УДК 551.509

В.Ф. Мартазинова, В.В. Остапчук

ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЬ ПРОЦЕССОВ ЦИРКУЛЯЦИИ В ТРОПОСФЕРЕ И СТРАТОСФЕРЕ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННЫХ И ДЛИТЕЛЬНЫХ ПОТЕПЛЕНИЯХ И ПОХОЛОДАНИЯХ В УКРАИНЕ

Рассмотрены и исследованы особенности крупномасштабной атмосферной циркуляции в тропосфере и стратосфере Северного полушария при резких потеплениях и похолоданиях на территории Украины в теплый период года. С использованием статистического анализа архивных материалов (полей геопотенциала на уровнях стандартных поверхностей 500, 300, 200, 100, 50, 30, 10 мб) за период 1965-2000 гг. впервые определены наиболее вероятные и экстремальные положения высотных барических полей тропосферы и стратосферы, формирующие кратковременные и длительные резкие изменения средней суточной температуры воздуха на территории Украины.

Введение

Цель данной работы – исследование крупномасштабных атмосферных процессов в верхней тропосфере и стратосфере, обуславливающие формирование различной продолжительности резких смен температуры воздуха у поверхности земли на территории Украины. Исследование циркуляции воздуха до верхних слоев стратосферы было вызвано выявлением прогностических указаний и зависимостей при построении схемы долгосрочного прогноза температуры внутри месяца для территории Украины.

Как было уже указано нами в работах [1, 2], резкими перепадами среднесуточной температуры воздуха в сторону повышения или понижения считаются изменения приземной средней суточной температуры воздуха на 6-10^{o}C на более 80% территории Украины. Кратковременные изменения температуры определяются длительностью в пределах 2-4 суток, длительные изменения – в пределах недели и более. При этом не учитывается характер фона аномалии средней суточной температуры воздуха, т.е. резкие потепления или похолодания могут

осуществляться как на фоне отрицательных, так и положительных аномалий температуры воздуха. Как правило, высотная фронтальная зона при резких перепадах температуры воздуха у поверхности земли имеет хорошо выраженный меридиональный характер [2].

В работе [1] было показано, что все резкие изменения температуры воздуха имеют существенное отличие крупномасштабных атмосферных процессов в нижней тропосфере. Как продолжение этой работы в данной статье показано, насколько эти различия при разных резких изменениях температуры у поверхности земли в Украине сохраняются в более верхних слоях тропосферы и стратосфере.

Особенности циркуляции в тропосфере и стратосфере при формировании резких кратковременных изменений температуры воздуха в Украине

Для исследования были использованы ежедневные поля геопотенциала на высотах поверхностей 500, 300, 200, 100, 50, 30, 10 мб за 1965-2000 гг., описывающие крупномасштабные атмосферные процессы на территории Северного полушария в тропосфере и нижней старатосфере, а также среднесуточная температура воздуха по метеорологическим станциям Украины за тот же период.

Все метеорологические поля в архиве представлены в виде вектора:

$$X_i' = \{x_j\}_i' = (x_1, x_2, \ldots, x_N)_i, \qquad i=1,2,\ldots,K, \quad j=1,2,\ldots,N,$$

где N соответствует количеству узлов регулярной географической сетки Северного полушария, в которых представлены значения геопотенциала с шагом по долготе $\Delta\lambda = 10°$ и по широте $\Delta\varphi = 5°$, K – количество полей взятого архива.

Для решения поставленной задачи весь архив барических полей разделен на три класса в зависимости от характера изменения температуры воздуха на территории Украины. Каждый класс барических полей можно характеризовать векторами:

$$Y_1 = (X_1, X_2, \ldots\ldots, X_{m1})$$
$$Y_2 = (X_1, X_2, \ldots\ldots, X_{m2})$$
$$Y_3 = (X_1, X_2, \ldots\ldots, X_{m3}),$$

где Y_1 – архив барических полей X_i, формирующих резкое похолодание на территории Украины; Y_2 – архив барических полей X_i, формирующих резкое потепление; Y_3 – архив барических полей X_i, формирующих стабильный температурный режим; m_i – количество полей в i-ом классе.

Каждое барическое поле отдельного класса X_i запишем в виде вектора:

$$X_{mi}{}' = \{x_j\}_i{}' = (x_1, x_2, x_3, \ldots\ldots, x_N)_{mi},$$

где x_N – значение геопотенциала в N-ом узле регулярной географической сетки шагом по широте $\Delta\varphi$ и по долготе $\Delta\lambda$.

Архив барических полей Y_1, формирующих резкое похолодание на территории Украины, и Y_2, формирующих резкое потепление, разделен на подклассы, которые отвечают барическим полям, формирующим длительное или кратковременное резкое изменение температуры.

Как показало исследование, кратковременные (2-4 дня) потепления обусловлены, как правило, процессами, происходящими преимущественно в тропосфере. Однако необходимо отметить, что в большинстве рассмотренных случаев резкое кратковременное потепление на территории Украины было связано с трансформацией ранее поступившей области высокого давления холодного воздуха в тылу активного циклона над северо-востоком Европы и усилением вследствие этого юго-западного отрога Азорского максимума и юго-восточного гребня термического максимума. Эти две области высокого давления объединяются при этом в общую полосу повышенного давления над югом Европы. В тропосфере вследствие этого формируется общий обширный высотный гребень, достаточно хорошо выраженный до высоты изобарической поверхности 200 мб. Иногда высотные гребни, которые отвечают у земли юго-западному отрогу Азорского максимума и гребню юго-восточного термического максимума могут прослеживаться на уровне поверхности 100 мб (рис. 1), но на более высоких уровнях стратосферы высотные гребни исчезают. Такое потепление у земли является неустойчивым и поэтому кратковременным, поскольку через несколько дней указанный гребень пополняется новым ядром холодного воздуха в тылу очередного циклона. На рисунках 1 и 2 можно показать смену кратковременного потепления кратковременным похолоданием. Как видно из рисунка 1 между двумя высотными гребнями располагается высотная ложбина – такая ситуация отвечает кратковременному потеплению у земли в Украине.

В том случае, когда высотная ложбина усиливается и ее усиление хорошо заметно на более высоком уровне стратосферы, на уровне 50 мб (рис.2), в тылу высотного циклона опускается к южным широтам высотное ядро высокого давления холодного воздуха.

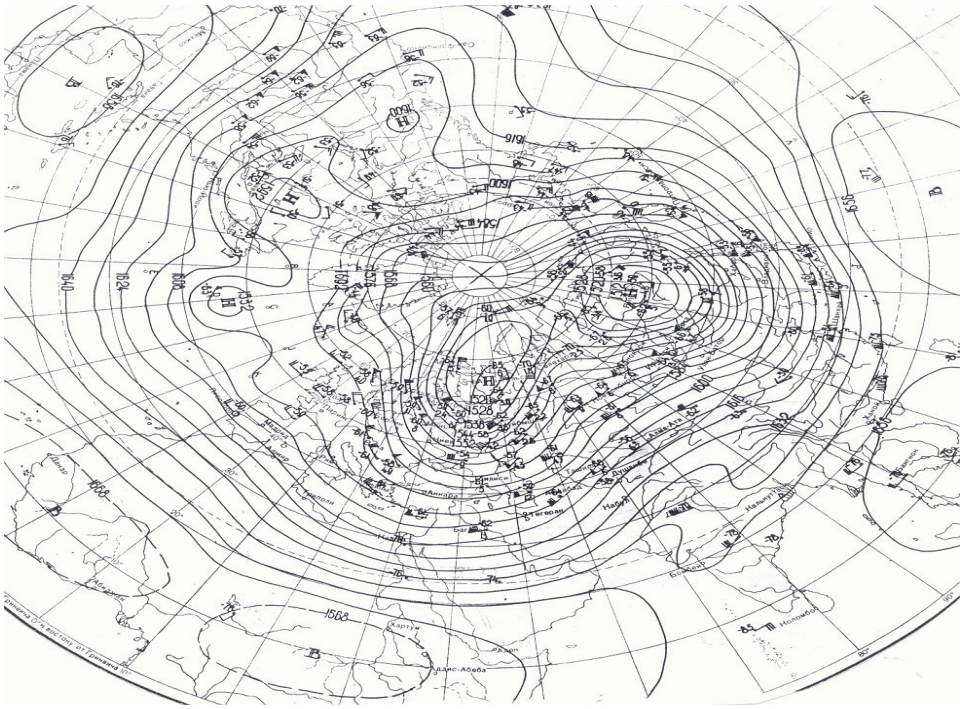

Рис. 1. Положение высотного гребня на уровне поверхности 100 мб, формирующего кратковременное потепление в Украине

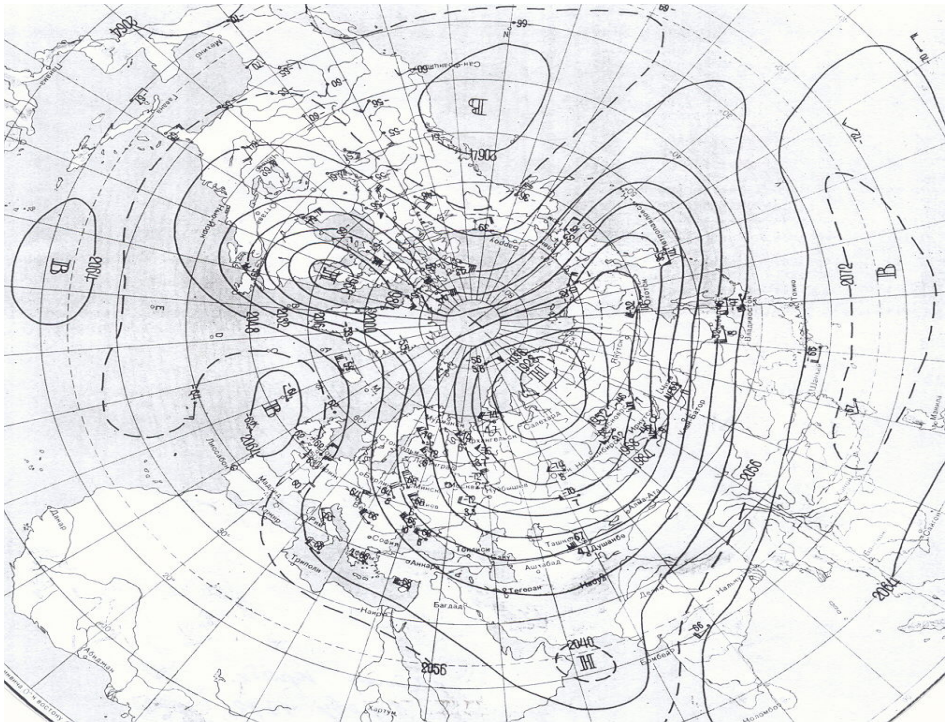

Рис. 2. Положение стратосферного центра циркуляции на уровне поверхности 50 мб, формирующего кратковременное похолодание в Украине

При этом следует отметить, что циклон у земной поверхности выражен слабо, но в тропосфере с высотой становится все более активным и уже в стратосфере ему соответствует высотная ложбина стратосферного циркумполярного циклона как показано на рис.2. Преобразование высотного поля рис.1 в высотное поле рис.2 приводит к похолоданию у земли, которое сохраняется в пределах 2-4 дней. Высотные гребни на рис.2, как правило, с опусканием на более низкие уровни сглаживаются, в то время как высотные гребни рис.1 усиливаются с опусканием.

Таким образом можно отметить, что в данном разделе приводятся отличия высотных барических образований при резких кратковременных похолоданиях и потеплениях. При этом надо отметить, что барические поля на всех уровнях тропосферы и стратосферы при данных сменах температуры у земли являются преобразованными друг из друга. Такая смена циркуляции в тропосфере и стратосфере может приводить к многоразовому чередованию кратковременных волн тепла и холода в Украине.

Особенности циркуляции в тропосфере и стратосфере при формировании резких длительных изменений температуры воздуха в Украине

При длительных (более недели) потеплениях в Украине характерно, как правило, также усиление влияния юго-западного и юго-восточного гребней и образование обширного высотного гребня над Европой, но выражен этот гребень до более высоких, чем при кратковременных потеплениях, уровней атмосферы 50 мб и даже 30 мб. Данный вывод однако не относится к месяцам, когда в стратосфере господствует устойчивая летняя антициклональная циркуляция.

Вследствие “давления” этого обширного высотного гребня стратосферный циклонический центр циркуляции притесняется к востоку (рис. 3). При этом смещение центра стратосферного циклона не сопровождается его разделением и существует единственный центр циркуляции. Притеснение центра высотной низкой циркуляции к востоку начинается с более низких уровней, что указывает на преобладание в данном случае влияния тропосферных процессов на циркуляцию более высоких уровней стратосферы.

Наиболее интересными в процессе исследования оказались случаи длительных похолоданий в Украине. Эти случаи характеризуются

наиболее активным и ярко выраженным влиянием процессов, осуществляющихся в тропосфере и стратосфере.

Необходимо заметить, что существует значительное отличие формирования длительного похолодания по периодам года, что связано с естественной сезонной циркуляцией стратосферы. Так, в период года с мая по июль длительные похолодания на территории Украины обусловлены атмосферными процессами, развивающимися в слое атмосферы до уровня 100 мб включительно. На более высоких уровнях стратосферы при этом прослеживаются незначительные колебательные движения центра стратосферного антициклона. Надо отметить, что в редких случаях вследствие активного развития узких высотных гребней над Европой и Северной Америкой стратосферный антициклон может вытягиваться по направлению указанных гребней и раздваиваться.

В переходные сезоны, когда осуществляется перестройка циркуляции стратосферы с летнего типа на зимний и наоборот, возможно, что от характера связи процессов тропосферы и стратосферы будут зависеть сроки и характер перестройки.

В период года с октября по март, когда в стратосфере преобладает зимняя циклоническая циркуляция, обе стороны взаимодействия циркуляции тропосферы и стратосферы прослеживаются наиболее ярко. В отдельных случаях поздней весенней или ранней осенней перестройки к указанному периоду можно отнести также сентябрь и апрель.

Как правило, сначала в нижнем слое атмосферы, чаще всего до уровня поверхностей 300 или 100 мб, формируются два высотных глубоких циклона: над восточным побережьем Северной Америки и севером Восточной Сибири. Через несколько дней первый высотный циклон ослабевает, а второй становится основным. В тылу последнего осуществляется активный заток холодного воздуха на территорию Европы. Это приводит к образованию хорошо развитого и вытянутого с юга до района полюса узкого высотного гребня, который при поддержке высотного гребня с Тихого океана разделяет в следующий день циклонический стратосферный вихрь на два центра. Образуется так называемый биполярный вихрь с двумя центрами (Таймырским и Канадским). Затем Таймырский центр усиливается и смещается к западу (рис. 4). При этом тропосферный циклон, обеспечивавший заток холодного воздуха на территорию Украины, получает поддержку стратосферного циклона, т.е. образуется очень высокий циклон с почти

вертикальной осью, в системе которого осуществляется циркуляция, охватывающая тропосферу и стратосферу.

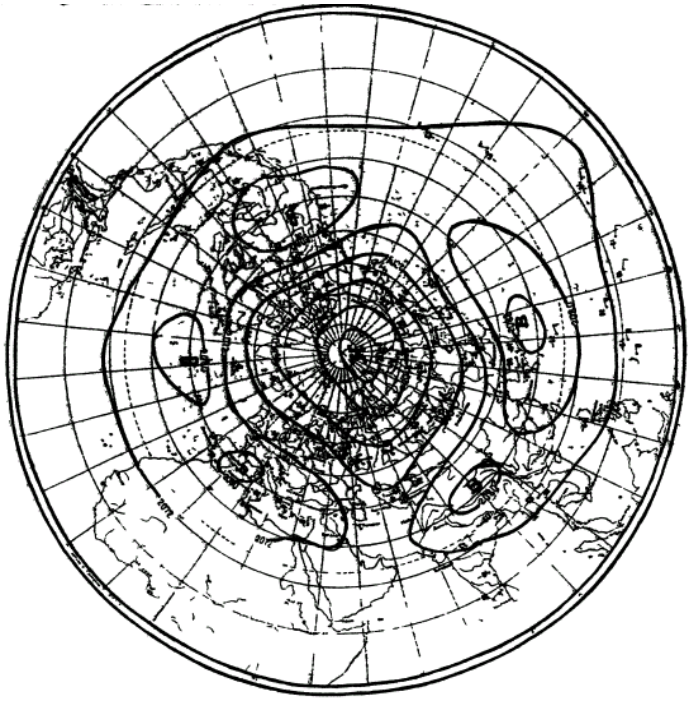

Рис. 3. Положение высотного гребня на уровне поверхности 50 мб, формирующего длительное потепление в Украине

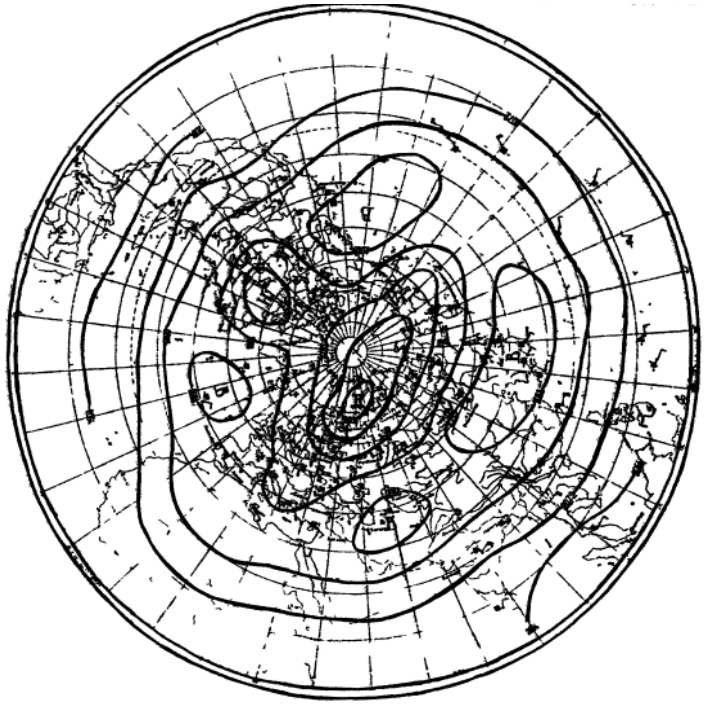

Рис. 4. Положение высотного гребня на уровне поверхности 50 мб, формирующего длительное похолодание в Украине

За счет такой активизации указанного циклона осуществляются каскадом дополнительные затоки холодного воздуха на территорию Украины с севера и северо-востока – вторая волна холода, которая может быть и продолжительнее и интенсивнее первой. В качестве примера такого похолодания у земли в Украине на рис. 5 приводится изменение средней суточной температуры воздуха в Киеве в марте 1999г. Необходимо отметить, что длительные похолодания в Украине в большинстве случаев состоят из двух последовательных волн, разделенных небольшим периодом незначительного повышения температуры воздуха. При этом смещение к западу Таймырского стратосферного центра циркуляции начинается, как правило, с более высоких уровней стратосферы.

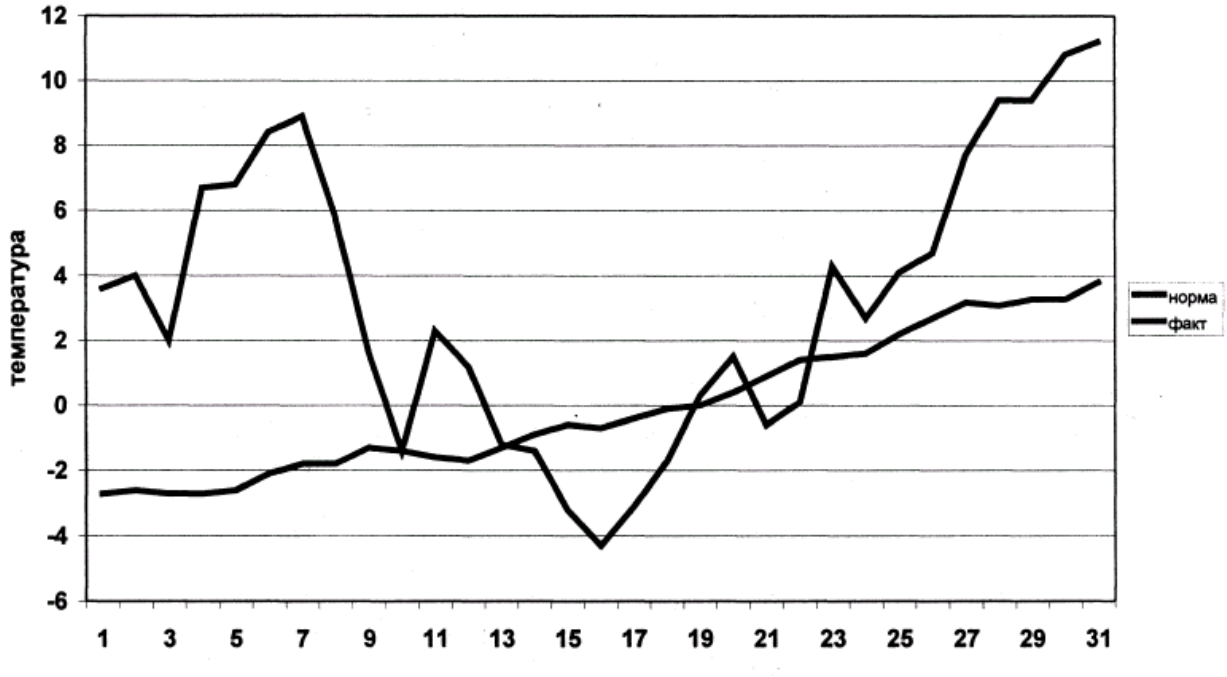

Рис. 5. Средняя суточная температура воздуха в марте 1999 г. в Киеве

В отдельных случаях, когда осуществляется разделение стратосферного циркумполярного вихря (ЦПВ), но смещение Таймырского центра к западу не наблюдается, основной заток холодного воздуха и наибольшие отрицательные аномалии температуры воздуха будут наблюдаться восточнее Украины – на Европейской части России.

Вышеописанные атмосферные процессы, приводящие к формированию длительных похолоданий на территории Украины, интересны также тем, что в отдельных случаях сопровождаются

развитием блокирующих ситуаций в тропосфере и внезапным потеплением стратосферы [3].

Стратосферные потепления при этом можно рассматривать как следствие процессов, которые начинают развиваться в тропосфере: интенсивное развитие двух, иногда одного, высотных гребней приводит к разделению циклонического ЦПВ и адвекции теплого воздуха из низких широт в полярные, что приводит к внезапному повышению температуры воздуха в стратосфере. Это явление замечательно также тем, что вместе с теплым воздухом при этом выносится в полярные широты большое количество озона, что приводит к перераспределению его концентрации в Северном полушарии.

Выводы

1. Существенное отличие крупномасштабных атмосферных процессов в нижней тропосфере при резких потеплениях и похолоданиях у земли сохраняется в более верхних слоях тропосферы и стратосфере.

2. Кратковременные потепления и похолодания у земли являются неустойчивыми и сменяют через 2-4 дня друг друга. Отличия высотных барических образований при резких кратковременных похолоданиях и потеплениях сохраняются до среднего уровня стратосферы. При этом надо отметить, что барические поля на всех уровнях тропосферы и стратосферы при данных сменах температуры у земли являются преобразованными друг из друга. Такая смена циркуляции в тропосфере и стратосфере может приводить к многоразовому чередованию кратковременных волн тепла и холода в Украине.

3. В случае длительных волн тепла и холода в Украине процессы тропосферы (как правило, меридиональный заток холодного воздуха) приводят к изменению состояния и положения ЦПВ, а это, в свою очередь, приводит к дальнейшему углублению и устойчивости меридиональности тропосферных процессов, формирующих длительные потепления и похолодания, обуславливающие значительные аномалии среднемесячной температуры воздуха в Украине.

4. Процессы тропосферы, формирующие длительные похолодания, возможно, являются и одним из факторов образования стратосферных потеплений вследствие адвекции теплого воздуха и озона в полярные широты, что, по-видимому, несет некоторую прогностическую информацию относительно формирования стратосферных потеплений.

* *

Розглянуто і досліджено особливості великомасштабної атмосферної циркуляції в тропосфері та стратосфері Північної півкулі під час різких потеплінь і похолодань на території України у теплий період року. З використанням статистичного аналізу архівних матеріалів (полів геопотенціалу на рівнях стандартних поверхонь 500, 300, 200, 100, 50, 30, 10 мб) за період 1965-2000 рр., уперше визначено найбільш імовірні і екстремальні положення висотних баричних полів тропосфери і стратосфери, що формують короткочасні та тривалі різкі зміни середньої добової температури повітря на території України.

* *

1. *Мартазинова В.Ф., Остапчук В.В., Иванова Е.К., Прохоренко В.М.* Характер изменения среднесуточной температуры воздуха на территории Украины в последнее десятилетие и физико-статистический метод его прогноза с длительной заблаговременностью // Тр. УкрНИГМИ. – 1999. – Вып.247. – С. 36-48.
2. *Мартазинова В.Ф., Остапчук В.В.* Особенности тропосферных и стратосферных атмосферных процессов при резких потеплениях и похолоданиях на территории Украины в теплый период года // Тр. УкрНИГМИ. – 2001. – Вып.249. – С. 24-34.
3. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Исмагилов Н.В.* Структура и взаимосвязи зимних макроциркуляционных процессов в тропосфере и стратосфере умеренных широт Северного полушария. // Метеорология и гидрология. – 1998. – №5. – С. 21-30.
4. *Переведенцев Ю.П., Исмагилов Н.В., Шанталинский К.М.* Сезонные перестройки циркуляции в средней стратосфере // Метеорология и гидрология. – 1999. – №6. – С. 18-28.
5. *Рафаилова Х.Х.* Использование характеристик стратосферы, тропосферы и подстилающей поверхности в долгосрочных прогнозах погоды. - Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 273 с.

Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Киев

Нежинский государственный педагогический университет им. Николая Гоголя