

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ национальный исследовательский
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра метеорологии и климатологии

Особенности поля геопотенциала в Северном полушарии

в различные климатические периоды

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 5 курса 521 группы

направления 05.03.05 Прикладная гидрометеорология

географического факультета

Мартыновой Екатерины Сергеевны

Научный руководитель

доцент, к.г.н., доцент

подпись, дата

С.В. Морозова

Зав. кафедрой

к.г.н., доцент

подпись, дата

М.Ю. Червяков

Саратов 2024

Введение. Проблема климатических изменений является одной из глобальных и ключевых проблем XXI века. Во всем мире, в том числе и в России наблюдается прогрессивный рост приповерхностной температуры воздуха. Происходящие климатические изменения не могут не вызывать серьезной озабоченности и у научного сообщества, и у человечества в целом. На фоне все убыстряющегося роста приземной температуры воздуха Северного и Южного полушарий, и земного шара в целом повсюду фиксируется увеличение частоты опасных и неблагоприятных погодных явлений – сильных засух, катастрофических наводнений, селей, оползней, сильных заморозков, продолжительных и интенсивных «волн жары», резких похолоданий и т.п. В качестве примеров можно привести катастрофические наводнения 2001 года в Ленске и Вилюйске, жестокую засуху 2010 года, наводнение на Амуре в 2013 году, вызванное муссонными дождями, серия наводнений в Ялте с 2020 – 2022 годов, катастрофические паводки весной 2024 года на юго-востоке ЕЧР и на Южном Урале.

Влияние таких погодно- климатических катаклизмов очень велико на природные и хозяйственно-экономические системы, и это влияние становится все более заметным и опасным. Именно поэтому проблема климата и его изменений приобретает все более широкую огласку в политических кругах и на уровне глав государств и правительств.

Поскольку по мнению большинства членов научного сообщества основной причиной глобального потепления признано увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере, то усилия на международном уровне должны быть направлены, во-первых, на разработку и принятие эффективных мер по снижению уровня воздействия экономической деятельности человечества на земную климатическую систему, в первую очередь, на атмосферу, и во-вторых, на принятие мер по адаптации экономики, а также всего человечества и отдельного индивида к климатическим изменениям. В этой парадигме одиннадцатого декабря 1997 года был принят Киотский протокол по сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу. Первый период действия Киотского протокола закончился в 2012 году, и перед человечеством и международными организациями встала задача по достижению **более справедливого** и совершенного Соглашения о контроле эмиссии парниковых газов и распределении квот. В этом ключе под эгидой Всемирной Метеорологической организации (ВМО) принята рамочная Конвенция ООН об изменении климата и разрабатывается новая крупномасштабная международная инициатива – Глобальная рамочная основа климатического обслуживания (ГРОКО).

Разработка и практическая реализация очень дорогостоящих и чересчур болезненных для экономики стран, безусловно, должны основываться на достоверной информации, на объективных научных исследованиях. Главным и единственным источником такой надежной информации является государственная сеть мониторинга погоды и климата - метеорологическая сеть **регулярных наземных** наблюдений, аэрологические данные, спутниковый

мониторинг. Только при таких условиях тщательно выверенной информации может строиться доктрина устойчивого прогрессивного развития общества.

С целью регулярной подготовки обобщенных научных докладов о состоянии дел в области исследования климата на международном уровне в 1988 году была создана Международная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), которая в 2022 году выпустила шестой оценочный доклад об изменениях климата.

Безусловно, на столь весомые и чувствительные изменения в емкой климатической системе (ЗКС) не может не реагировать наиболее подвижный ее элемент – атмосфера, что выражается в изменении характера ее циркуляции.

Целью настоящей работы является анализ особенностей объектов атмосферной циркуляции на среднем уровне тропосферы в два различных климатических интервала - период стабилизации и вторую волну глобального потепления.

Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи:

- 1) формирование архивов полей геопотенциала поверхности АТ-500 гПа;
- 2) построение средних многолетних полей геопотенциала для двух климатических периодов;
- 3) визуализация полученных полей;
- 4) анализ условий циркуляции на северном полушарии в январе и июле;
- 5) сравнение циркуляционных режимов в различные интервалы климатической изменчивости.

В первой главе на основе Шестого Оценочного доклада IPCC (Международной группе экспертов по изменению климата) и Третьего Оценочного доклада Росгидромета об изменениях климата на территории Российской Федерации представлен краткий обзор по изменениям климата на Северном полушарии и на территории России.

Во **второй главе** представлены исходные данные и описана методика исследования. Исходными материалами для выполнения исследования послужили данные реанализа NCER/NCAR, полученные с сайта <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels-monthly-means?tab=form>. С этого сайта скачивались средние месячные значения геопотенциала поверхности АТ-500 гПа с шагом по широте и долготе 0,25°. Впоследствии осуществлялась фильтрация исходных массивов данных и переформатирование их в координатную сетку с разрешением 1° по широте и 1° по долготе.

Подготовленные массивы данных подвергались процедуре осреднения. Причем были получены средние многолетние значения полей геопотенциала на среднем уровне тропосферы в два климатических периода. Временным интервалом для периода стабилизации стал временной промежуток с по 1940 по 1975 годы, для второй волны глобального потепления – с 1976 года по 2023 год. По характеру распределения климатических ложбин и гребней на среднем уровне тропосферы можно получить информацию об особенностях циркуляции

в этом временном интервале — о преобладании тех или иных форм циркуляции (зональных или меридиональных), о распределении аномалий температуры и осадков в эти периоды, о положении зон цикло- и антициклогенеза.

Для более четкого и объективного анализа особенностей климатических полей в различные естественные климатические периоды состояния земной климатической системы рассчитывалась разница значений геопотенциала в два естественных климатических периода состояния ЗКС.

Для лучшего рассмотрения барического поля на среднем уровне тропосферы рассчитывались значения отклонений геопотенциала в каждом узле географической сетки от среднего значения геопотенциала на данной широте. Поля отклонений также визуализировались.

Таким образом, помимо средних климатических карт распределения геопотенциала изобарической поверхности Ат-500 гПа, рассчитывалась разность соответствующих значений геопотенциала между двумя естественными климатическими периодами. При этом значения геопотенциала периода стабилизации вычитались из соответствующих значений во вторую волну глобального потепления. Таким образом, построены поля отклонений, показывающее изменение гидрометеорологических полей от одного климатического периода к другому.

Визуализация рассчитанных массивов проводилась в помощью программного комплекса MAPINFO.

Исследование проведено для центральных месяцев зимнего и летнего сезонов – января и июля.

Порядок работы заключался в следующем:

1. По указанной ссылке скачиваем данные по геопотенциалу Северного полушария с 1940 по 2023 годы для центральных месяцев сезонов – январь, апрель, июль, октябрь для поверхности Ат-500 гПа.

2. Проводится раскодировка данных с помощью макроса NetCDF4EXEL. Это позволяет скачанные данные в формате .nc преобразовать в читаемую программой EXEL таблицу. Также макрос NetCDF4EXEL позволяет сжимать данные с нужным шагом расширения географическую сетку. В данном исследовании использовалась географическая сетка с шагом по широте и долготе 1°.

3. Подготовка массива данных для обработки программным комплексом MAPINFO. Для этого обрабатываем данные макросом macros_step, после чего выстраиваем данные для входа в программу MAPINFO.

4. Проводим визуализацию полученных цифровых массивов данных в графическое изображение. Таким образом получаем карты за нужные интервалы времени.

Приведем расшифровку используемых в работе терминов. понятие Макрос — это программный алгоритм, небольшой кусок кода, который позволяет пользователю автоматизировать ту или иную последовательность действий в конкретном открытом документе — например, это может быть автоматическое редактирование документа с заменой символа минус на тире,

переводом кавычек в «елочки» и расстановкой символов конца абзаца до нужного значения. MapInfo Pro - это настольная географическая информационная система (ГИС), разработанная компанией Precisely, которая используется для составления карт и анализа местоположения. Ранее она была разработана компаниями Pitney Bowes Software и MapInfo Corporation.

В третьей главе представлены результаты собственных исследований. Рассматривалось изменение барического поля на среднем уровне тропосферы в два естественных климатических периода состояния земной климатической системы – период стабилизации и вторую волну глобального потепления в январе и июле. На рисунке 1 приведено выделение естественных климатических периодов на Северном полушарии.

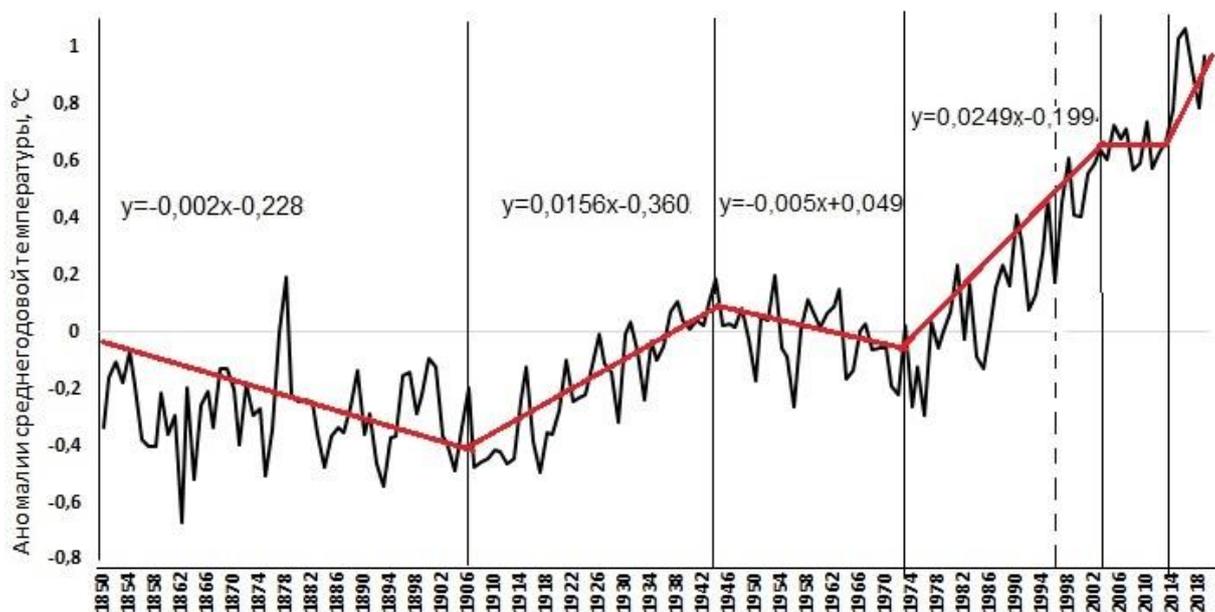


Рисунок 1 – Выделение естественных климатических периодов

В поле поле геопотенциала умеренных и высоких широт четко выделяется трехвихревая структура, что характерно для зимы. То есть, в поле геопотенциала прослеживаются три ложбины, и три сопряженных с ними гребня. Гребни выражены более слабо, чем ложбины. Одна из ложбин локализуется над северной частью материка Северная Америка, причем эта ложбина имеет в своей области замкнутый центр над полуостровом Баффинова Земля с очень низкими значениями геопотенциала – 498 гп дам. Вторая ложбина протянулась от Северного полюса на полуостров Таймыр, и оси этих двух барических ложбин представляют собой одну прямую линию. Над Азией ось «Таймырской» ложбины круто поворачивает на восток, через Якутию на Охотское море. Над Европой и Западной Сибирью наблюдается наиболее обширная ложбина с осью, ориентированной с Новой Земли на полуостров Малая Азия. Наиболее ярко выраженный гребень наблюдается над северной частью Тихого океана, Над Атлантическим океаном гребень выражен менее заметно. Над центральной восточной частью материка Евразия имеет место

западный перенос. Такое состояние климатического поля соответствует форме С – циркуляции по Вангенгейму. Именно эта форма циркуляции типична для зимы. Основная зона сгущения изогипс в этот климатический интервал наблюдается над Атлантическим и Тихим океанами.

Поле отклонений геопотенциала от средних широтных значений наглядно показывает области повышенных и пониженных значений геопотенциала на полушарии. Выделяются по две обширные области положительных и отрицательных очагов геопотенциала, соответствующих передним частям высотных ложбин. Одна области отрицательных значений геопотенциала расположена над восточной частью Тихого океана и западной частью материка Северная Америка. Другая область отрицательных значений геопотенциала соответствует Европейской ложбине и распространяется с южной части северной Атлантики по Южной Европе на Среднюю Азию. Очаги положительных отклонений геопотенциала локализованы над центральной частью Северной Америки и большей частью Азии.

Опишем структуру барического поля средней тропосферы во вторую волну глобального потепления. Среднее многолетнее поле геопотенциала на среднем уровне тропосферы во вторую волну глобального потепления почти идентично среднему многолетнему барическому полю на АТ-500 гПа в период стабилизации. Оно также имеет трехвихревую структуру, что характерно для зимы в связи с тепловым состоянием континентов и океанов в это время года. Главное отличие полей в два естественных климатических периода заключается в том, что трехвихревая структура барического поля выражена лучше во вторую волну глобального потепления, чем в период стабилизации. Так ложбина, распространяющаяся от Северного полюса до центральной части Северной Америки, оказывается не такой глубокой во вторую волну глобального потепления, как в период стабилизации (рисунок 3.1). Вторая ложбина, отходящая от полюса, во вторую волну глобального потепления распространяется к востоку намного дальше, чем в период стабилизации, и доходит до 160° меридиана западной долготы, в то время как аналогичная ложбина в период стабилизации распространяется только до 170° меридиана западной долготы. Ложбина над Европой тоже оформлена более четко во вторую волну глобального потепления, чем в период стабилизации.

На рисунке 2 представлено отклонение поля геопотенциала от среднеширотных значений в январе. Как видно из рисунка, поле отклонений геопотенциала АТ-500 пПа также идентично полю отклонений в период стабилизации, но с той лишь разницей, что две области положительных отклонений смыкаются перемычкой высокого давления в полярной области. К тому же во вторую волну глобального потепления область положительных отклонений геопотенциала в западном полушарии занимает большую область и несколько смещена к востоку по сравнению с периодом стабилизации. Область отрицательных отклонений геопотенциала над Северной Америкой тоже во вторую волну глобального потепления больше по площади по сравнению с периодом стабилизации.

В области положительных аномалий геопотенциала над Азией имеет в центре значения, большие на 10 гПа, чем в области над Северной Америкой. Очаг положительных высоких значений геопотенциальных высот над Азией отражает вертикальную структуру зимнего Азиатского антициклона - низкое холодное барическое образование, над которым в средней и нижней тропосфере присутствует барический гребень.

Таким образом, барические поля на среднем уровне тропосферы в два климатических периода различаются между собой. Для более наглядного представления разницы в структуре барического поля поверхности АТ-500 гПа в два естественных климатических периода, рассмотрим карту разности геопотенциальных высот между периодом стабилизации и второй волной глобального потепления, представленной на рисунке 2.

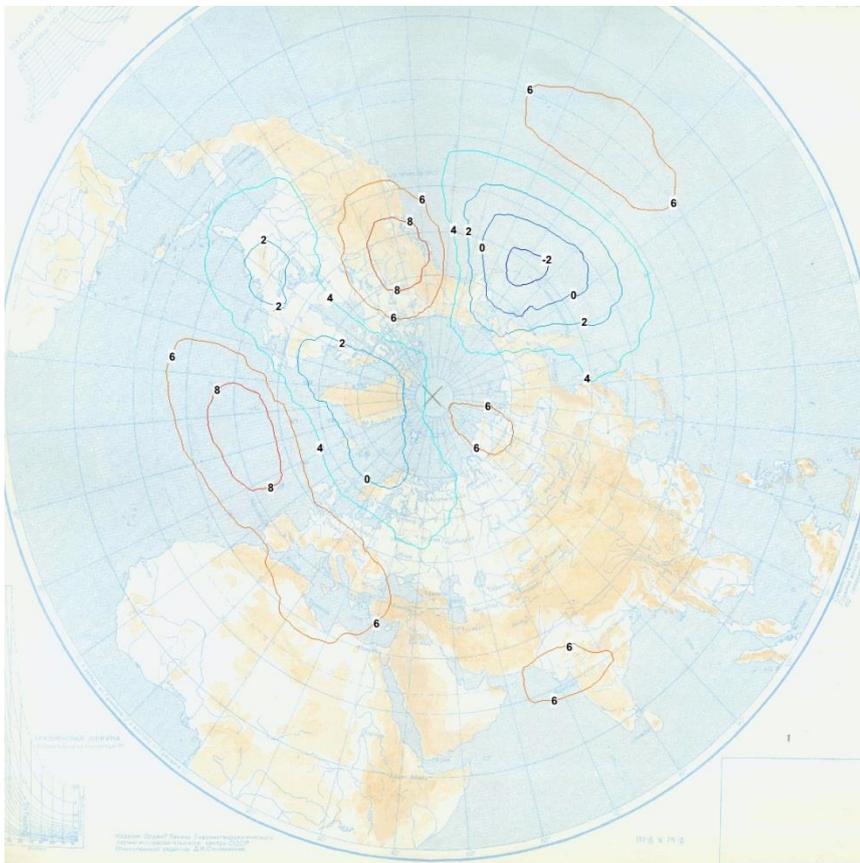


Рисунок 2 – Карта разности значений геопотенциальных высот между климатическими периодами состояния земной климатической системы

В целом значения геопотенциальных высот на всем Северном полушарии оказались выше, чем в период стабилизации. Это, возможно, связано с общепланетарным потеплением, с более высокими температурами тропосферы, что и отразилось в структуре барического поля. Наиболее сильные положительные отклонения наблюдаются над Северной Америкой и над

Атлантическим океаном в области влияния Азорского максимума. Превышение геопотенциальных высот во вторую волну глобального потепления по сравнению с периодом стабилизации составляет 8 гп. дам. В области Гавайского антициклона превышение составляет 6 гп. дам. Таким образом, интенсивность (мощность) субтропических максимумов во вторую волну глобального потепления оказалась выше, чем в период стабилизации, особенно у Азорского антициклона. В районе Канадского архипелага, острова Гренландия и в области действия Исландского минимума значения геопотенциальных высот во вторую волну глобального потепления практически не изменились, превышение составляет 0 – 2 гп. дам. Таким образом, интенсивность Исландского минимума во вторую волну глобального потепления по сравнению с периодом стабилизации практически не изменилась. Учитывая, что интенсивность гребня над Атлантикой стала больше, то можно говорить об ослаблении градиента геопотенциала на среднем уровне тропосферы над Северной Атлантикой во вторую волну глобального потепления по сравнению с периодом стабилизации.

Во вторую волну глобального потепления по сравнению с предыдущим климатическим периодом значения геопотенциальных высот выросли в восточном секторе Российской Арктики, над полуостровом Таймыр выделяется замкнутый очаг положительных значений разности геопотенциальных высот 6 гп. дам.

Во вторую волну глобального потепления по сравнению с периодом стабилизации значения геопотенциальных высот стали ниже только над северной частью Тихого океана, в области локализации Исландского минимума. Значения в этом очаге на 2 гп. дам ниже во второй климатический период, чем в первый.

Таким образом, в январе заметны различия в структуре барического поля Северного полушария в два естественных климатических периода состояния земной климатической системы – периода стабилизации и второй волны глобального потепления.

Рассмотрим характер барического поля на среднем уровне тропосферы в период стабилизации и во вторую волну глобального потепления в июле. В отличие от января поле геопотенциала не имеет такой четко выраженной трехвихревой структуры как зимой (январь). Поле оказывается не таким возмущенными, как в январе, что объясняется ослаблением градиентов экватор – полюс летом. Однако, и в июле, прослеживаются три слабовыраженные ложбины – так же над северными частями Тихого и Атлантического океанов, но не так сильно продвигающиеся к югу, как в январе. Следует отметить, что в июле ложбина, расположенная над Европой, практически ничем не отличается от январской – ни ее расположением, ни охватываемой площадью, ни направлением ориентации этой ложбины. Сопряженные с ложбинами гребни летом (июль) не выражены.

Таким образом, в период стабилизации и в январе, и в июле, барическое поле на АТ-500 гПа имеет сходную структуру, идентичное расположение климатических ложбин. Основное различие связано с интенсивностью

атмосферной циркуляции. Основные зоны сгущения изогипс летом расположены над западными частями Атлантического и Тихого океанов.

Очаги положительных и отрицательных отклонений геопотенциала от среднеширотных значений расположены следующим образом (рисунок 3.7). На карте отклонений геопотенциальных широт в период стабилизации от средних широтных значений выделяются. Согласно рисунку 3.7 в поле аномалий геопотенциала выделяются две обширные области отрицательных значений геопотенциальных высот. Одна из них расположена широтно и распространяется с Северной Атлантики по Центральной и Восточной Европе на Среднюю Азию. Второй очаг отрицательных аномалий геопотенциала расположен меридионально и протягивается от Северного полюса до Центральной части Северной Америки. Этот очаг менее глубокий, чем тот, который расположен в Восточном полушарии.

Очагов положительных отклонений геопотенциала тоже два, причем один из них расположен широтно, а другой – меридионально. Наиболее обширный по площади очаг положительных отклонений геопотенциала охватывает территорию азиатской части материка и распространяется на акваторию Тихого океана до западного побережья Северной Америки. Вторым очагом положительных отклонений геопотенциала локализуется над северо-восточной частью Северной Америки. Положительные значения отклонений геопотенциала в центре этого очага также ниже, чем в ранее описанном.

Рассмотрим характер барического поля на среднем уровне тропосферы во вторую волну глобального потепления в июле (рисунок 3.8). В отличие от среднего многолетнего поля в предыдущий естественный климатический период (стабилизация) во вторую волну глобального потепления поле в характере поля изогипс совершенно не прослеживается трехвихревая структура. Барическое поле на среднем уровне тропосферы представляет собой систему хаотично расположенных мелких волн. Центр полярного циклона во вторую волну глобального потепления располагается над Северным полюсом, а не смещен в какой-либо сектор полушария, как в период стабилизации. Если в период стабилизации полярный циклон имел эллипсоидную форму, то в последующий климатический период изогипсы этого циклона больше приближены к круговым. Основная зона сгущения изогипс сохраняется только над западной частью Атлантического океана. Зона сгущения изогипс над Тихим океаном переместилась с его западной части в центральную. В пределах субтропической полосы высокого давления выделяются три замкнутые области.

Поле отклонений геопотенциала от среднеширотных значений во вторую волну глобального потепления выглядит следующим образом. Во вторую волну глобального потепления, так же как и в период стабилизации, сохраняется область отрицательных аномалий над Северной Америкой. Также очаг отрицательных отклонений геопотенциала локализуется над Атлантический океаном в области Азорского максимума и занимает западную часть Северной Африки. Область положительных отклонений геопотенциала от среднеширотных значений, локализованная в области действия Исландского

минимума во вторую волну глобального потепления вытянута в широтном направлении, в то время как аналогичный очаг положительных отклонений геопотенциала во вторую волну глобального потепления вытянут меридионально. Однако, значения отклонений в центрах этих очагов в два климатических периода одинаковы и составляют 6 гп. дам. Во вторую волну глобального потепления, в отличие от периода стабилизации, всю северную часть Евразии занимает область отрицательных отклонений геопотенциала. Внутри нее выделяются два замкнутых очага – один над севером Европейской части России со значением в центре -4 гп.дам; и второй, более обширный по площади – над севером Сибири, со значением в центре -2 гп. дам. Центральную и южную часть Евразии, в отличие от предыдущего периода, занимает область положительных аномалий геопотенциала.

Таким образом, летом, как и зимой, в характере поля геопотенциала заметны различия в разные естественные климатические периоды состояния земной климатической системы.

Разницу геопотенциальных высот между второй волной глобального потепления и периодом стабилизации не так существенна, как в январе. Наибольшие различия в геопотенциальных высотах наблюдаются над Тихим океаном. В целом, значения геопотенциальных высот также, как и зимой, несколько выше во второй климатический промежуток, чем в первый.

Заключение. В результате проделанной работы можно сформулировать следующие выводы:

1. Барические поля на среднем уровне тропосферы в период стабилизации и во вторую волну глобального потепления различаются между собой. Эти различия ярче выражены зимой, чем летом.

2. В целом, значения геопотенциальных высот на среднем уровне тропосферы во вторую волну глобального потепления выше, чем в период стабилизации, что объясняется, по-видимому общим тепловым состоянием средней и нижней тропосферы.