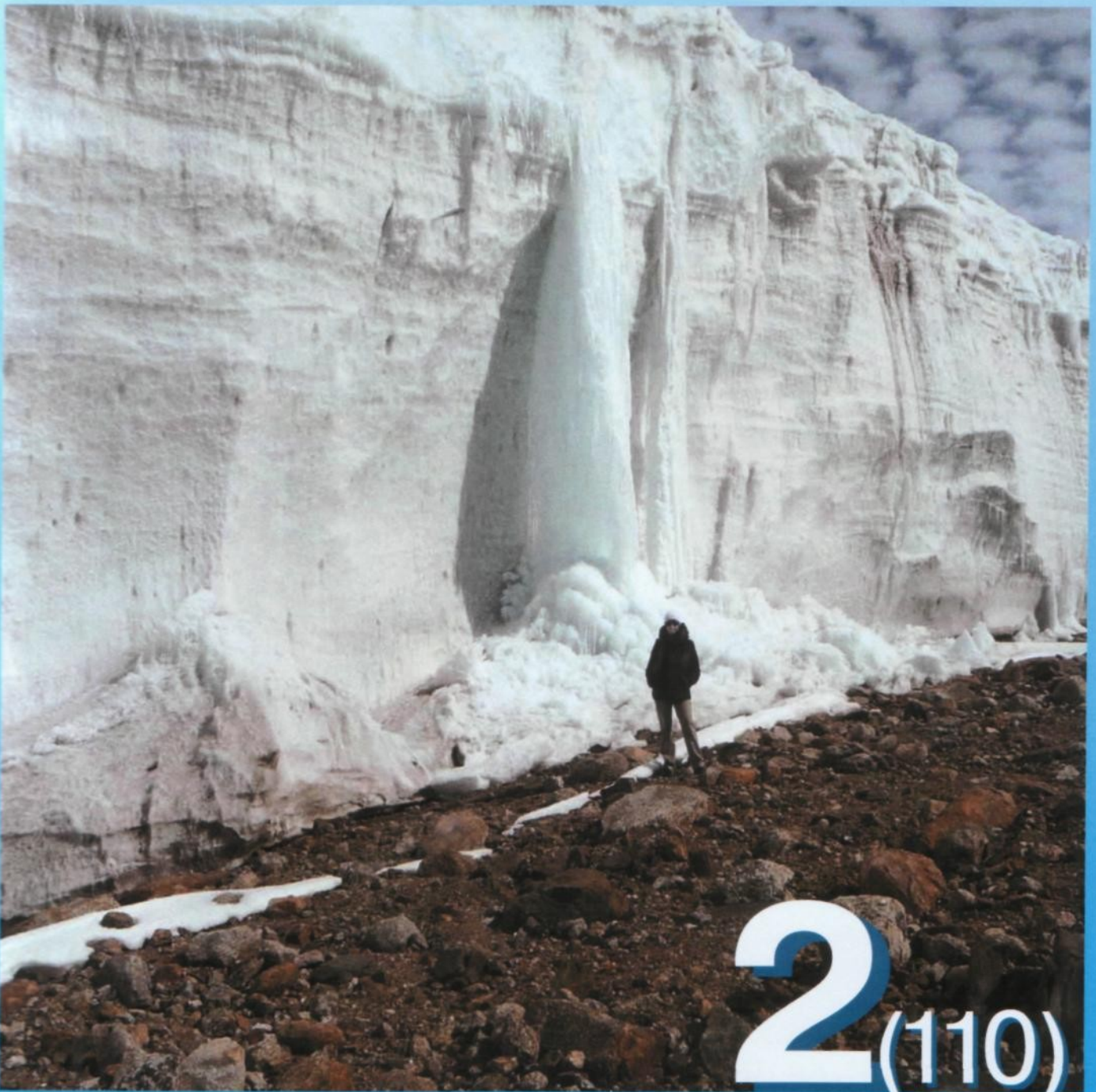


ISSN 2076-6734



Лёд и Снег



2⁽¹¹⁰⁾
2010



НАУКА

Обзоры и хроника

УДК 551.583

Глобальная циркуляция атмосферы и сопряжённость гляциологических процессов в Арктике и Антарктике

© 2010 г. В.Г. Захаров, Н.К. Кононова

Институт географии РАН, Москва

Zakharov_vg@mail.ru

Статья принята к печати 5 июля 2009 г.

Арктика и Антарктика, Северное и Южное полушария, сопряжённость процессов, циркуляция атмосферы. Arctic and Antarctic, atmospheric circulation, interlinking of processes, Northern and Southern Hemispheres.

Рассматриваются глобальные динамические схемы элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) в той проекции, в какой были сделаны карты, опубликованные Б.Л. Дзердзеевским в 1967 г. На этих картах дополнительно отражены циркуляционные процессы на полюсах и траектории выходов циклонов из низких широт в высокие. Это даёт возможность полнее анализировать глобальные циркуляционные процессы с учётом их сезонных различий по полушариям. Показано, что сезонные смещения осей блокирующих процессов одинаковы в Северном и Южном полушариях. Сопряжённость циркуляции атмосферы находит отражение в сопряжённости колебаний температурного режима в высоких широтах обоих полушарий, а также ледниковых и других природных процессов в Арктике и Антарктике.

Введение

На картах-схемах глобальной циркуляции атмосферы, опубликованных в 1967 г. [2], приведены траектории перемещения циклонов и места стационарирования антициклонов при зональной циркуляции, группе нарушения зональности и меридиональной северной группе. Установлена сопряжённость циркуляции атмосферы Северного и Южного полушарий: зональной циркуляции в Северном полушарии соответствует зональная же циркуляция в Южном, а блокирующие антициклоны в обоих полушариях формируются одновременно на одних и тех же долготах. Их количество в Северном и Южном полушариях одинаково.

Позже были опубликованы динамические схемы одновременного формирования в обоих полушариях меридиональной южной группы циркуляции, а также анализ её особенностей в каждом из них в связи с противоположным характером сезонов [12]. Анализ одновременного развития в обоих полушариях элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ), представляющих все группы циркуляции, показал, что различия в их характере в Северном и Южном полушариях заключаются в большем количестве одновременных выходов циклонов из низких широт в высокие в летнем полушарии.

В развитие выполненных ранее исследований в этой работе приводятся глобальные динамические схемы конкретных ЭЦМ в той проекции, в какой

были сделаны карты Б.Л. Дзердзеевского. Они дополнены показом циркуляционных процессов на полюсах и траекториями выходов циклонов из низких широт в высокие. Это позволяет выполнить наиболее полный анализ глобальных циркуляционных процессов с учётом их сезонных различий по полушариям. В качестве иллюстрации применения типовых схем ЭЦМ, разработанных Б.Л. Дзердзеевским [2], и динамических схем глобальной циркуляции атмосферы для анализа природных процессов приводятся несколько примеров проявления синхронности и сопряжённости ледниковых процессов, а также гляциоклиматических характеристик ледников в Арктике и Антарктике.

Сопряжённость циркуляционных процессов в Северном и Южном полушариях

Построены обобщённые сборно-кинематические карты, а по ним — динамические схемы каждого типа ЭЦМ в Южном полушарии на основе Календаря последовательной смены ЭЦМ и Синоптического бюллетеня Южного полушария за 1998—2005 гг. Их объединение с динамическими схемами Северного полушария [3, 4] и позволило создать глобальные динамические схемы всех типов ЭЦМ. Здесь приведены четыре динамические схемы ЭЦМ, относящиеся к четырём группам циркуляции; при этом даны глобальные схемы не тех ЭЦМ, которые показаны в статье [12]. Это сделано, во-первых, чтобы не повто-

рять уже опубликованные результаты, а во-вторых — чтобы показать, что сопряжённость циркуляции атмосферы в Северном и Южном полушариях существует при всех макропроцессах.

Сопряжённость гляциологических процессов и гляциоклиматических характеристик ледников в Северном и Южном полушариях продемонстрирована по результатам расчётов баланса массы ледниковых покровов [7], данным наблюдений [1, 5, 19, 20], результатам изотопного анализа ледниковых кернов, радиоуглеродным исследованиям [6, 13, 18, 19], а также историческим [8, 17] и литературным источникам [9].

Зональная группа циркуляции. Для ЭЦМ этой группы характерны наличие антициклона на полюсе, кольца циркумполярных циклонов, пополняемых выходами циклонов из низких широт, и полосы субтропических антициклонов, разрываемой этими циклонами. В группу входят пять ЭЦМ: два зимних — для Северного полушария (ЭЦМ 1а и 1б) и три летних (ЭЦМ 2а, 2б и 2в). Рассмотрим глобальную динамическую схему ЭЦМ 2а (рис. 1, а).

На карте приземного давления над Арктическим бассейном расположено смещённое на Американский сектор малоподвижное ядро повышенного давления, окружённое хорошо выраженным «кольцом» пониженного давления, которое связано с циклонической деятельностью на арктическом фронте. В это кольцо вливаются южные циклоны, сформировавшиеся на полярном и регенерировавшие на арктическом фронте. Почти над всей площадью континентов давление понижено. Кольцо циркумполярных траекторий циклонов захватывает значительную часть умеренного пояса и интенсивно пополняется в результате выхода южных циклонов в трёх секторах полушария.

Над океанами хорошо выражены области повышенного давления. Субтропические антициклоны занимают положение, близкое к среднему многолетнему. Сильнее развит тихоокеанский антициклон, его отрог распространяется на западные районы Америки. Восточный отрог азорского антициклона развит слабо, только иногда он заходит на Пиренейский полуостров. Над югом Европейской части России и Западной Сибири располагается ядро

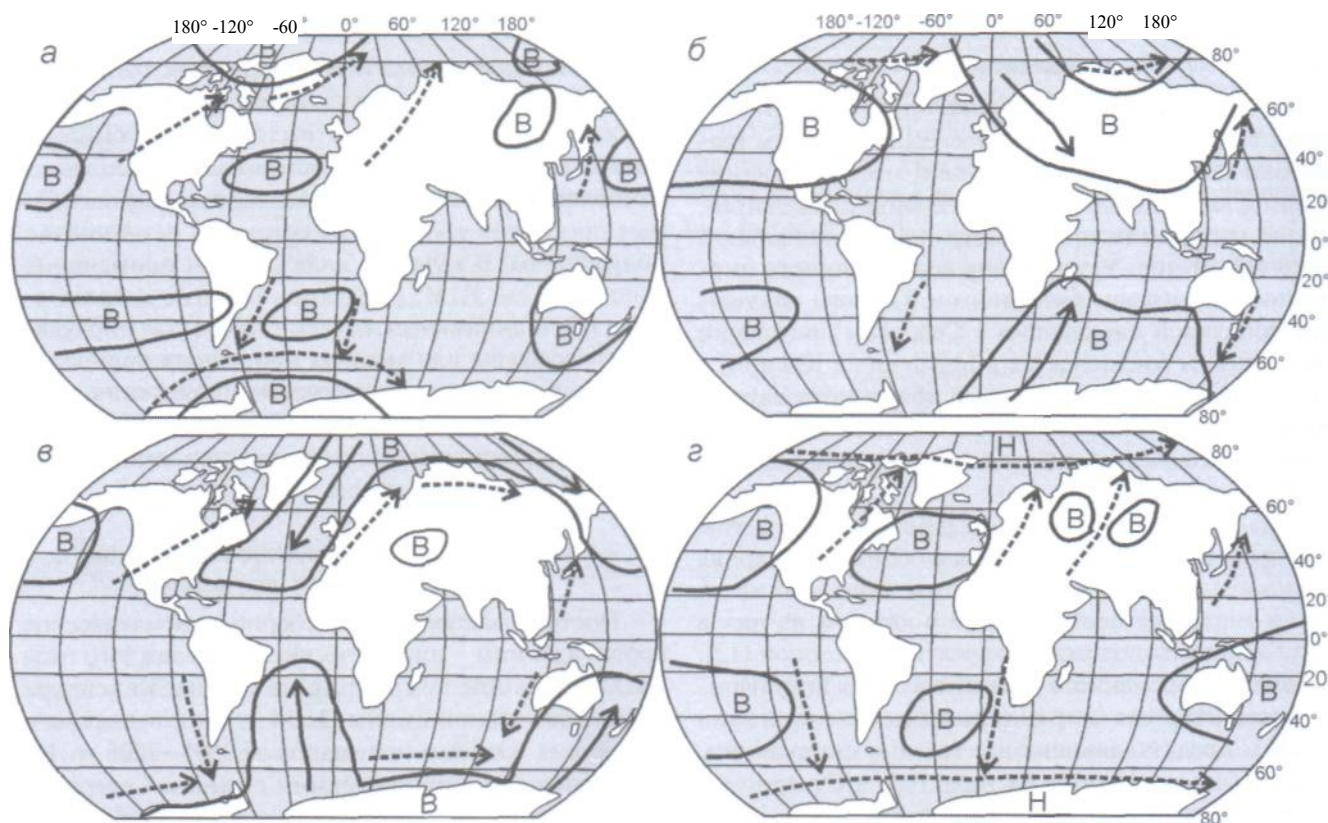


Рис. 1. Глобальные динамические схемы ЭЦМ:

а - 2 а; б - 4 а; в - 9 а; г - 13 л; сплошные стрелки - генерализованные траектории антициклонов; пунктирные - циклонов; В - области высокого давления

Fig. 1. Global dynamic schemes of ECM:

а - 2 а, б - 4 а, в - 9 а, г - 13 л; continuous arrows - average trajectories of anticyclones, dotted - cyclones; В - areas of high pressure

повышенного давления. Южные циклоны, выходя с западной части Средиземного моря, направляются на Западную и Центральную Европу. На дальневосточное побережье они выходят с Японского моря, а на Северную Америку — с Мексиканского залива. В средней тропосфере отмечается хорошо выраженный зональный перенос, почти не нарушаемый слабыми ложбинами. Арктический антициклон прослеживается до изобарической поверхности АТ 200.

В Южном полушарии этот ЭЦМ приходится на зиму, поэтому при аналогичном расположении областей высокого и низкого давления выходов циклонов из низких широт в высокие здесь только два. Несмотря на сезонные различия, давление в центре антарктического антициклона (1000 гПа) ниже, чем в центре арктического (1025 гПа), что связано с высотным расположением Южного полюса (более 2000 м). Давление в центрах субтропических антициклонов в Южном полушарии (1030—1035 гПа) выше, чем в Северном (1020—1025 гПа), как и должно быть в это время года. В средней тропосфере Южного полушария, как и Северного, зональный перенос хорошо выражен.

Группа нарушения зональности. В эту группу входят 13 ЭЦМ: шесть летних для Северного полушария (ЭЦМ 3, 4б, 4в, 6, 7ал и 7бл) и семь зимних (ЭЦМ 4а, 5а, 5б, 5в, 5г, 7аз и 7бз). Для всех характерен один блокирующий процесс — полоса повышенного давления, соединяющая полярный антициклон с субтропическим - и от одного до трёх выходов южных циклонов.

В качестве примера приведём глобальную динамическую схему ЭЦМ 4а, где арктический и антарктический антициклоны смещены на Тихоокеанский сектор (см. рис. 1, б). Нарушение западного зонального переноса в Северном полушарии вызывает блокирующий антициклон, сформировавшийся над Восточной Европой в результате затора арктического воздуха в тыл циклонов, перемещающихся по северу Западной Сибири.

В Южном полушарии такое же нарушение возникает из-за антарктического вторжения, направленного из центральных районов континента к о. Мадагаскар. В остальной части высоких широт сохраняются зональные траектории циклонов, в которые вливаются также циклоны, поступающие из низких широт. В Северном полушарии южный циклон проходит вдоль дальневосточного побережья Азии. В Южном полушарии летом отмечаются два выхода циклонов из низких широт в высокие — вдоль восточного берега Австралии и Южной Америки. Максимальная повторяемость этого ЭЦМ отмечается в конце октября — начале ноября (9 % общего числа случаев [15]), когда над Сибирью уже хорошо развиты континентальный антициклон и его

западный отрог. Здесь создаётся обширная область повышенного давления: так называемая «ось Воейкова», захватывающая значительную часть Евразии.

Вторжение арктического воздуха на Европейскую часть России пополняет континентальный антициклон. Давление в центре арктического антициклона составляет 1025—1030 гПа, в центрах субтропических антициклонов Северного полушария — 1030—1035 гПа. В центре антарктического антициклона, в Тихоокеанском секторе Антарктиды, давление (990—995 гПа) существенно ниже, чем в центре арктического, что объясняется наложением сезонных различий на высотное расположение Южного Полюса. Давление в центрах субтропических антициклонов в Южном полушарии (1025—1035 гПа) мало отличается от Северного. В средней тропосфере внетропических широт Земли преобладает зональный перенос.

Меридиональная северная группа циркуляции. В эту группу входят 21 ЭЦМ с двумя—четырьмя блокирующими антициклонами и двумя—четырьмя выходами циклонов из низких широт в высокие в каждом полушарии. Из этих ЭЦМ восемь (ЭЦМ 8бл, 8вл, 8гл, 9а, 10б, 12а, 12бл, 12вл) развиваются в тёплое полугодие (летом, весной и осенью) Северного полушария и тринадцать (ЭЦМ 8а, 8бз, 8вз, 8гз, 9б, 10а, 11а, 11б, 11в, 11г, 12бз, 12вз и 12г) — в холодное (зимой, в предзимье и предвесенье). Примером служит глобальная динамическая схема ЭЦМ 9а (см. рис. 1, в), встречающегося с марта по октябрь. Для него характерны два блокирующих процесса — в регионах Тихого и Атлантического океанов в каждом полушарии — и три прорыва южных циклонов в Северном полушарии.

Блокирующие процессы в Северном полушарии развиваются при формировании над Гренландией и Аляской гребней арктического антициклона и их последующем смещении на океаны до смыкания с гребнями субтропических антициклонов. В Южном полушарии гребни направлены на Атлантический океан у восточных берегов Южной Америки и на Тихий — через восток Австралии. Образуются две широкие полосы высокого давления, пересекающие внетропические широты двух полушарий, блокирующие западный перенос в двух местах. Над Северной Америкой развита циклоническая деятельность. Циклоны, движущиеся вдоль высоких широт или идущие с юго-запада, задерживаются над Лабрадором и северо-западом Атлантики. Два других прорыва полярно-фронтальных циклонов идут через Европу и вдоль дальневосточного побережья Азии. Однако в последнем случае их объединения с движущимися с запада по высоким широтам циклоническими образованиями не происходит. В Южном полушарии зимой отмечаются два прорыва циклонов из низких

широт в высокие: вдоль западных берегов Южной Америки и Австралии.

Над Восточной Европой и Сибирью появляются временные антициклонические образования. Формирующиеся в связи с этим деформационные поля обеспечивают рост температурных градиентов на полярном фронте, его обострение и образование на его волнах новых циклонов, перемещающихся к северо-востоку. Максимальная повторяемость ЭЦМ 9а (15 %) приходится на первую декаду июня.

Меридиональная южная группа циркуляции — ЭЦМ с циклонической циркуляцией на полюсах (ЭЦМ 13з и 13л). Основным признаком этого типа ЭЦМ — циклоническая циркуляция над Арктикой и Антарктикой. Она определяется развитием циклонической деятельности на арктическом и антарктическом фронтах и особенно регенерацией здесь окклюзированных циклонов, приходящих из низких широт. Такие процессы наблюдаются в течение всего года, но чаще бывают летом. Сезонные различия ЭЦМ этого типа обусловлены главным образом переменной знака барического поля над континентами и океанами. Примером служит глобальная динамическая схема ЭЦМ 13л, которой свойственны четыре прорыва южных циклонов в Северном полушарии (см. рис. 1, з).

Сезонные изменения характера подстилающей поверхности обуславливают важные различия в развитии циркуляции в целом. Депрессия на Северном полюсе при ЭЦМ 13л не имеет вида узкой полосы, как при ЭЦМ 13з. Она — часть обширной области пониженного давления над внетропическими широтами Северного полушария. На Южном полюсе в связи с более низким давлением, чем на Северном, депрессия при этом ЭЦМ, несмотря на зиму, занимает значительную площадь. Естественно, в Северном полушарии сильнее развиты оба субтропических антициклона над океанами, гонолульский антициклон сохраняет большую интенсивность, чем азорский. Его гребень распространяется на всю западную половину Северной Америки, на Канадский Арктический архипелаг и достигает севера Гренландии.

Гребень этого антициклона пополняется за счёт арктических вторжений в тыл циклонов, перемещающихся с запада и юго-запада в восточной части американского континента. Он задерживает тихоокеанские циклоны, которые движутся далее с большой северной составляющей. Азорский антициклон остаётся в южных широтах Атлантического океана; его гребень вытянут на Западную Европу. Циклоническая деятельность развивается в северной половине Атлантики. Идущие от Мексиканского залива вдоль берегов Северной Америки циклоны вливаются в Исландскую депрессию. Проходящие по более восточным траекториям полярно-фронтальные циклоны после регенерации быстро движутся в высоких широтах на

восток или северо-восток. В приполярную область чаще всего они проникают в районах Новосибирских островов, Восточно-Сибирского или Чукотского морей. В центральных частях Арктического бассейна нередко происходят сближение и взаимодействие циклонических образований, приходящих сюда со стороны Атлантики и Европы, а также со стороны Тихого океана. Образуется обширная, главным образом, двух- или многоцентровая депрессия.

В Южном полушарии отмечаются два прорыва циклонов из низких широт в высокие, где они вливаются в антарктическую область пониженного давления.

ЭЦМ 13л отличается более длительным существованием, чем другие ЭЦМ. Так как ЭЦМ 13л в июле — августе часто повторяются, это приводит к образованию депрессии над центральной Арктикой и Антарктидой на средних картах приземного давления. ЭЦМ 13л встречается с марта по сентябрь, редко — в октябре и ноябре. Наибольшая повторяемость (около 20 %) приходится на июль.

Смещение положения осей блокирующих процессов по циркуляционным сезонам. Согласно проведённым исследованиям [10, 14], рост интенсивности зональной циркуляции в переходные сезоны (в предвесенье, весной, осенью и в предзимье) приводит к смещению осей блокирующих процессов к востоку относительно их положения зимой или летом. Такое же смещение осей в Южном полушарии (рис. 2) показали аналогичные работы, выполненные по синоптическим картам [11]. Это также свидетельствует о сопряжённости циркуляционных процессов в Северном и Южном полушариях.

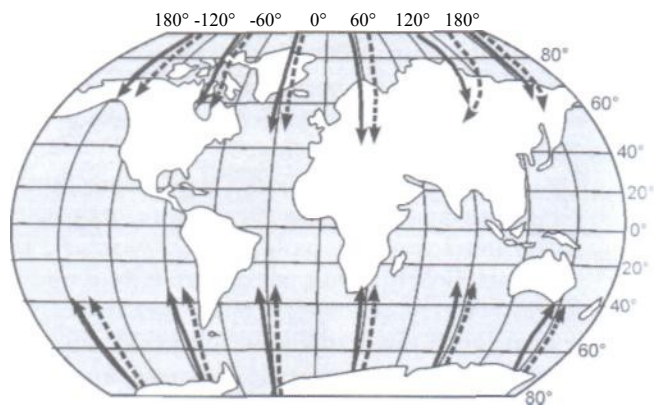


Рис. 2. Сезонные смещения осей блокирующих процессов. Сплошные стрелки: зима в Северном полушарии, лето в Южном полушарии, пунктирные: предвесенье и предзимье в Северном полушарии, осень и весна — в Южном полушарии. Fig. 2. Seasonal displacement of axes of blocking processes. Continuous arrows — winter in Northern Hemisphere, summer — in Southern Hemisphere, dotted — prespring and prewinter in Northern Hemisphere, autumn and spring — in Southern Hemisphere

Сопряжённость гляциологических процессов в Арктике и Антарктике

Для исследования сопряжённости гляциологических процессов в Арктике и Антарктике в историческое время мы использовали данные по изменениям температуры воздуха в Англии вблизи Гринвича (изотопный анализ) [16], а также материалы полевых гляциологических наблюдений на станции Комсомольская в Восточной Антарктиде (изотопная кривая — данные интерпретации ледникового керна) [13]. С 800 по 1920-е годы в ходе годовой температуры воздуха в обоих районах прослеживается синхронность с достаточно высоким коэффициентом корреляции рассмотренных характеристик (0,75). Анализ типовых схем глобальной атмосферной циркуляции [2, 11, 12] показал, что основной причиной существования этой междуполушарной связи служит одновременный выход циклонов из низких широт к Англии и в район станции Комсомольская, расположенной во внутриконтинентальной области Восточной Антарктиды. При сопряжённом развитии на полушариях блокирующих процессов в этих районах преобладают периоды с меньшим числом циклонов, а значит, с меньшим количеством тепла и осадков. Согласно двум сопряжённым характеристикам (рис. 3, а), с 800 по 1920-е годы самыми холодными были периоды 900-940, 1350-1430, 1600-1690 гг. и в 1780—1820 гг. — в максимум малой ледниковой эпохи.

На рис. 3, б показана сопряжённость многолетних изменений баланса массы ледникового покрова Новой Земли (1), рассчитанных по данным о снегонакоплении [7], и циклических колебаний скорости аккумуляции снега на куполе С (2) в Восточной Антарктиде (75° ю.ш., 123° в.д.) по изотопным исследованиям снега [19]. Исследуемые характеристики были получены разными методами, однако на всём анализируемом отрезке времени (1890-1980 гг.) наблюдается хорошая согласованность периодов с положительными значениями баланса массы оледенения Новой Земли и периодическими снижениями аккумуляции снега на куполе С в Восточной Антарктиде. Это наблюдалось в 1895—1995 гг., 1920 - середина 1930-х годов, 1938-1947, 1960-1964, 1970-1975 гг. (см. рис. 3, б). Наоборот, периодам повышений аккумуляции снега на куполе С в Антарктиде на рубеже 1910 г., в 1930-1937, 1954-1960 и после 1975 г. соответствовали отрицательные значения баланса массы ледникового покрова Новой Земли. Характерно, что самый высокий коэффициент корреляции (—0,54) для рассматриваемых показателей проявился в 1915—1957 гг. в зональную циркуляционную эпоху. Сопряжённое развитие зональных макропроцессов на полушариях в этот период отражено в правой части рис. 3, б.

Оба анализируемых ледниковых района разнесены друг от друга по долготе более чем на 60°, вместе с тем в режиме снежных осадков проявляется сопряжённое воздействие блокирующих процессов, периодически формирующихся в Северном и Южном полушариях. При развитии зональной циркуляции на полушариях условия питания циклоническими осадками арктических побережий и соответственно ледникового покрова Новой Земли более благоприятны, чем во внутриконтинентальном районе купола С в Восточной Антарктиде.

Следующая пара многолетних показателей (см. рис. 3, в) указывает на сопряжённость в ходе режима питания ледникового покрова Новой Земли (1), рассмотренного ранее, и изменений содержания ¹⁸O (2) на ледниковом куполе Беркнер в Западной Антарктиде (шельфовые ледники Фильхнера и Ронне) [19]. Эти результаты, полученные разными методами, и данные рис. 3, б позволили выявить два противоположно расположенных района Антарктиды к западу и востоку от Гринвича (ледниковый купол Беркнер — Западная Антарктида, купол С - Восточная Антарктида), ход температур и условия питания в которых синхронно изменялись с 1900 по 1980 г. В свою очередь сопряжённость указанных гляциоклиматических характеристик каждого из антарктических куполов (см. рис. 3, б и в) хорошо согласуется с изменениями в режиме ледникового покрова Новой Земли (Арктика). В зональную циркуляционную эпоху (1916—1956 гг.) коэффициенты корреляции этих показателей по отношению друг к другу составляли 0,55—0,67 и были самыми высокими за периоды наблюдений.

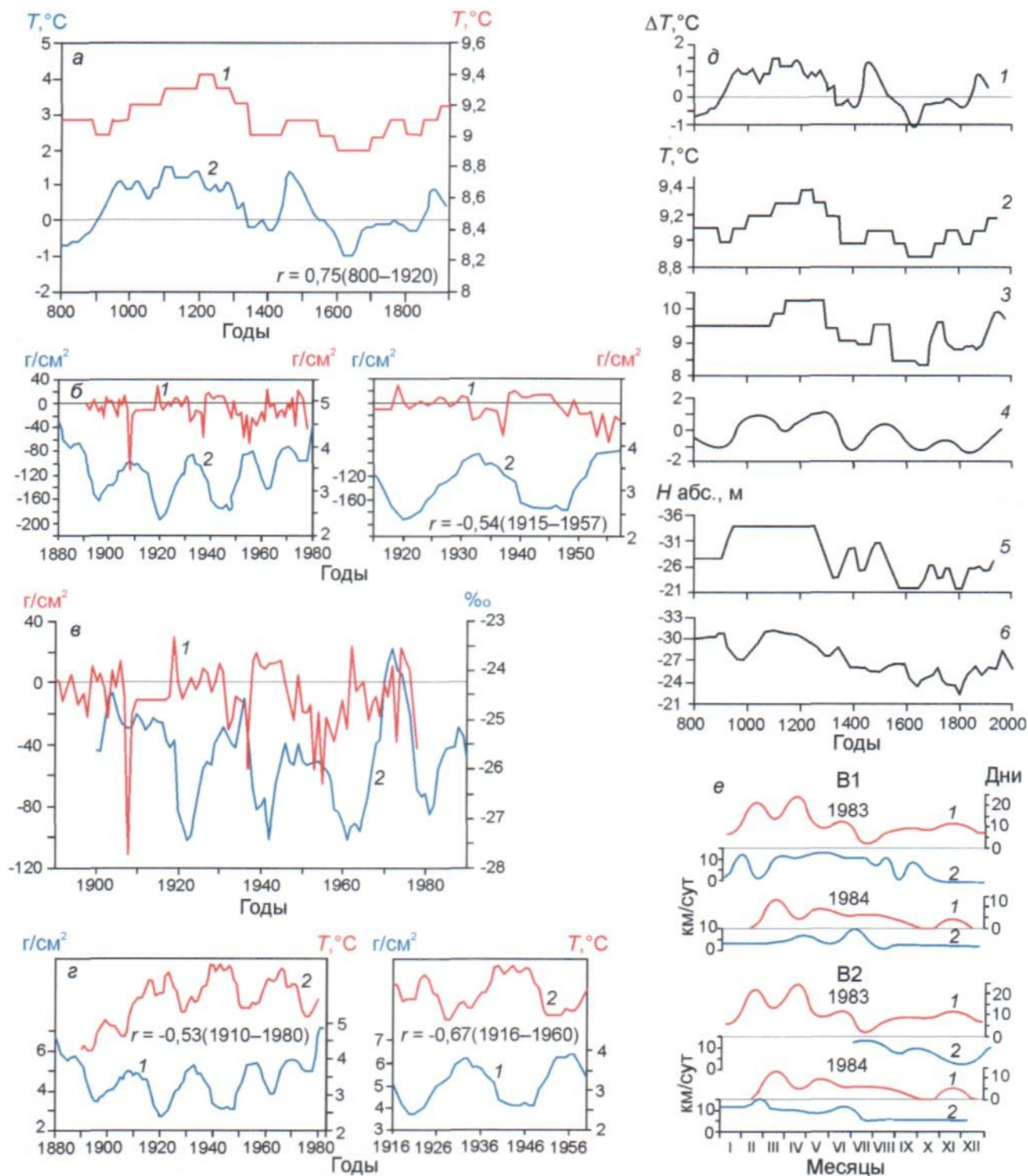
Выявленные междуполушарные связи указывают на то, что в двух рассмотренных районах Антарктического ледникового покрова и в одном на арктическом побережье (ледниковый покров Новой Земли) периодически и синхронно формировались блокирующие гребни высокого давления, сменяемые одновременными выходами циклонов из низких широт в высокие. Эти особенности циркуляционных процессов и их сопряжённость нашли отражение в используемых для нашего анализа гляциоклиматических характеристиках ледниковых покровов Арктики и Антарктиды, представленных на рис. 3, б и в.

Рис. 3, г позволяет проследить сопряжённость многолетнего хода сумм положительных температур воздуха в бассейне оз. Таймыр [1] и циклических колебаний скорости аккумуляции снега на куполе С в Восточной Антарктиде [19], рассмотренные ранее (см. рис. 3, в). Представленные вновь кривые наглядно характеризуют хорошую согласованность и периодичность развития блокирующих гребней высокого давления на полушариях с 1890 по 1980 г. и одновременных выходов циклонов из низких широт в район

оз. Таймыр на арктическом побережье и в район купола С в Восточной Антарктиде.

В многолетнем ходе этих показателей выявлена наиболее тесная корреляционная связь ($-0,53$) по сравнению с разобранными ранее сопоставлениями пар разнополушарных характеристик (см. рис. 3, б и в). Как и в указанных случаях, самый высокий коэф-

фициент корреляции в ходе сумм положительных температур на Таймыре и аккумуляции снега на куполе С в Антарктиде ($-0,67$) наблюдался в 1916—1956 гг. в зональную циркуляционную эпоху. Правая часть рис. 3, г иллюстрирует проявление хорошей согласованности рассмотренных показателей на этом отрезке времени.



На рис. 3, *д*, заимствованном из работы [9], приведены шесть многовековых показателей изменений ледниковых, а также других природных процессов, отражающих сопряжённость глобальных циркуляционных процессов в разных районах Северного полушария и в Антарктиде с 800 по 1990-е годы. Это — уже анализируемые ранее изменения температуры воздуха на станции Комсомольская в Восточной Антарктиде (1) [13] и в Англии (2, 3) по историческим данным и изотопному анализу [16, 17], изменения положений нижней границы ледников (4) в Альпах [20] и колебания уровня Каспийского моря (5, 6) [6, 8]. Таким образом, синхронность в ходе этих характеристик позволяет выделить тёплые и холодные периоды, наблюдавшиеся в историческое время не только в высоких широтах Северного и Южного полушарий, но и в умеренных широтах Евразии. Так, периодам наиболее низких границ языков альпийских ледников (4), например, в малую ледниковую эпоху, соответствуют наиболее низкие температуры воздуха в Восточной Антарктиде в районе станции Комсомольская (7) и наоборот периодам отступаний альпийских ледников соответствуют более тёплые периоды во внутриконтинентальных районах Антарктического ледникового покрова. Несмотря на малую детальность всех приведённых на рис. 3, *д* кривых, зональная циркуляционная эпоха XX столетия, на протяжении которой отмечалась лучшая сопряжённость циркуляционных и других многовековых характеристик, отразилась практически в ходе каждой из них.

На рис. 3, *е* из работы [5] представлены результаты анализа сопряжённости циркуляции атмосферы и океанических процессов в Северной и Южной Атлантике в 1983 и 1984 гг. На нём отражены изменения годового хода блокирующих процессов в Северной Атлантике (7), рассчитанные по синоптическим картам, и сред-

ней скорости дрейфа двух крупных антарктических айсбергов — В1 (12 x 18 км) и В2 (5 x 18 км) в море Уэдделла (2) в Атлантическом секторе Антарктики.

Движение айсбергов рассчитывалось по космическим ледовым картам в пределах области гребней высокого давления в море Уэдделла. При этом считалось, что изменения в движении айсбергов, пересекающих приблизительно под прямым углом перемычки высокого давления у побережий Антарктиды, должны были отразить интенсивность развития блокирующих процессов в целом для Атлантического сектора обоих полушарий. Ранее в работе [5] было показано, что скорость дрейфа антарктических айсбергов и морских льдов замедляется в области осей блокирующих гребней высокого давления и возрастает при выходе из неё или при ослаблении самих блокировок. На рис. 3, *е* хорошо выражена контрфазность в ходе синхронно действующих в Атлантическом секторе блокирующих процессов и изменений скорости дрейфа айсбергов, характеризующих динамику вод в Прибрежном Антарктическом течении. Чем интенсивнее были блокирующие процессы в море Уэдделла, тем медленнее в Прибрежном Антарктическом течении дрейфовали айсберги В1 и В2.

Выводы

Разработаны глобальные динамические схемы элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) в типизации Б.Л. Дзердзеевского, что позволяет анализировать связь природных процессов, развивающихся одновременно в двух полушариях, с циркуляцией атмосферы. Выявлено смещение к востоку осей блокирующих процессов в переходных сезонах по сравнению с основными сезонами во всех секторах Северного и Южного полушарий, что также указывает на сопряжённость циркуляционных процессов обоих полушарий.

Рис. 3. Сопряжённость природных процессов в Северном и Южном полушариях:

a — многолетний ход температуры воздуха по изотопным данным в Британии [16] (1) и в Восточной Антарктиде [13] (2); *з* — коэффициент корреляции; *б* — изменения баланса массы оледенения Новой Земли [7] (1) и аккумуляции снега на куполе С (Восточная Антарктида) [18] (2); *в* — изменения баланса массы Новой Земли (1) и содержания ^{18}O на куполе Беркнер (Западная Антарктида) (2); *г* — изменения аккумуляции снега в Антарктиде на куполе С [18] (1) и сумм положительных температур воздуха на Таймыре [1] (2); *д* — синхронность изменения за историческое время: 1 — температуры воздуха в Восточной Антарктиде (станция Комсомольская, изотопные данные) [13]; 2 — температуры воздуха в Англии (изотопные данные) [16]; 3 — температура воздуха в Англии (исторические источники) [17]; 4 — положение южной границы ледников в Альпах, км [19]; 5 — уровень Каспия [6]; 6 — уровень Каспия [8]; *е* — сопоставление годовой продолжительности блокирующих процессов в Северной Атлантике (1) и средней скорости дрейфа антарктических айсбергов В1 и В2 (2) у побережья моря Уэдделла в Южной Антарктиде в 1983 и 1984 гг. **Fig. 3.** Interlinking of natural processes in Northern and Southern Hemispheres:

a — a long-term course of air temperature on the isotope data in Britain [16] (1) and in East Antarctica [13] (2); *z* — changes of mass balance of the Novaya Zemlya glaciation [7] (1) and accumulation of snow on dome C (East Antarctica) [18] (2); *v* — changes of mass balance of the Novaya Zemlya (1) glaciation (Arctic region) and ^{18}O content on Bercner ice dome (Western Antarctica) (2); *g* — changes of snow accumulation in Antarctica on dome C [18] (1) and the sums of positive air temperatures on Taimyr [1] (2); *d* — synchronism of change for historical time: 1 — air temperatures in East Antarctica (station Komsomolskaya, the isotope data) [13]; 2 — air temperature in England (the isotope data) [16]; 3 — air temperature in England (historical sources) [17]; 4 — position of southern border of glaciers in the Alps [19]; 5 — level of Caspian sea [6]; 6 — level of Caspian sea [8]; *e* — comparison of annual duration of blocking processes in Northern Atlantic (1) and average speed of drift of Antarctic icebergs B1 and B2 (2) at coast of Weddell sea in Southern Atlantic in 1983 and 1984

Сопряжённость гляциологических процессов и многолетних гляциоклиматических характеристик ледников и ледниковых покровов в исследуемых районах Арктики и Антарктики указывает на их связь с глобальной циркуляцией атмосферы как в вековом ходе, так и в историческое время. Сопряжённость гляциологических и других природных процессов наблюдается и в умеренных широтах Евразии и в Антарктике. В лучшей мере это проявилось в многолетнем ходе температур воздуха в Британии и в Восточной Антарктиде (станция Комсомольская) в 800—1920 гг., а также в сопряжённости этих показателей с колебаниями ледников Альп и изменениями уровня Каспийского моря.

В вековом ходе рассмотренных пар гляциоклиматических характеристик сопряжённых процессов Северного и Южного полушарий (1 — изменения баланса массы оледенения Новой Земли — аккумуляция снега в Антарктиде на куполе С; 2 — изменения баланса массы оледенения Новой Земли — содержание ^{18}O на куполе Беркнер в Западной Антарктиде, шельфовые ледники Фильхнера и Ронне; 3 — изменения сумм положительных температур воздуха на Таймыре — аккумуляция снега в Антарктиде на куполе С) наиболее тесная связь проявилась в 1916—1956 гг., т.е. в эпоху зональной циркуляции атмосферы XX столетия. Коэффициенты корреляции для первой и третьей пар в этот период составили $-0,54$ и $-0,67$ соответственно. Для второй пары кривых корреляция оказалась несколько ниже в силу различий методов получения рядов (Арктика — балансовые расчёты, Антарктида — изотопный анализ керна), но выявленная закономерность, касающаяся лучшей согласованности в ходе этих показателей в зональную эпоху, при этом сохранилась. Это объясняется тем, что в периоды однородного западно-восточного переноса воздушных масс на полушариях (зональная циркуляция) в лучшей мере проявляется зональность в распределении циклонических осадков и тепла вдоль арктических и антарктических побережий. Режим питания ледников в такие периоды достаточно постоянен и одновременно изменяется на полушариях при сопряжённом развитии блокирующих гребней высокого давления в соответствующих секторах.

Зональная эпоха XX столетия оказалась наиболее устойчивой и однородной, что проявилось в гляциоклиматических характеристиках ледников как Северного, так и Южного полушария. Установлена сопряжённость температур и режима питания двух противоположно расположенных районов Антарктического ледникового покрова (купол Беркнер — Западная Антарктида, купол С — Восточная Антарктида), а также указанных характеристик каждого из них с изменениями в режиме леднико-

вого покрова Новой Земли. В зональную циркуляционную эпоху (1916—1956 гг.) коэффициенты корреляции этих показателей по отношению друг к другу составляли $0,55$ — $0,67$ и были самыми высокими за все периоды наблюдений.

Выявленные межполушарные связи позволяют сделать вывод, что в двух рассмотренных районах Антарктиды и двух районах Арктики и арктического побережья (ледниковый покров Новой Земли и Таймыр) периодически и синхронно формировались либо блокирующие гребни высокого давления, либо одновременные выходы циклонов из низких широт в высокие. Эти особенности циркуляционных процессов и их сопряжённость нашли отражение в используемых для анализа гляциоклиматических характеристиках ледниковых покровов Арктики и Антарктиды.

Приведённые свидетельства проявления сопряжённости циркуляционных и ледниковых процессов на полушариях позволяют рассматривать гляциоклиматические характеристики ледников и ледниковых покровов (изменения температур, осадков, баланса массы, изотопных данных снега и льда, динамики ледников, изменений скорости дрейфа антарктических айсбергов и т.д.) в качестве надёжных индикаторов изменений глобальной циркуляции атмосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты 08-05-00475 и 07-05-00939.

Литература

1. *Адаменко В.Н.* Климат и озера. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 264 с.
2. *Дзердзеевский Б.Л.* Сравнение главнейших закономерностей циркуляции атмосферы над южным и северным полушариями // Избранные труды. М.: Наука, 1975. С. 149-158.
3. *Дзердзеевский Б.Л.* Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии // Материалы метеорологических исследований. М.: изд. Междувед. Геофиз. комитета при Президиуме АН СССР, 1968. 240 с.
4. *Дзердзеевский Б.Л., Курганская В.М., Витвицкая З.М.* Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов // Тр. науч.-исслед. учреждений Глав. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сер. 2: Синоптическая метеорология. Вып. 21, Центральный институт прогнозов. М.;Л.: Гидрометеиздат, 1946. 80 стр.
5. *Захаров В.Г., Хмелевская Л.В.* Колебания ледников и изменения циркуляционных процессов в полярных районах Атлантики и в Европе // МГИ. Вып. 83. 1997. С. 32-42.
6. *Карпычев Ю.А.* Изменение уровня Каспийского моря в голоцене по радиоуглеродным данным // Водные ресурсы 1989. № 1. С. 5-20.

7. Кислое А.В., Корякин В.С. Пространственные и временные закономерности изменений ледников Евразийской Арктики // МГИ. № 57. 1986. С. 120-125.
8. Клизе Р.К. Уровень океана в геологическом прошлом. М: Наука, 1980. 111с.
9. Клизе Р.К., Захаров В.Г. Связь изменений уровня Мирового океана и динамики краевой части Антарктиды в историческое время. // Арктика и Антарктика. Докл. Комиссии. Вып. 1(35). 2002. С. 60-70.
10. Кононова Н.К. О смещении направлений арктических вторжений в Восточной Сибири // Изв. Всес. геогр. об-ва. 1962. Т. 94. Вып. 3. С. 255-257.
11. Кононова Н.К. Особенности циркуляционных сезонов в Антарктике // Тез. докл. науч. конфер. «Россия в МПГ — первые результаты». Сочи, 3—9 октября 2007 г. М.: изд. Ин-та географии РАН, 2007. С. 27.
12. Кононова Н.К., Луценко О.В., Макарова М.Е., Орлов И.А. Циркуляция атмосферы в Антарктике в конце XX — начале XXI веков // МГИ. 2007. Вып. 103. С. 142-147.
13. Котляков В.М., Николаев В.Н., Смирнов КЕ. Изотопные исследования керн со станции Комсомольская в Антарктиде // МГИ. 1988. Вып. 63. С. 97-102.
14. Савина С.С. Климатические различия экстремальных десятилетий как результат смещения осей арктических вторжений // Сб. статей № 13. Междувед. геофиз. комитета при Президиуме АН СССР. М.: Наука, 1968. С. 42-49.
15. Савина С.С., Хмелевская Л.В. Динамика атмосферных процессов северного полушария в XX столетии // Материалы метеорол. исследований. № 9. М.: изд. Междувед. геофиз. комитета при Президиуме АН СССР. 1984. 146 с.
16. Dansgaard W, Johnsen S.J., Reeh N. et al. Climatic changes, north men and modern men // Nature. 1975. № 5503. V. 225. P. 24-28.
17. Lamb H.E. Climate: Present, past and future. L.: Methuen, 1972. V. 1.688 p.
18. Mulvaney R., Pasteur E.S., Graf W., Minkin A., Arrow-smith C, Oerter H., Peel D.A., Miners W.D. The Berkner Island Project: isotopic and chemical trends in the ice core data // Filchner Ronne Ice Shelf Programme. 1996. Report № 10. P. 72-77.
19. Petit J.R., Jouzel J., Pourchet M., Merlivat L. Detailed study of snow accumulation and stable isotope content in Dome C (Antarctica) // Journ. of Geophys. Research. 1982. V. 87. №6. P. 4031-4038.
20. Rothlisberger F., Geih M.A. Glaciers variations in Himalayas and Karakorum: Climate and palaeoclimate of lakes, rivers and glaciers // Zeitschrift fur Gletscherkunde und Glazialgeologie. 1985. Bd. 21. P. 425-443.

Summary

Global dynamic schemes of elementary circulation mechanisms (ECM) are continued previous researches published in the maps by B.L. Dzerdzeevskii in 1967. These maps are added with reflection of circulation processes on poles and trajectories of outputs of cyclones from low latitudes in high ones. It enables to analyze most full global circulating processes in view of their seasonal distinctions on hemispheres. In work it is shown also, those seasonal displacements of axes of blocking processes are identical in the Northern and Southern Hemispheres. The interlinking of atmospheric circulation is reflected in interlinking of air temperature fluctuations mode in high latitudes of both hemispheres, as well as in glaciological processes and characteristics of glaciers regime.