температуры. Это потепление вошло в историю как «потепление Арктики», т.к. наиболее сильно проявилось в высоких широтах Северного полушария. Оно приходится на зональную циркуляционную эпоху. Отклонения средней годовой температуры воздуха Северного полушария в 1931, 1937-1941, 1943, 1944гг. от средней за 1961-1990гг. были положительны. Наиболее тёплым в зональную эпоху был 1944г., отклонение составило $0,147^{\circ}\text{C}$. Поскольку данные на упомянутом сайте постоянно корректируются, надо отметить, что приводимые здесь значения относятся к коррекции, произведенной в феврале 2014г.

С 1945г. началось понижение температуры, соответствующее уменьшению суммарной годовой продолжительности зональной циркуляции и росту продолжительности блокирующих процессов. Оно продолжалось 31 год. Наиболее холодным на Северном полушарии в этот период был 1976г., отклонение составило $-0,286^{\circ}\text{C}$. Последнее отрицательное отклонение ($-0,134^{\circ}\text{C}$) отмечалось в 1985г.

С 1977г. началось новое такое же быстрое потепление, как и в 20-40 годы. Разница заключалась в том, что «стартовая отметка» этого потепления была на $0,243^{\circ}\text{C}$ выше, чем предыдущего. Согласовалось оно с таким же быстрым ростом суммарной годовой продолжительности меридиональной южной циркуляции, т.е. стремительных выходов циклонов из низких широт в высокие при циклонической циркуляции на полюсе. Максимум её продолжительности составил 201 день (при средней 47 дней) в 1989г. Продолжительность держалась на высоком уровне по 1997г. (179 дней), после чего начала падать.

Первый раз в среднем на Северном полушарии наиболее высокая приземная температура воздуха (аномалия $0,61^{\circ}\text{C}$) была достигнута в 1998г. Этот год разумно считать окончанием стремительного роста температуры. После него 6 лет подряд температура была ниже этой отметки, чего не наблюдалось перед этим 20 лет, затем, в 2005г., аномалия составила $0,626^{\circ}\text{C}$. После этого ещё 4 года подряд аномалия была меньше $0,6^{\circ}\text{C}$, а в 2010г. снова оказалась $0,626^{\circ}\text{C}$. В 2011г. она составила $0,437^{\circ}\text{C}$, в 2012г. – $0,518^{\circ}\text{C}$, в 2013г. $0,586^{\circ}\text{C}$. Таким образом, период с 1999 по 2012гг. можно считать периодом стабилизации среднегодовой температуры воздуха Северного полушария на самом высоком уровне, какой отмечался с 1850г., но не относить его к продолжению потепления.

Изменения годовой амплитуды температуры воздуха

Изменение характера циркуляции атмосферы означает и изменение характера преобладающей погоды. В период господства циклонической циркуляции зимы на континентах были мягкими с частыми оттепелями, а летние сезоны прохладными и дождливыми. При господстве антициклической циркуляции зимы на континентах оказываются морозными, а летние сезоны жаркими, с засухой и природными пожарами. Такой характер погоды ведёт к увеличению годовой амплитуды температуры воздуха (разности между максимальной летней и минимальной зимней температурой), что отрицательно сказывается как на сельском хозяйстве, так и на состоянии горных пород, трубопроводов, железнодорожных путей, а также зданий и сооружений.

За неимением возможности сравнить максимальную и минимальную годовую температуру на Северном полушарии, привожу разность между аномалиями средней январской и июльской температур воздуха (рис. 13).

В последние годы январские положительные аномалии существенно уменьшились, чего нельзя сказать об июльских.

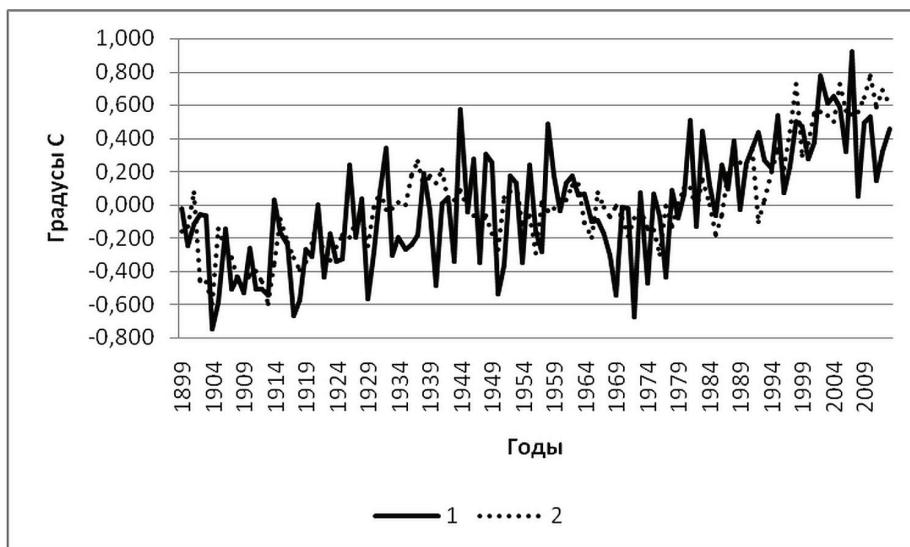


Рисунок 13 – Аномалии среднемесячной температуры воздуха Северного полушария за 1899–2013гг. в январе (1) и июле (2).

Изменения температуры воздуха на территории России

В связи с отмеченными выше особенностями циркуляции атмосферы изменилась приземная температура воздуха и на территории России. Эти изменения хорошо показаны в книге (Груза, Ранькова 2012), но без связи с циркуляционными процессами. Приведём некоторые примеры такой связи.



Рисунок 14 – Отклонения от средней за весь период наблюдений среднегодовой температуры воздуха на метеостанциях Европейской России (10-летние скользящие средние)

На Европейской территории России, несмотря на продолжающееся потепление (рис. 12), в современный период возросла годовая амплитуда температуры (рис. 13).

Как видно на рис. 15, рост годовой амплитуды температуры воздуха, рассчитанной как разность среднемесячных температур самого холодного и самого тёплого месяца в году по данным Базы климатических данных ИГКЭ, используемым для регулярного мониторинга климата (<http://www.climatechange.su>), отмечается на всех приведенных метеостанциях, расположенных в разных природных зонах. Это заметно даже на примере 10-летних скользящих средних величин. Если же рассмотреть эти изменения по экстремальным годам, картина получится ещё более разительная.

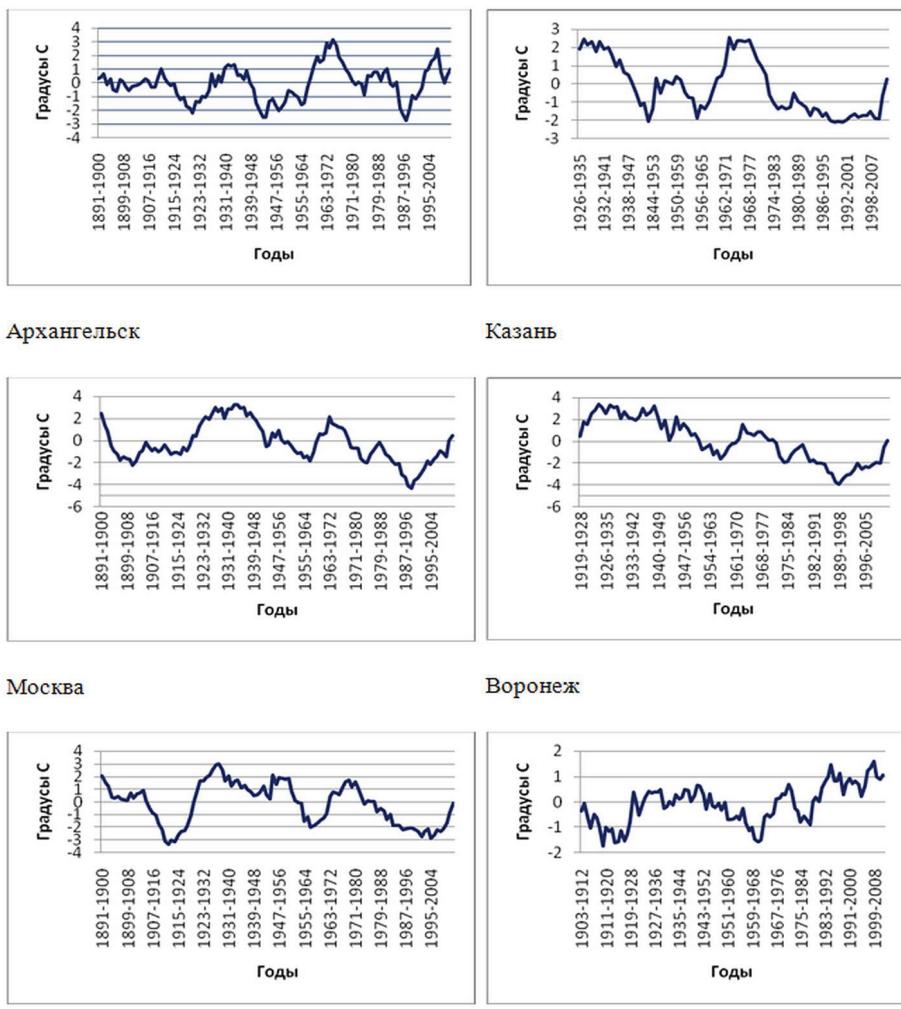


Рисунок 15 – Отклонения годовой амплитуды температуры воздуха от средней многолетней (10-летние скользящие средние) на Европейской территории России.

В Архангельске рост амплитуды начался после минимума, отмечавшегося в 1995г. (аномалия $-9,46^{\circ}$ наблюдалась единственный раз более чем за столетие). Максимум пришёлся на 1998г. ($9,14^{\circ}$). В 2011г. аномалия годовой амплитуды температуры воздуха составила ($8,14^{\circ}$). Заметим, что в период потепления, т.е. увеличения повторяемости циклонов, летние сезоны становятся прохладными, а зимы мягкими, так что годовая амплитуда температуры уменьшается, что и произошло в 80-90 годы XX века. В Казани минимум с начала наблюдений пришёлся на 1983г. (аномалия амплитуды $-7,1^{\circ}$), максимум – на наиболее экстремальный 2010г. ($8,9^{\circ}$). В 2011г. аномалия амплитуды составила $6,2^{\circ}$. В Москве наибольшая отрицательная аномалия годовой амплитуды температуры воздуха за весь период наблюдений с конца XIX века ($-6,9^{\circ}$) отмечалась в 1993г., наибольшая положительная ($11,2^{\circ}$) – в 2010г. В Воронеже минимальная аномалия амплитуды за весь период наблюдений ($-9,1^{\circ}$) отмечалась в 1989г., а максимальная за последние годы ($10,3^{\circ}$) – в 2010г. В Астрахани минимальная аномалия амплитуды за последние десятилетия ($-6,6^{\circ}$) пришла на 1992г., а максимальная ($5,7^{\circ}$) – на 2006г. В Туапсе минимальная аномалия ($-3,8^{\circ}$) отмечалась в 1984г., а максимальная ($4,9^{\circ}$) – в 1999г. Как видим, наибольшая годовая амплитуда температуры воздуха отмечается в настоящее время в центре Европейской России.

Заметим, что предыдущие периоды увеличения годовой амплитуды температуры воздуха пришлись на периоды аналогичного характера циркуляции атмосферы.

В Западной Сибири на смену повышению среднегодовой температуры пришло её некоторое понижение (рис. 16). Особенно это заметно зимой (рис. 17). Годовая амплитуда температуры воздуха возросла вместе с ростом продолжительности антициклонической циркуляции на этой территории (рис. 18).

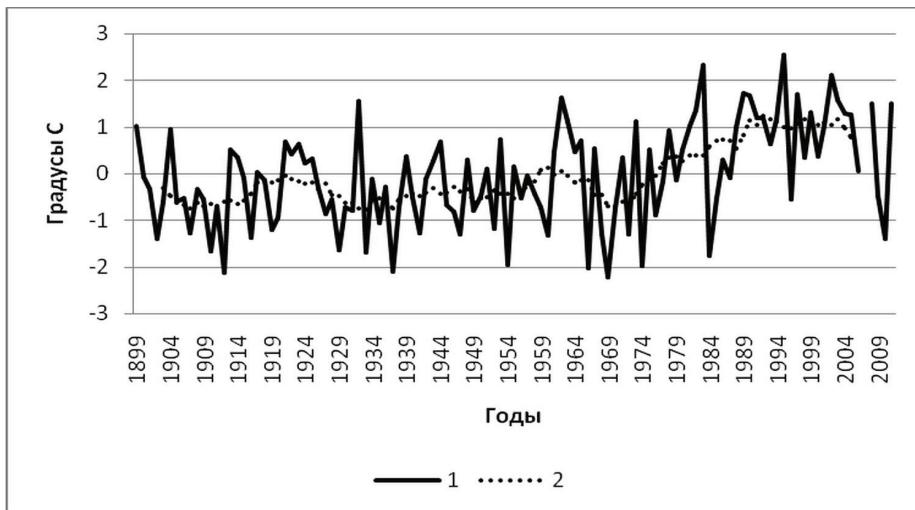


Рисунок 16 – Отклонения среднегодовой температуры в Томске от средней за 1899-2012 гг.:

1 – ежегодные отклонения, 2 – 10-летние скользящие средние.

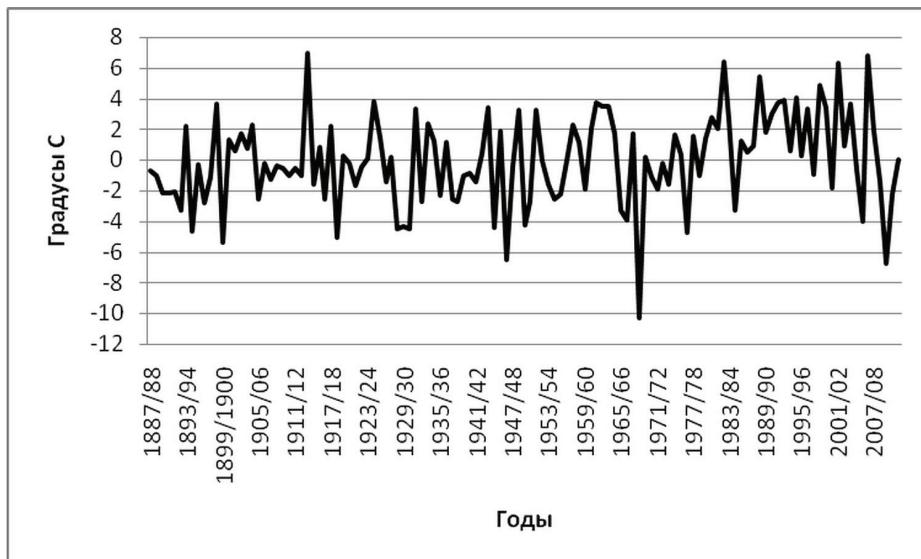


Рисунок 17 – Отклонения средней зимней (XII-II) температуры воздуха в Томске от средней за 1899-2012 гг.

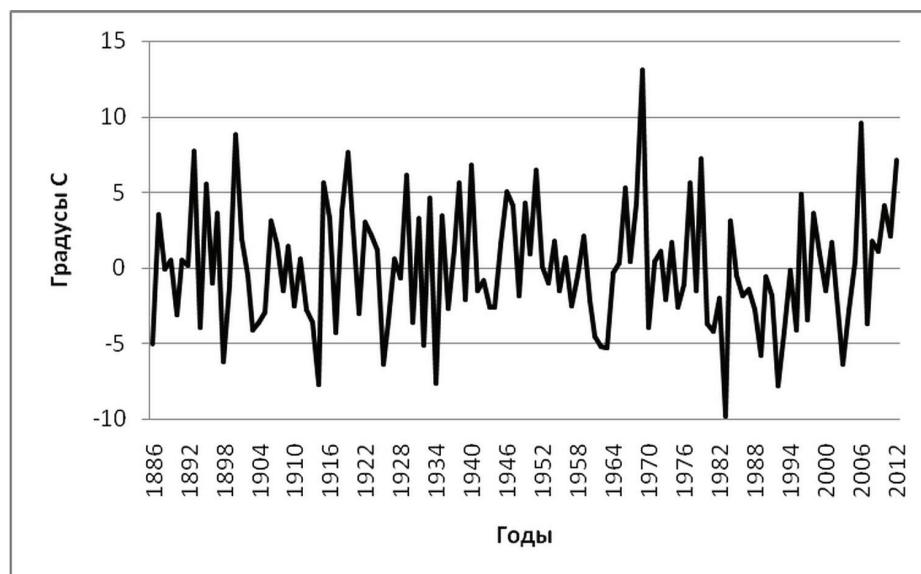


Рисунок 18 – Отклонения годовой амплитуды температуры в Томске от средней за 1856-2012 гг.

Анализ связи температуры воздуха с циркуляцией атмосферы на крайнем севере показал, что повышение температуры в 30-40 годы севернее 70°с.ш. было больше, чем в современный период, поскольку блокирующих процессов в те годы было мало, а циклоны проходили вдоль всего побережья Евразии (Кононова 2006, Shilovtseva et al., 2011).

Анализ колебаний годовой амплитуды температуры на станции Хатанга (рис. 19) показывает, что наименьшей амплитудой была в 30-40

годы, когда на севере Восточной Сибири отмечался максимум циклонической циркуляции. Максимальных значений она достигала в 50-70 годы при максимальном развитии антициклонической циркуляции. В 80-90 годы при росте циклонической циркуляции годовая амплитуда температуры снова уменьшилась, а в XXI веке снова выросла.

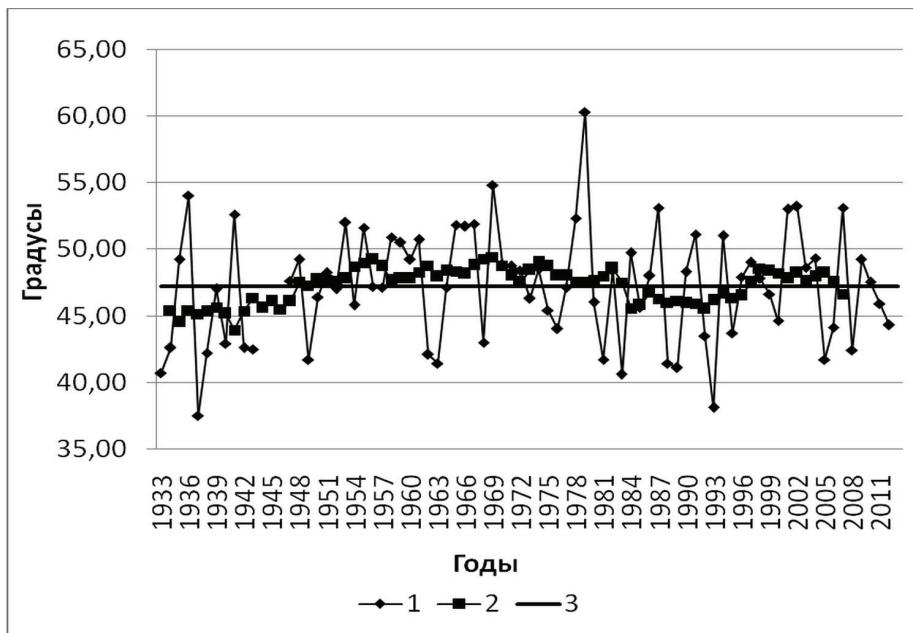


Рисунок 19 – Колебания годовой амплитуды температуры воздуха на станции Хатанга

Наводнения в России в XXI веке

Большое разнообразие процессов с высокой суммарной продолжительностью, влияющих в частности на формирование метеорологически обусловленных опасных природных процессов, оказывается характерной особенностью последнего 15-летия. О наводнениях самого начала XXI века можно прочитать в книгах (Атлас... 2007; Воробьев и др. 2003; Добровольский, Истомина 2006). Самыми разрушительными были в 2002г. наводнения в Ленске и Новороссийске. Наводнения на Северном Кавказе, сопровождавшие их экзогенные процессы и характер циркуляции атмосферы в первом десятилетии XXI века подробно рассмотрены в (Кононова 2012, Кононова 2012а, Кононова 2014). Катастрофическое наводнение в Крымске в 2012г. проанализировано в (Кононова 2013). Здесь остановимся на наводнениях на Дальнем Востоке в 2013г. и на Алтае в 2014г.

Развитие наводнения на Дальнем Востоке в 2013 году

На Дальнем Востоке в муссонном климате обычное соотношение зимних и летних осадков составляет 1:3. Зимой же 2012/13гг. при хорошо развитом сибирском антициклоне тихоокеанские циклоны оставляли осадки

на Дальнем Востоке. При обилии снега и затяжной холодной весне к началу летнего муссона влажность почвы составляла 70-80%. Почва не впитывала выпадавшую влагу, она скатывалась в реки. Усугубили ситуацию сильные дожди. По многим метеостанциям Амурской области к 10 августа суммы осадков уже превысили годовую норму (ВНИИГМИ-МЦД, Специализированные массивы для климатических исследований (meteo.ru/climate/sp_clim.php), ВНИИГМИ-МЦД, Чрезвычайные ситуации в России (<http://meteo.ru/climate/chs.php>). О погоде из первых рук. Сайт Гидрометцентра России (<http://www.meteoinfo.ru/>).

Так, на метеостанции Свободный выпало 574 мм, что равно годовой норме, в Благовещенске выпало 592 мм при годовой норме 564 мм. В результате уже с середины июля на отдельных реках отмечались высокие паводки, интенсивно начали наполняться Зейское и Бурейское водохранилища. На реках: Зе в Амурской области (гидрологические посты Мазаново, Суражевка, Малая Сазанка, Белогорье, Благовещенск), Амуре в Амурской области (Константиновка, Поярково), в Еврейской автономной области (Нагибово, Ленинск, Нижнеспасское), в Хабаровском крае (г.Хабаровск) наблюдались уровни, превышающие критические, при которых происходит подтопление населённых пунктов, сельхозугодий, размыв дорог. Приток воды в Зейское водохранилище во второй половине июля – начале августа был близок к самым большим значениям за весь период наблюдений. Среднемесечный приток в июле составил около 4500 куб. м/с, максимальный – 11700 куб. м/с. В результате водохранилище было наполнено выше нормального подпорного уровня более чем на 3 м. Переополнилось и Бурейское водохранилище.

Во второй половине лета 2013 года на Дальнем Востоке сильные дожди не прекращались. Они привели к сильнейшему наводнению, перекатывающемуся с верховьев к низовьям Амура в течение двух месяцев. Зонами бедствия стали Приамурье, Приморье, Хабаровский край.

2013 год пришёлся на фазу Ла-Нинья, в которую тихоокеанские тайфуны особенно активны (Бышев и др. 2014). Со второй половины лета они шли один за другим. Достигая умеренных широт, они регенерировали на фронтах циклонов полярного фронта и превращались в южные циклоны, только очень быстрые и богатые влагой. В таком состоянии они пересекли Китай и вызвали сначала там сильнейшее наводнение на притоках Амура. Затем они стали продвигаться дальше к северу и, встречая на пути препятствие в виде антициклиона в Магаданской области, выливались сильными ливнями на районы Дальнего Востока от Приамурья и Приморья до Николаевска на Амуре. К началу июля 2013 года над Приамурьем сформировалась стационарная высотная фронтальная зона, вдоль которой в течение двух месяцев один за другим перемещались глубокие, насыщенные тропической влагой циклоны. В результате практически повсеместно наблюдались рекордные отметки уровня воды, на 1,5-2 метра превосходящие исторические максимумы. Огромный удар стихии пришелся на крупные промышленные города Дальневосточного федерального округа: на р. Амур у г.Хабаровск сформировался выдающийся максимальный расход

воды, повторяемость которого оценивается как один раз в 200-250 лет, в районе г.Комсомольск-на-Амуре уровень воды превышал отметку опасного явления практически на 2,5 метра. Максимальный уровень воды в Амуре у села Новое в Еврейской автономной области составил 10,5 м. В апреле 2014г. это село начали отстраивать заново, подняв уровень земли насыпью.

В целом ущерб от наводнения превысил 3 млрд. рублей. В одном Хабаровском крае пострадало более 40000 человек.

Показательно, что предыдущее наиболее сильное наводнение на Дальнем Востоке произошло в 1897г., т.е. в период первого за время наблюдений всплеска продолжительности меридиональных процессов на Северном полушарии, а второе – в 1961г., в период второго всплеска.

Алтай 2014 год

В мае 2014 в Алтайском крае из-за сильных осадков, таяния ледников разлилась Обь с притоками, пострадало 33000 жителей, разрушено 4000 домов, мосты, дороги. Одним из первых пострадало село Чарышское. Река Чарыш размыла дамбу, разрушила мост, образовала второе русло прямо через село: через улицы и дома (рис. 20).



Рисунок 20 – Новое русло р. Чарыш через село Чарышское.

*Фото А.Г. Зяблицкой, гидролога Гидрометцентра
г.Барнаул. 11 июня 2014г.*

В мае 2014г. на Европейской территории России (ЕТР) стоял антициклон. Циклоны с Восточного Средиземноморья вынуждены были обходить его с юга и выходили на юг Западной Сибири, на Алтай.

Атлантические циклоны обходили европейский антициклон с севера, а затем по северо-западным потокам в передней части антициклона «ныряли» на Алтай. Встреча тёплых и холодных воздушных масс способствовала обострению атмосферных фронтов и увеличению количества осадков. В передней части циклонов из Казахстана закачивался на Алтай тёплый воздух. Это способствовало таянию ледников. Так сформировалось катастрофическое наводнение.

Современные тенденции

В XXI веке в результате отмеченного увеличения одновременных выходов южных циклонов в разных секторах полушария увеличилась и повторяемость одновременных экстремальных осадков и наводнений в разных далеко расположенных друг от друга регионах. Так, одновременно с наводнением на Дальнем Востоке летом 2013г. наводнения отмечались в Мексике, в Индокитае, в Японии, на Черноморском побережье Кавказа. 15-17 мая 2014г. одновременно с обильными осадками на Алтае отмечался штормовой циклон с обильными осадками на Камчатке и Курилах. В это же время развивалось наводнение на Балканах. 18 мая ливни прошли на Курилах и в Китае, 19 мая в Китае началось наводнение. 21 мая сильные дожди, вызванные южными циклонами, одновременно прошли в Японии и в Европе. Используя сведения об экстремальных событиях в разных углах Земли, приведенные на сайте <http://www.meteonovosti.ru>, можно сделать этот список как угодно длинным. Важно понять, что современное состояние атмосферы способствует одновременному возникновению стихийных бедствий, связанных с осадками, в разных регионах. Следовательно, повышается и вероятность возникновения таких экстремумов в каждом отдельном регионе.

Заключение

1. Особенность современного периода (1998-2013гг.) на полуширье заключается в новом (третьем с 1899г.) всплеске продолжительности блокирующих процессов. Кроме того, количество одновременных блокирующих процессов на полушире в современный период больше, чем в предыдущие. Если в начале XX века одновременно формировалось два блокирующих процесса, в 60 годы 2-3 процесса, то сейчас 3-4 одновременных блокирующих процесса на полушире. На Россию при этом приходится два одновременных блокирующих процесса.

2. Рост суммарной годовой продолжительности блокирующих процессов привёл к стабилизации среднегодовой температуры воздуха Северного полушария. Наибольшая аномалия с 1998г. не превышает $0,626^{\circ}$ С. Глобальная температура понижается.

3. Происходящие колебания температуры воздуха в разных регионах связаны с колебаниями общей циркуляции атмосферы и изменением продолжительности процессов, вызывающих повышение или понижение температуры воздуха в конкретном районе в определённом сезоне.

4. С 1998г. зачастую самым холодным месяцем оказывается февраль,

что связано со временем интенсивного развития сибирского антициклона и его отрогов.

5. Современное увеличение суммарной годовой продолжительности блокирующих процессов, развивающихся преимущественно над континентами зимой и летом, привело к повышению летних и понижению зимних температур, т.е. к росту годовой амплитуды температуры воздуха как в среднем на Северном полушарии, так и особенно в России, что чревато негативными последствиями.

6. Характерной чертой современного периода является одновременное формирование засух на юге Европейской России, вызванных стационированием антициклона, и стихийных бедствий, связанных с обильными осадками, на Черноморском побережье и на Северном Кавказе в результате выхода циклона с восточного Средиземноморья.

7. Увеличилась повторяемость ЭЦМ, при которых отмечаются одновременные выходы южных циклонов в разных секторах полушария, что способствует возникновению экстремальных осадков и наводнений в разных далеко расположенных друг от друга регионах.

Литература

Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Южном федеральном округе РФ: коллектив. Монография / под общ. ред. С.К. Шойгу. – М.: Дизайн, Информация, Картография, 2007, 384 с.

Берг Л.С. Уровень Каспийского моря и условия плавания в Арктике // Климат и жизнь, – ОГИЗ, –М.: 1947, с. 90-95.

Бышев В.И., Нейман В.Г., Пономарёв В.И., Романов Ю.А., Серых И.В., Цурикова Т.В. Роль глобальной атмосферной осцилляций в формировании климатических аномалий Дальневосточного региона России. // Доклады РАН, 2014, том 458, №1, с. 92-96.

Воробьёв Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы. Москва: ООО «ДЭКС-ПРЕСС, 2003, 352 с.

Груда Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск, ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012, 194 с.

Дзерзееевский Б.Л. Проблема колебаний общей циркуляции атмосферы и климата. // А.И Воейков и современные проблемы климатологии. –Л.: Гидрометеоиздат, 1956, с. 109-122.

Дзерзееевский Б.Л. Сопоставление характеристик атмосферной циркуляции над северным полушарием и его секторами // Материалы метеорологических исследований, изд. Междувед. Геофиз. комитета при Президиуме АН СССР, –М., 1970, с. 7-14.

Дзерзееевский Б.Л., Курганская В.М., Витвицкая З.М. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и

характеристика синоптических сезонов. // Тр. н.-и. учреждений Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сер. 2. Синоптическая метеорология; Вып. 21. Центральный институт прогнозов. –М., –Л., Гидрометиздат, 1946, 80 с.

Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. –М.: ГЕОС, 2006, 260 с.

Кононова Н.К. Изменение характера циркуляции атмосферы в последние десятилетия как фактор изменения климатических и ледовых условий Арктики // Материалы гляциологических исследований, вып. 100, 2006, с. 191-199.

Кононова Н.К. Современные колебания климата // География в школе, 2012, № 7, с. 8-16.

Кононова Н.К. Циркуляция атмосферы как фактор стихийных бедствий на Северном Кавказе в XXI веке. // Геополитика и экогеодинамика регионов. Научный журнал Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Симферополь. Том 8, вып. 1-2, 2012а, с. 72-103.

Кононова Н.К. Наводнения в Краснодарском крае в июле-августе 2012г. // География в школе, 2013, №5, с. 26-34.

Кононова Н.К. Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX-начале XXI века: <http://atmospheric-circulation.ru>.

Новости погоды: <http://www.meteonovosti.ru>.

О погоде из первых рук. Сайт Гидрометцентра России: <http://www.meteoinfo.ru>.

Рубинштейн Е.С., Полозова Л.Г. Современное изменение климата. –Л.: Гидрометеоиздат, 1966г., 263 с.

Специализированные массивы для климатических исследований: http://meteo.ru/climate/sp_clim.php.

Чрезвычайные ситуации в России: <http://meteo.ru/climate/chs.php>.

Climatic Research Unit Data: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>.

Barry R.G., Perry A.H. Synoptic Climatology Methods and Applications. Methuen & Co Ltd: London, 1973, – 555 p.

Shilovtseva O.A., Kononova N.K. and Romanenko F.A. Climate Change in the Arctic Regions of Russia. // In: Climate Change Adaptation: Ecology, Mitigation and Management ISBN 978-1-61122-764-2. Editor: Adam L. Jenkins, 2011, Nova Science Publishers, Inc. pp. 30-58.