

УДК 551.510

РЕЖИМ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В РАЙОНЕ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА

В. Е. Тимофеев¹, Б. О. Безнощенко^{1,2}, А. А. Щеглов¹

¹Український гідрометеорологічний інститут ГСЧС і НАН України, просп. Науки, 37, г. Київ, 03028, tvvladys@gmail.com

²Государственное учреждение Национальный антарктический научный центр МОН Украины, бульв. Тараса Шевченко, 16, г. Киев, 01601

Реферат. Целью работы является проведение анализа режима приземного ветра по данным Украинской антарктической станции «Академик Вернадский» и его сопоставление с состоянием атмосферной циркуляции для расширения знаний о региональном климате исследуемого региона. Использовались традиционные **методы** климатологической обработки, корреляционный анализ. **Результаты:** по данным станции «Академик Вернадский» отмечается усиление скорости приземного ветра в условиях повышения температуры воздуха. Выявлена статистическая неоднородность в рядах скорости ветра. Основным **выводом** является то, что повышение температуры воздуха и усиление скорости приземного ветра является единым проявлением изменения климата в регионе исследования, которое отражает изменения в атмосферной циркуляции, прежде всего – в усилении зонального потока и углубления циклогенеза в Антарктике.

Ключевые слова: скорость ветра, индекс, неоднородность, южная кольцевая мода, изменение климата.

РЕЖИМ ПРИЗЕМНОЇ АТМОСФЕРНОЇ ЦИРКУЛЯЦІЇ В РАЙОНІ АНТАРКТИЧНОГО ПІВОСТРОВА

В. Є. Тимофеев¹, Б. О. Безнощенко^{1,2}, О. А. Щеглов¹

¹Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України, м. Київ, tvvladys@gmail.com

²Державна установа Національний антарктичний науковий центр МОН України, м. Київ

Реферат. Метою роботи є проведення аналізу режиму приземного вітру за даними Української антарктичної станції «Академік Вернадський» та його співставлення зі станом атмосферної циркуляції для розширення знань щодо регіонального клімату досліджуваного регіону. Використовувались традиційні **методи** кліматологічної обробки, кореляційний аналіз. **Результати:** за даними станції «Академік Вернадський» відзначається посилення швидкості приземного вітру в умовах підвищення температури повітря. Виявлена статистична неоднорідність в рядах швидкості вітру. Головним **висновком** є те, що підвищення температури повітря та посилення швидкості приземного вітру є єдиним проявом зміни клімату в регіоні дослідження, що відображає зміни в атмосферній циркуляції, насамперед – у посиленні зонального потоку і поглибленні циклогенезу в Антарктиці.

Ключові слова: швидкість вітру, індекс, неоднорідність, південна кільцева мода, зміна клімату.

ON THE NEAR-SURFACE ATMOSPHERIC CIRCULATION IN THE REGION OF THE ANTARCTIC PENINSULA

V. E. Tymofeyev¹, B.O. Beznoshchenko^{1,2}, O.A. Shcheglov¹

¹ Ukrainian Hydrometeorological Institute, State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, tvvladys@gmail.com

² State Institution National Antarctic Scientific Center, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv

Abstract. The main **objective** of the research is to analyze the near-surface wind regime in accordance with the data from Ukrainian Antarctic Akademik Vernadsky station and compare it with the state of the atmosphere circulation in order to supplement knowledge of the regional climate. Traditional **methods** of climatological processing, correlation analysis were used. Ac-

ording to the data of Vernadsky station, there is an increase in surface wind speed in conditions of air temperature rise. The statistical inhomogeneity in the wind speed series is detected. The main **conclusion** is that the air temperature growth and the increase in surface wind speed is a single manifestation of climate change in the region of the study that reflects changes in atmospheric circulation, intensification of westerly and deepening of cyclogenesis in Antarctica.

Key words: wind speed, index, inhomogeneity, southern annular mode, climate change.

1. Введение

Ветровой режим определяется в целом крупномасштабной циркуляцией, но одновременно искажается местными условиями. Вместе с температурой воздуха режим приземного ветра является показателем состояния регионального климата. Изменение климата в Южной полярной области связывают прежде всего с изменением в атмосферной циркуляции (Груза и др., 1996, Мартазинова и др., 2010, Gillett et al., 2002, Field et al., 2012, Julie et al., 2006, Turner et al., 2005, Tumofeyev, 2009). Детальное изучение регионального климата стало возможным с конца 1950-х годов, когда сформировалась сеть постоянно действующих станций. Большим прорывом стало проведение Международного полярного года (МПГ) 1957 – 1959 гг. По результатам исследований Г. М. Таубер впервые охарактеризовал центры действия атмосферы (ЦДА) в поясе пониженного давления вокруг Антарктиды, С. С. Гайгеров – впервые описал вертикальное строение тропосферы и нижней стратосферы, а также были установлены условия формирования стоковых ветров в нижней тропосфере (Атлас, 1969).

Детализацию атмосферных процессов провел Б. Л. Дзердзеевский (со сравнением особенностей в обоих полушариях земли). Он установил связность атмосферных процессов Северного и Южного полушарий (Дзердзеевский, 1970). Одним из первых он указал, что в связи с многолетними колебаниями ЦДА нужно иметь набор средних климатических данных по циркуляционным эпохам, поскольку одна средняя многолетняя величина за весь период наблюдений любой метеорологической величины, приведенная в справочниках, не вполне характеризует особенности современного климата. Это положение особенно актуально сейчас, когда циркуляционные процессы в эпоху потепления значительно изменились по сравнению с серединой XX века. На их фоне в ряде регионов неоднократно повторялись редкие погодные явления, вероятность возникновения которых в среднем очень мала. В типизации Б.Л. Дзердзеевского выделен тип меридиональной южной циркуляции с необычным положением циклона на полюсе и отсутствием блокирующих процессов – прообраз циркумполярной (западно-восточной) циркуляции, которая присуща атмосфере Южного полушария.

В соответствии с выводами Межправительственной группы по изменению климата наиболее важные изменения планетарной атмосферной циркуляции, произошедшие в течение второй фазы глобального потепления в XX столетии, таковы. Западно-восточный перенос в умеренных широтах в основном усиливается в обоих полушариях с конца 1970-х гг., особенно зимой, смещение центров действия атмосферы в Атлантико-Европейском секторе в современную эпоху потепления обнаружено в работах С. В. Филд и соавторов (Field et al., 2012), а в Южном полушарии (ЮПО) – в работах Г. В. Груза, В. Ф. Мартазиновой и соавторов (Груза и др., 1996, Мартазинова и др., 2010). Активность циклонов в обоих полушариях претерпела изменения в течение второй половины XX столетия: сдвиг к полюсу траекторий циклонов сопровождается их углублением и одновременным уменьшением их общего числа.

В Южном полушарии по данным радиозондирования отмечено снижение геопотенциальных высот в низкой стратосфере вдоль ледникового купола Антарктиды с октября до марта и мая между 1969 и 1998 годами. Это привело к интенсификации и перемещению к полюсу Атлантической части полярной ветви высотной фронтальной зоны (ВФЗ) (Turner et al., 1998). Таким образом, постоянно существующая и динамически значимая ВФЗ с большими скоростями ведущих потоков усиливается в условиях современного климата, ограничивая затоки холода из континентальной Антарктиды.

Среди показателей изменчивости климата в Южной полярной области (ЮПО) чаще всего упоминается в литературе южная кольцевая мода (ЮКМ, Southern Annular Mode, другое определение – Антарктическое колебание, ААК). Данный индекс представляет собой аналог индекса зональной циркуляции в пределах пояса низкого давления и рассчитывается как разность атмосферного давления между 45 и 65° ю.ш. (Marshall, 2011). Изменение климата в ЮПО связаны с увеличением индекса ЮКМ, отражающим интенсификацию западного потока в связи с отрицательной тенденцией давления. В целом этот вывод согласуется с выводом о меньшей частоте блокирующих процессов в краевой зоне Антарктиды, ответственных за наиболее интенсивные похолодания, однако необходим более детальный анализ, в частности того, как ЮКМ связана с Эль-Ниньо-Южным колебанием (ЭНЮК).

Усиление зонального потока (положительная ЮКМ) в первую очередь влияет на север Антарктического полуострова, будучи связанным с углублением ЦДА в морях Амундсена и Беллингаузена, что приводит к значительной адвекции тепла на западное побережье Антарктического полуострова. Сохранение такого типа циркуляции приводит к усилению северной составляющей ветра в регионе. Кроме того, в работе (Marshall, 2011) показано, что в течение антарктического лета (декабрь-февраль) усиление западного переноса приводит к более высокой частоте переваливания воздушных масс горной системы Антарктического полуострова с запада на восток. В сочетании с формированием фоновых ветров с подветренной стороны этот эффект приводит к повышению температуры воздуха на северо-востоке полуострова, а также считается одним из ключевых процессов, ответственных за откол шельфового ледника Ларсена. Однако отмечается, что подобный диполь циркуляции между морями Амундсена и Беллингаузена типичен для отдельных месяцев, то есть индекс не всегда отражает изменение циркуляции.

Таким образом, антарктическое колебание представляет собой индекс зональной циркуляции, который лишь частично объясняет тип региональной циркуляции и не объясняет преобразования крупно-

масштабной циркуляции в многолетнем плане. Аналогично, в Северном полушарии усиление арктического колебания, которое происходило практически синфазно с ААК, объясняет усиление зонального потока, но практически не может быть использовано для идентификации конкретных синоптических типов, диагноза/прогноза погоды.

Проявлением типа региональной циркуляции в районе станции «Академик Вернадский» являются местные фоновые ветры, которые были описаны в работах (Тимофеев, Гордиенко, 1997), а моделирование – проведено в исследованиях (van Lipzig et al., 2004). Фоновые ветры отличаются порывистой структурой скорости ветра, с сериями «затиший» 4-6 и «усиленных» до 10-15 м/с, каждая из которых длится 0.5-2 часа. В каждом случае фена регистрируется облачность чечевицеобразных форм (Говоруха и др., 2000).

Еще в 50-х годах на станциях Ю. Георгия и Хоуп Бей, а также горными полевыми партиями в районе нынешней станции Розера на высоте 1600 м зарегистрировано необычное повышение температуры воздуха и снижение влажности воздуха при определенных направлениях ветра (Meteorology, 1954). Формирование эффектов местных циркуляций в районе меридионально ориентированного Антарктического полуострова возможно как в случае возмущений (циклоны, фронты), так и при преобладании более устойчивой антициклональной погоды

Исследование состояния и изменения климата полярных областей позволяет подтвердить глобальный характер изменения современной климатической системы. Одной из станций Антарктики, где повышение средних значений приземной температуры воздуха в конце XX в. превысило средние глобальные значения в 3–4 раза, является станция «Академик Вернадский» (Franzke, 2013). Проведение исследований на станции как в регионе с минимальным антропогенным воздействием позволяет выявить природу климатических изменений и оценить влияние человеческой деятельности на эти изменения. Однако для получения полноценного представления о климатических особенностях исследуемого региона, кроме температурного режима, необходимо рассматривать все составляющие климата. Одной из важных составляющих климатической системы является ветровой режим, он служит индикатором интенсивности атмосферной циркуляции. Поэтому закономерности формирования и изменения ветрового режима на станции «Академик Вернадский» является важным звеном в полноценном изучении климата Южной полярной области. Целью работы является анализ режима приземного ветра по данным станции и сопоставление его с состоянием циркуляции атмосферы, чтобы дополнить знания о региональном климате.

2. Материалы и методы

При выполнении климатических исследований большое значение имеет качество исходных данных и их правильная статистическая обработка в зависимости от поставленных задач. Использование за время существования станции «Академик Вернадский» различных измерительных приборов и комплексов с разной точностью и с разным интервалом фиксации значений скорости и направления ветра, безусловно, вызывает потребность в объективном сопоставлении и сравнении результатов наблюдений в разные годы для климатологического описания ветрового режима на станции и его изменений. Согласно британскому техническому журналу метеорологических приборов (The READER Project, <https://legacy.bas.ac.uk/met/READER/metadata/metadata.html>), до 1966 года включительно для измерения скорости ветра использовался Munro Mk.1, который в дальнейшем был заменен на Munro Mk.1B. Начиная с февраля 1976 г. на станции был установлен Munro Mk.4A. В 1980 году он был перемещен на новую метеорологическую мачту, а уже в январе 1984 г. началась тестовая работа нового комплекса SCAWS (Synoptic and Climatological Automatic Weather Station). Но основным комплексом SCAWS стал лишь с 1 января 1986 года – соответственно, измерения скорости ветра стали проводиться с помощью двух датчиков-анемометров Vector A100R, а направления ветра – двумя электронными флюгарками W200P. В декабре 1990г. в тестовом режиме был запущен автоматизированный комплекс MAWS (Modular Automatic Weather Station), который стал основным измерительным комплексом с 1 апреля 1992 с датчиками измерения скорости ветра A100H и датчиком направления ветра W200P. С 20 февраля 2011 года на станции основным измерительным комплексом стал мобильный метеорологический комплекс (ММК) «Тропосфера», в составе которого скорость и направление ветра измеряется преобразователем скорости и направления воздушного потока «Нордвест» с погрешностью $\pm (0,5 + 0,03V)$ (разработчик – ЧП «Добрый путь», г. Киев.). Отметим, что это датчик отличается от традиционного лопастного измерителя тем, что измеряет давление воздуха в трех трубках, разнесенных на 120° . Скорость ветра станцией MAWS измеряется в узлах, поэтому при проведении анализа полученные величины переводились в м/с путем умножения значения в узлах на коэффициент 0,514. Напомним, что анемометр расположен на высоте 10 м над поверхностью земли, согласно наставлениям Всемирной метеорологической организации.

В работе для климатического анализа изменений параметров ветрового режима на станции «Академик Вернадский» рассматривался временной промежуток с 1957 по 2008 гг. Для этого временного интервала, основываясь на данных Британской антарктической службы (БАС) и Украинских антарктических экспедиций (архивы НАНЦ), была сформирована база данных срочных наблюдений (с временным интервалом в 3 ч.) за скоростью и направлением ветра как составляющими ветрового режима по срочным метеорологическим телеграммам/сводкам. В сформированной базе данных представлено 150720 сроков, количество пропусков составляет 106 сроков (чуть больше, чем 0,07%). Отметим, что период с 2008 по 2011 г., до установки ММК Тропосфера, характеризовался многочисленными пропусками данных системы MAWS, что не позволяет привести эти данные к однородному виду и продлить непрерывный ряд измерений. Поэтому анализ приземного ветра по данным ММК Тропосфера представлен в отдельном пункте.

Малая временная дискретность данных (5 мин), измеряемая с помощью датчиков автоматических метеорологических станций, позволяет получить практически непрерывный ряд изменений и получить статистически более достоверные результаты как средних величин за большие временные интервалы, так и при исследовании короткопериодной изменчивости. Многие практически важные параметры приземного ветра (такие, как продолжительность штилей, слабого и сильного ветров) возможно рассчитать с большой, до минут, точностью.

Для описания и изучения климатических изменений в любом исследуемом регионе необходимо убедиться в корректности и объективности используемых данных, чтобы исключить ошибки, вызванные техническими или субъективными (наблюдателя) причинами. При этом при работе с метеорологическими данными следует крайне внимательно и осторожно подходить к идентификации такого рода ошибок, чтобы случайно не исключить действительные климатические изменения. Для выявления возможных нарушений ряда в связи с неклиматическими причинами (Steffensen и др., 1996), такими как замена измерительного прибора, изменение методики проведения наблюдений, формул расчета и т.д., был проведен анализ однородности статистической выборки. В дальнейшем полученные результаты сопоставлялись с техническим и рабочим журналами станции как с источниками достоверной информации о возможных неклиматических причинах нарушения однородности.

На основании традиционного подхода к выделению градаций при климатическом анализе скорости ветра (Мартазинова и др., 2010), скорость ветра рассматривалась в шести градациях (1 м/с, 2-5 м/с, 6-9 м/с, 10-15 м/с, 16-20 м/с, >20 м/с). Помимо рядов среднемесячных характеристик (общего многолетнего хода и многолетних рядов по каждому месяцу в отдельности), для каждого месяца выбранного интервала были получены значения повторяемости каждой выделенной градации, а также повторяемости штилевых условий, за временной интервал 1957-2008 (07). Согласно Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) (Project team ESA&D, 2013, Begert et al. 2008, Klok et al., 2009), European Climate Assessment & Dataset (<http://www.esad.eu>), в качестве критериев однородности статистической выборки, которые рассчитывались для получения информации о возможных смещениях в рядах данных, были использованы следующие:

– Pettitt's test (PET, Pettitt (1979)),

$$X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1), k = 1, \dots, n$$

$$X_E = \max |X_k| \quad \text{for } 1 \leq k \leq n, \text{ где}$$

r_1, \dots, r_n – ранги значений Y_1, \dots, Y_n . Если нарушение однородности идентифицируется в году E, то статистика X_k принимает максимальное значение вблизи года $k = E$.

– Standard normal homogeneity test (SNHT, Alexandersson (1986)):

$$T(k) = c\bar{z}_1^2 + (n-k)\bar{z}_2^2 \quad k = 1, \dots, n$$

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{(Y_i - \bar{Y})}{s} \quad \bar{z}_2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=k+1}^n \frac{(Y_i - \bar{Y})}{s}$$

$$T_0 = \max(T(k)) \quad \text{for } 1 \leq k \leq n, \text{ где}$$

$T(k)$ – значение критерия на временном интервале в точке k, s – среднее квадратическое отклонение, Y_i – значение исследуемой величины в точке i (i изменяется от 1 (начало ряда) до n (конец ряда)), \bar{Y} – среднее значение ряда исследуемой величины. Если нарушение однородности идентифицируется в году K, то статистика $T(k)$ принимает максимальное значение вблизи года $k = K$.

– Buishand's test (BHR, Buishand (1982))

$$S_0^* = 0 \quad S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad k = 1, \dots, n, \text{ где}$$

Y_i – значение исследуемой величины в точке i (i изменяется от 1 (начало ряда) до n (конец ряда)), \bar{Y} – среднее значение ряда исследуемой величины. Если нарушение однородности идентифицируется в году K, то статистика S_k^* принимает максимальное (отрицательный сдвиг) или минимальное (положительный сдвиг) значение вблизи года $K = k$.

– Von Neumann's test (VON, von Neumann (1941)) – непараметрический тест N на однородность, который определяется как соотношение

$$N = \sum_{j=1}^{n-1} (Y_j - Y_{j+1})^2 / \sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2, \text{ где}$$

Y_j – значение исследуемой величины в точке j (j изменяется от 1 (начало ряда) до n (конец ряда)), \bar{Y} – среднее значение ряда исследуемой величины.

Использование нескольких типов критериев (параметрического, подобия, непараметрического) позволяет получить более точную оценку наличия вероятного смещения в рядах данных (Morozova et al, 2012).

Для сравнения использовались данные индекса ЮКМ, основанные на данных наблюдений на 12 станциях в Антарктике и Южной Америке <http://www.nerc-bas.ac.uk/icd/gjma/sam.html>, с 1957 г.

Отдельный пункт в статье посвящен анализу ветрового режима 2016 г. по данным ММК Тропосфера.

3. Результаты исследования

Результаты вычислений критериев однородности для станции «Академик Вернадский» приведены в табл. 1. Полученные результаты показали наличие нарушения однородности по всем критериям в многолетнем ходе среднемесячных скоростей ветра в (PET, BHR, SNHT -1983 год). При рассмотрении хода повторяемости различных градаций скорости ветра, было обнаружено скачкообразное нарушение (рис. 1) однородности хода повторяемости градации скорости ветра 2-5 м/с (PET, BHR, SNHT – 1984 год) со значительным позитивным сдвигом (участки до 1984 года и после имеют нормальное распределение, смещение среднего составило 15,597 % от общей повторяемости градации за месяц). Также следует отметить изменения количества повторяемости штилей (PET, BHR, SNHT – 1978 год). Прочие смещения, которые удовлетворяют условиям достоверности $p < \alpha$ (0.05), критерии PET, BHR и VON однозначно не указывают на единый год сдвига, величина смещения среднего либо мала (до 4%), либо изменяется нескачкообразно (градация 1 м/с).

Нарушение однородности в градации 2-5 м/с практически совпадает во времени с началом использования метеорологического измерительного комплекса SCAWS с 1-го января 1986 г, т.е. с переходом к автоматическим измерениям, а именно с использования анемометра Munro Mk.4A на анемометр «Vector A100H» и флюгарку «Vector W200P».

Значения критериев однородности для рядов средней месячной скорости ветра (V с.м., м/с) и повторяемости различных градаций на станции «Академик Вернадский» (1957 – август 2008 гг.)

Таблица 1

Table 1

The values of the homogeneity criteria for the series of the monthly mean wind speed (V, m/s) and the frequency of different gradations of wind speed at the Akademik Vernadsky station (1957 – August 2008)

Градация V	Pettitt's test			Standard normal homogeneity test (SNHT)		
	K	t	p-value	T0	t	p-value
V с.м, м/с	36604.000	1983	< 0.0001	67.842	1983	< 0.0001
Штиль (0 м/с)	87330.000	1978	< 0.0001	393.446	1976	< 0.0001
1 м/с	34719.000	1989	< 0.0001	69.333	1985	< 0.0001
2-5 м/с	71035.000	1984	< 0.0001	251.870	1984	< 0.0001
6-9 м/с	24699.000	1981	< 0.0001	51.691	2005	0.000
10-15 м/с	16529.000	1985	0.005	17.071	1998	0.004
16-20 м/с	11809.000	1998	0.093	6.830	2001	0.281
>20 м/с	4901.000	1966	0.892	12.947	1963	0.107
Градация V	Buishand's test			von Neumann's test		
	Q	t	p-value	N	p-value	
V с.м, м/с	102.515	1983	< 0.0001	1.125	< 0.0001	
Штиль (0 м/с)	240.852	1977	< 0.0001	240.852	< 0.0001	
1 м/с	103.194	1985	< 0.0001	0.517	< 0.0001	
2-5 м/с	197.015	1984	< 0.0001	0.841	< 0.0001	
6-9 м/с	70.336	1981	< 0.0001	1.246	< 0.0001	
10-15 м/с	47.257	1984	0.002	52.590	0.003	
16-20 м/с	24.490	1999	0.255	1.475	< 0.0001	
>20 м/с	31.797	1966	0.061	34.826	0.205	

При рассмотрении многолетнего хода средних месячных скоростей было обнаружено нарушение однородности (рис. 2) в летние месяцы (декабрь, январь, февраль). С учетом вышеуказанного, это может быть объяснено тем, что минимум годовой скорости ветра наблюдается именно в эти месяцы и, соответственно, именно в январе и феврале наблюдается наибольшая доля ветров градации 2-5 м/с, что повлияло на смещение средних месячных значений в сторону повышения (как и позитивное смещение градации 2-5 м/с). В других месяцах смещение нарушения однородности выявлено не было.

Для проверки предположения о том, что именно замена прибора-измерителя скорости ветра, а не естественные процессы изменения климата, произвела вышеописанное смещение показаний в соответствующем градации скорости ветра, по аналогичной методике были рассмотрены данные скорости ветра на британской антарктической станции Розера как одной из наиболее территориально близких станций. Согласно техническому журналу станции, 1-го января 1993 г. была произведена замена приборов-измерителей скорости ветра и направления ветра на аналогичные тем, что были установлены на станции «Академик Вернадский» – на анемометр «Vector A100H» и флюгарку «Vector W200P» соответственно. Результаты вычислений приведены в табл. 2. Как и на станции «Академик Вернадский», результаты показали наличие нарушения однородности по всем критериям в многолетнем ходе среднемесячных скоростей ветра (PET, BHR, SNHT -1992 год).

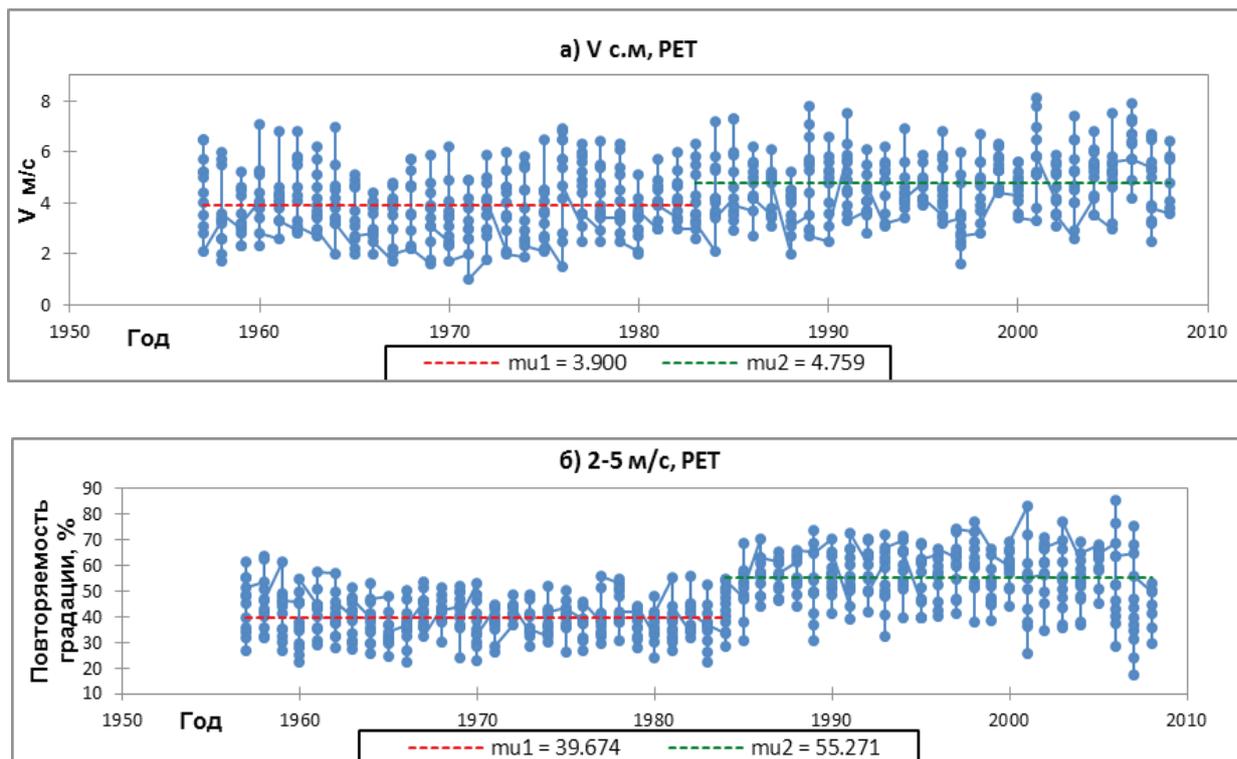


Рис. 1. Многолетний ход средней месячной скорости ветра (а), повторяемости градации 2-5 м/с (б), станция «Академик Вернадский», 1957 – 2008 гг. По оси ординат для каждого года нанесены значения повторяемости скорости ветра для каждого месяца.

Fig. 1. The Multi-year series of the monthly mean wind speed (a), the frequency of gradation 2-5 m/s (b), Akademik Vernadsky station, 1957 – 2008. The ordinate for each year shows the values of the frequency of the wind speed for each month.

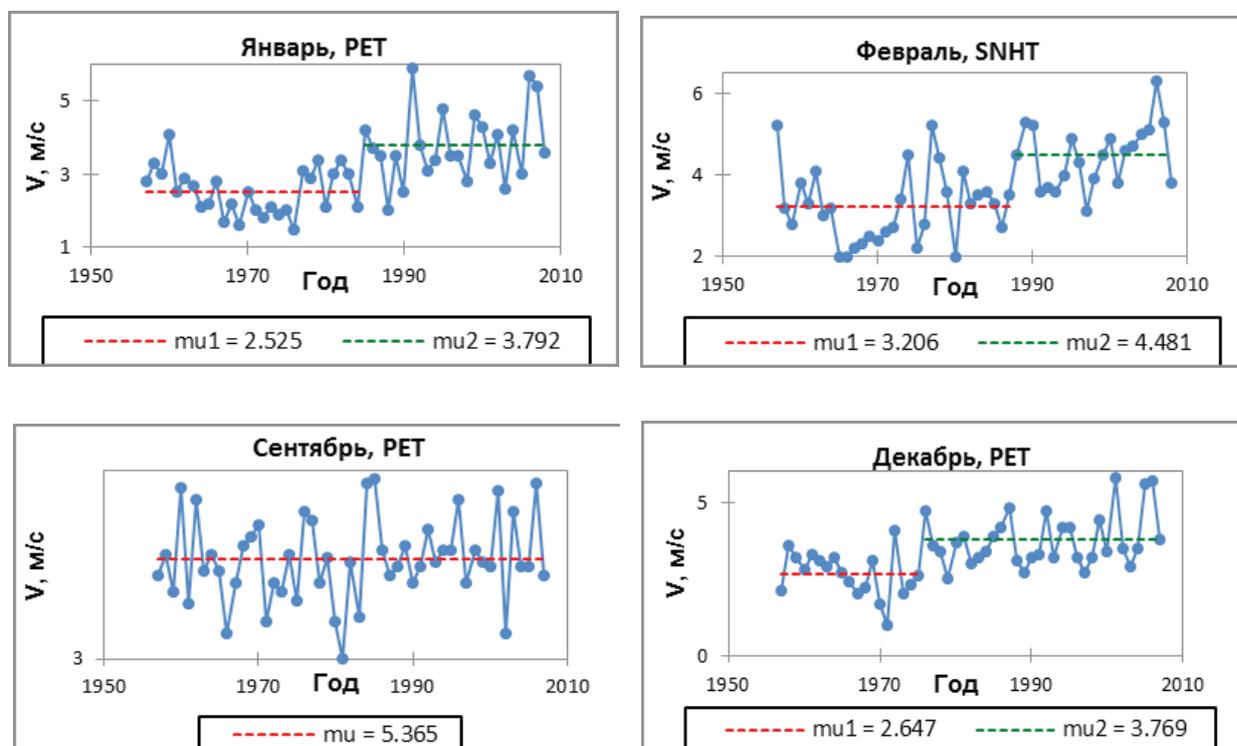


Рис. 2. Многолетний ход средней месячной скорости ветра (м/с), отдельные месяцы, станция «Академик Вернадский».

Fig. 2. Multi-year series of the monthly mean wind speed (m/s), some months, Akademik Vernadsky station.

Значение критериев однородности для рядов средней месячной скорости ветра (V, м/с) и повторяемости различных градаций скорости ветра на станции Розера (1977 – 2008 гг.)

Table 2

The values of the homogeneity criteria for the series of the monthly mean wind speed (V, m/s) and the frequency of different gradations of wind speed at the station Rothera (1977 – 2008)

Градация V	Pettitt's test			Standard normal homogeneity test (SNHT)		
	K	t	p-value	T0	t	p-value
V с.м	7226.000	1992	0.009	15.278	1982	0.004
Штиль (0 м/с)	24148.000	1990	< 0.0001	122.539	1983	< 0.0001
1 м/с	28650.000	1992	< 0.0001	149.805	1992	< 0.0001
2-5 м/с	27009.000	1991	< 0.0001	142.759	1991	< 0.0001
6-9 м/с	8347.000	1988	0.002	19.778	1983	0.001
10-15 м/с	4950.000	1994	0.296	6.441	2008	0.256
16-20 м/с	3071.000	1993	0.645	9.702	1976	0.094
>20 м/с	3094.000	1988	0.848	18.393	1976	0.040
Градация V	Buishand's test			von Neumann's test		
	Q	t	p-value	N	p-value	
V с.м	30.034	1994	0.014	33.376	0.041	
Штиль (0 м/с)	95.752	1988	< 0.0001	0.749	< 0.0001	
1 м/с	120.845	1992	< 0.0001	0.770	< 0.0001	
2-5 м/с	117.651	1991	< 0.0001	0.925	< 0.0001	
6-9 м/с	37.167	1988	0.001	1.208	< 0.0001	
10-15 м/с	21.472	1994	0.164	1.534	< 0.0001	
16-20 м/с	20.590	1989	0.196	1.250	< 0.0001	
>20 м/с	31.248	1989	0.006	1.705	0.009	

На станции Розера в градации 2-5 м/с наблюдается наибольшее скачкообразное нарушение однородности также с позитивным сдвигом (PET, BHR, SNHT-1991 г.), аналогичному к смещению на станции «Академик Вернадский», и отрицательным сдвигом в градации 1 м/с (PET, BHR, SNHT – 1992 г., рис.3). При этом, согласно техническому журналу станции Розера, по времени это смещение в вышеуказанных градациях совпадает с началом использования автоматического метеорологического комплекса MAWS, а именно с переходом с датчиков Munro IM 146 (комбинированный анемометр и флюгарка) на анемометр «Vector A100H» и флюгарку «Vector W200P». Учитывая вышеизложенное, можно утверждать, что переход на измерения скорости ветра анемометром «Vector A100H» привел к возникновению смещения в данных и нарушению неоднородности хода рядов ветра на станциях «Академик Вернадский» и Розера. Это было подтверждено в результате консультации с сотрудником БАС С.Колвеллом, который отметил, что лопасти нового анемометра более легкие по сравнению с предшествующим прибором, поэтому более чувствительно реагирует на слабый ветер.

Также следует отметить, что при замене метеокомплекса SCAWS на MAWS с 1-го апреля 1992 г. (практически в одно время с переходом на MAWS на станции Розера) как основного средства измерения на станции «Академик Вернадский», нарушения однородности выявлено не было. Это объясняется тем фактом, что датчики для измерения скорости и направления ветра, а именно анемометр «Vector A100H» и флюгарка «Vector W200P», использовались как и в SCAWS, так и в MAWS, т.е. не произошло изменения приборов, которые использовались для измерения вышеуказанных характеристик ветра, в отличие от станции Розера, где произошла смена приборов, что косвенно подтверждает неклиматическую причину выявленной неоднородности.

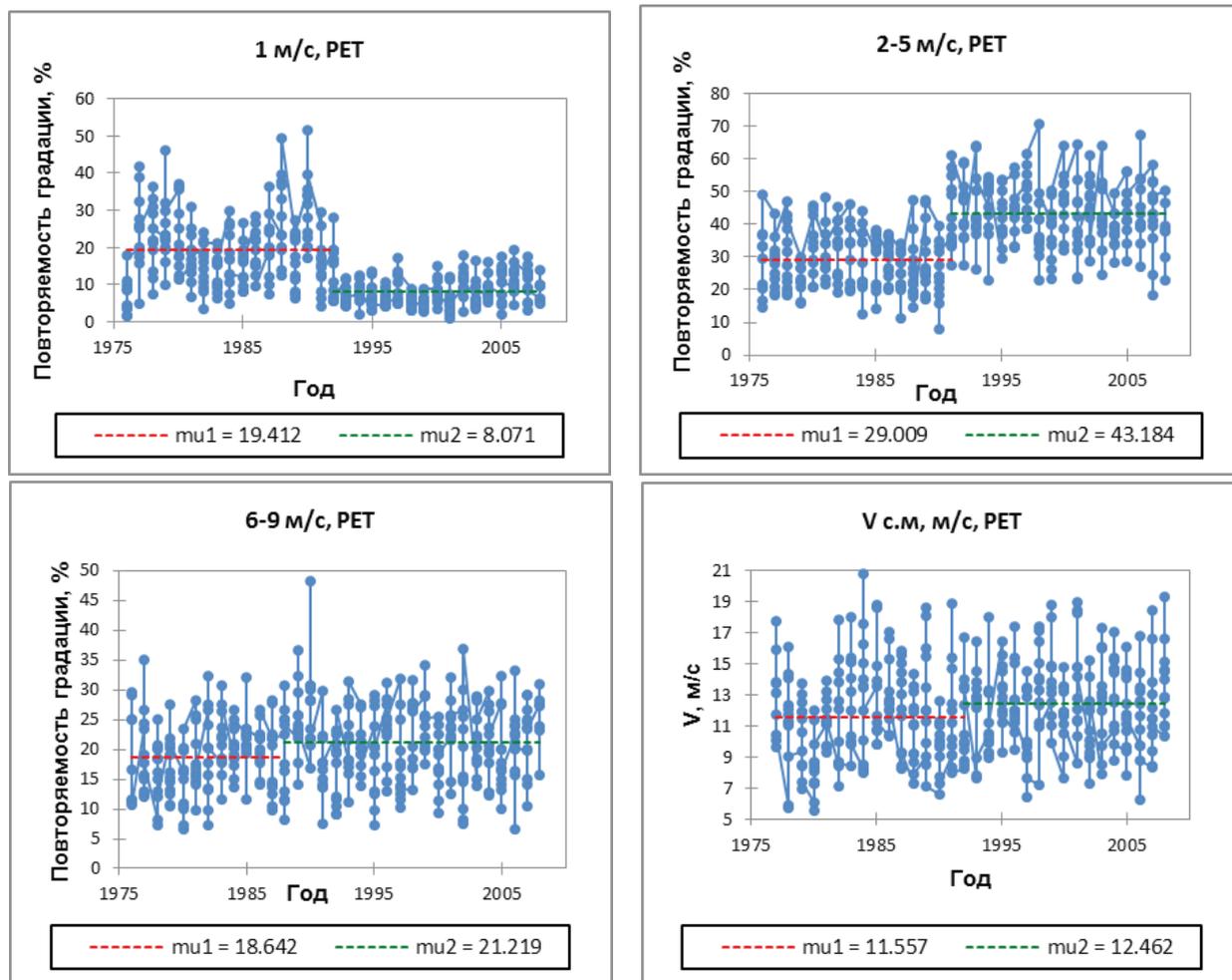


Рис. 3. Многолетний ход средней месячной скорости ветра (V с.м., м/с), а также повторяемости различных градаций, станция Розера.

Fig 3. The Multi-year series of the monthly mean wind speed (V, m/s) and the frequency of some wind gradation, station Rothera, 1957 – 2008.

Для детализации типа неоднородностей, идентифицированных и по данным двух станций, многолетние ряды скорости ветра были сопоставлены с индексом Южной кольцевой моды и региональным индексом вдоль долготы 300° з.д. (Julie et al., 2006). Современное изменение климата (прежде всего, потепление) связывается с ростом индекса, то есть интенсификацией зонального потока в низкой тропосфере между широтами 40 и 65° ю.ш.. Кроме того, были рассчитаны региональные индексы в зоне $40-65^\circ$ ю.ш. вдоль соответствующих долгот, которые отражают циркуляционные процессы в районе западного побережья Антарктического полуострова.

В течение выбранного промежутка времени, индекс Южной кольцевой моды существенно увеличивается как в течение года, так и в летние месяцы (рис.4). По отдельным створам (долготам) существенным рост отмечен для Индийского сектора Антарктики, и юго-восточной части Тихого океана, в то время как менее рост отмечен в секторе $120-210^\circ$ ю.ш.. Таким образом, интенсификация зонального потока происходила неоднородно в разных секторах Антарктики.

Результаты корреляционного анализа показали существование статистически значимой связи обоих индексов со значениями скорости ветра на станции «Академик Вернадский», причем коэффициент корреляции регионального индекса с оригинальным рядом скорости ветра (0.75) больше, чем с исправленным (0.58). С другой стороны, существует значительная корреляция между индексом ЮКМ и региональным индексом – 0.74. Таким образом, эти результаты свидетельствуют о возможной естественной причине неоднородности в рядах скорости ветра.

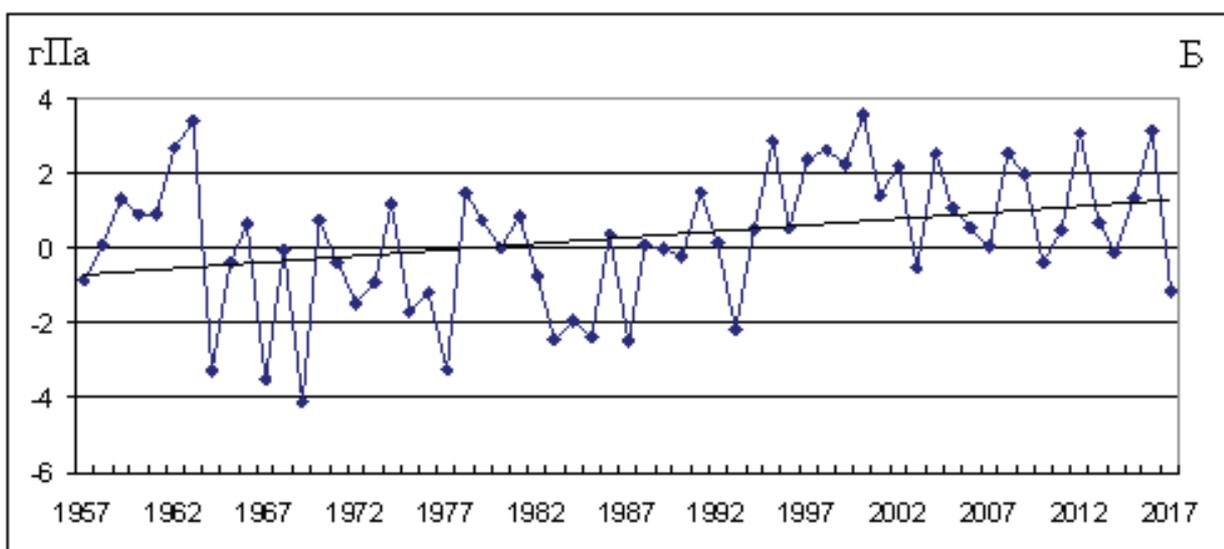
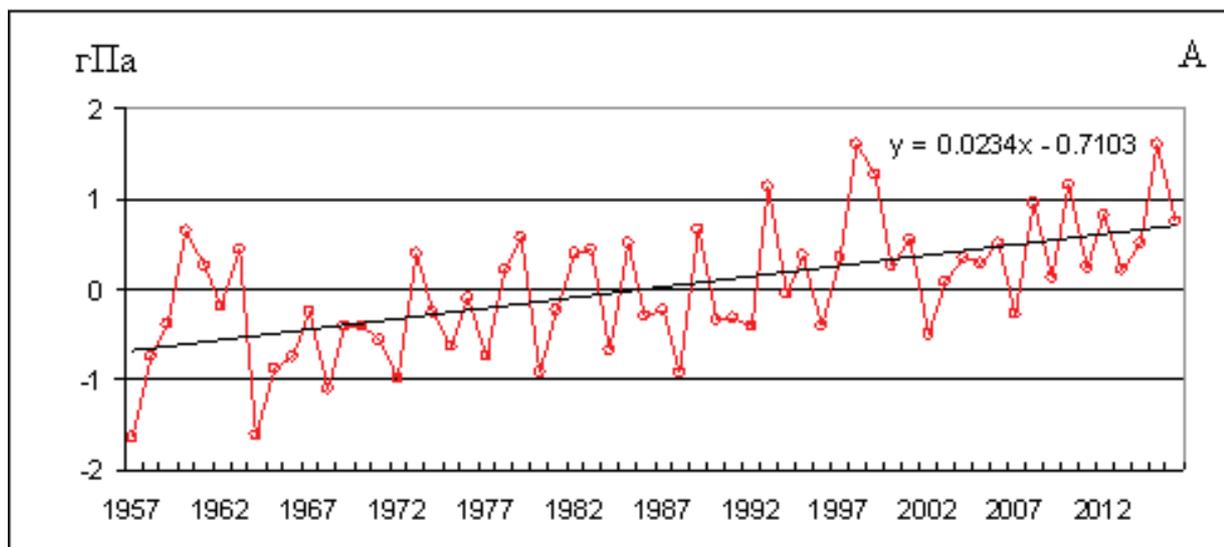


Рис. 4. Многолетнее изменение аномалии индекса южной кольцевой моды (гПа) – год, январь (1957-2017 гг).

Fig. 4. Multi-years change in the anomaly of the index of the Southern Annular Mode (hPa) – year, January (1957-2017).

Далее были рассчитаны коэффициенты линейных трендов индекса ЮКМ, регионального индекса на 300° з.д., а также скорости ветра по данным станции «Академик Вернадский» по отдельным месяцам и периодам 1957-1986 и 1987-2016 гг. Эти два временных промежутка дают возможность разбить период исследования на два подпериода, в соответствии с преобладающей фазы Эль-Ниньо – на отрицательную к середине 1980-х и на положительную после середины 1980-х. В подавляющем большинстве месяцев линейные тренды индексов возросли в 1987-2016 по сравнению с 1957-1986 гг., кроме мая и ноября (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты линейных трендов Южной кольцевой моды, гПа /10 лет

Table 3

Coefficients of linear trends of the Southern Annular Mode, hPa/10 y

Мес.	1	2	3.	4	5.	6	7	8	9	10	11	12	год
1957-2016	0.34	0.44	0.17	0.41	0.28	0.28	0.25	0.12	<u>-0.13</u>	0.15	0.18	0.03	0.23
1957-1986	<u>-0.55</u>	0.57	0.03	0.16	0.28	0.58	0.29	0.37	-0.05	0.30	0.51	-0.02	0.21
1987-2016	0.58	0.53	0.63	0.35	<u>-0.03</u>	0.94	0.54	<u>-0.08</u>	0.08	0.34	<u>-0.23</u>	0.03	0.31

Примечание. Выделены значения, статистически значимые на 95%-ом уровне значимости. Подчеркнуты отрицательные значения.

**Коэффициенты линейных трендов средней месячной скорости ветра (м/с / 10 лет),
станция «Академик Вернадский»**

Table 4

Coefficients of linear trends of the monthly mean speed, hPa/10 y., Akademik Vernadsky station

Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1957-2007	0.38	0.39	0.25	0.29	0.37	0.23	0.35	0.55	0.09	0.16	0.11	0.35
1957-1986	0.09	0.04	<u>-0.06</u>	0.40	0.13	0.39	0.36	0.80	0.03	<u>-0.02</u>	<u>-0.19</u>	0.32
1987-2008	0.48	0.42	0.36	0.79	0.90	0.17	0.42	0.64	0.21	0.64	<u>-0.24</u>	0.50

Примечание. Выделены значения, статистически значимые на 95%-ом уровне значимости. Подчеркнуты отрицательные значения.

Результаты корреляционного анализа индекса ЮКМ и индекса Эль-Ниньо 1-2 восточной части Тихого океана по отдельным месяцам показали существование статистически значимой связи и летние месяцы (декабрь – февраль), то есть в течение сезона, когда развивается фаза Эль-Ниньо (рис. 5). Это дает возможность прогнозировать индекс ПКМ заблаговременностью месяц-сезон.

Полученные данные свидетельствуют о наличии неоднородности в рядах скорости ветра на станции «Академик Вернадский» преимущественно в летние месяцы, которая совпадает с годом введения в действие автоматизированной системы измерений. Результаты корреляционного анализа показали существование статистически значимой связи объективных индексов циркуляции со значениями скорости ветра. Результаты свидетельствуют о том, что выявленная статистическая неоднородность отмечается на фоне естественной (климатической) изменчивости.

4. Ветровой режим 2016 г.

Наиболее спокойными в годовом ходе скорости ветра в 2016 году были летние месяцы (ноябрь-февраль), в течение которых средняя скорость ветра не превышала 4 м/с (рис.6). Годовой максимум скорости ветра наблюдался в сентябре, в этом же месяце зарегистрировано меньше всего штилей.

Согласно годовому распределению скорости ветра, наибольшая доля штилей (более 30%) приходится на месяцы теплого периода (ноябрь февраль), а также май (рис.7). Напомним, за штиль принимается скорость ветра менее 0.5 м/с.

Декабрь 2016 характеризовался наиболее спокойной погодой по ветровому режиму за весь год. Здесь наблюдалась наибольшее количество сроков со штилем (67,3% всех случаев за месяц), доминировали ветры до 2-5 м/с (17,8% всех случаев за месяц) и 1 м/с (12,1% всех случаев за месяц). Также можно отдельно отметить май месяц, который по распределению скорости ветра был подобен летним месяцам, со значительной долей штилей (36,7% всех случаев за месяц), большим процентом ветров до 5 м/с (52,4% всех случаев за месяц), отсутствием четко доминирующего направления ветра и отсутствием сильного ветра более 10 м/с.

Если проанализировать розы ветров с учетом скорости ветра, то отметим общую отличие теплого и холодного периодов, в течение которых наблюдались разные доминирующие направления ветров (рис. 8).

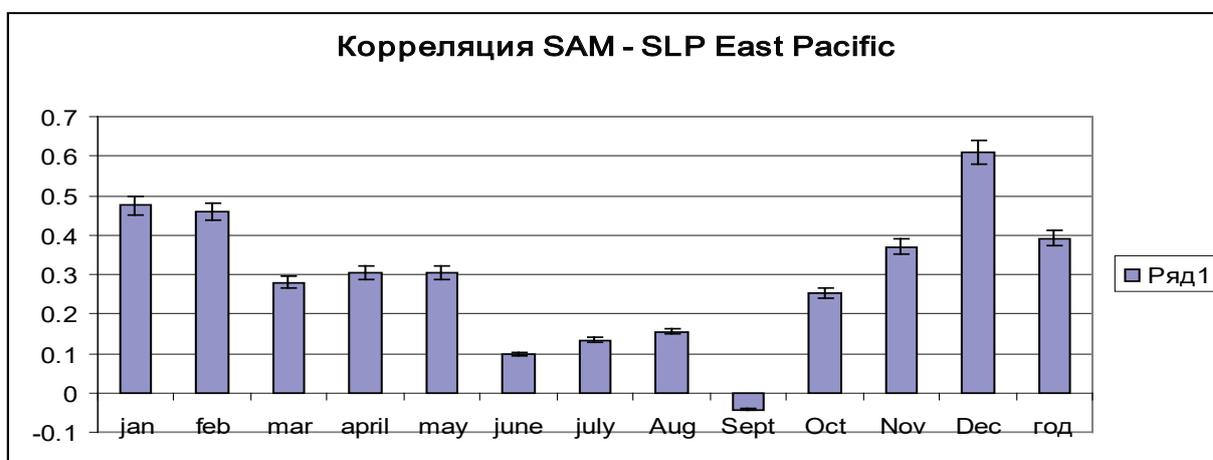


Рис. 5. Коэффициенты корреляции между месячными аномалиями индексов Южной кольцевой моды и индексом Эль-Ниньо восточной части Тихого океана, 1957-2015 гг.

Fig. 5. Correlation coefficients between the monthly anomalies of the Southern Annular Mode indices and the El Niño index of the Eastern Pacific, 1957-2015.

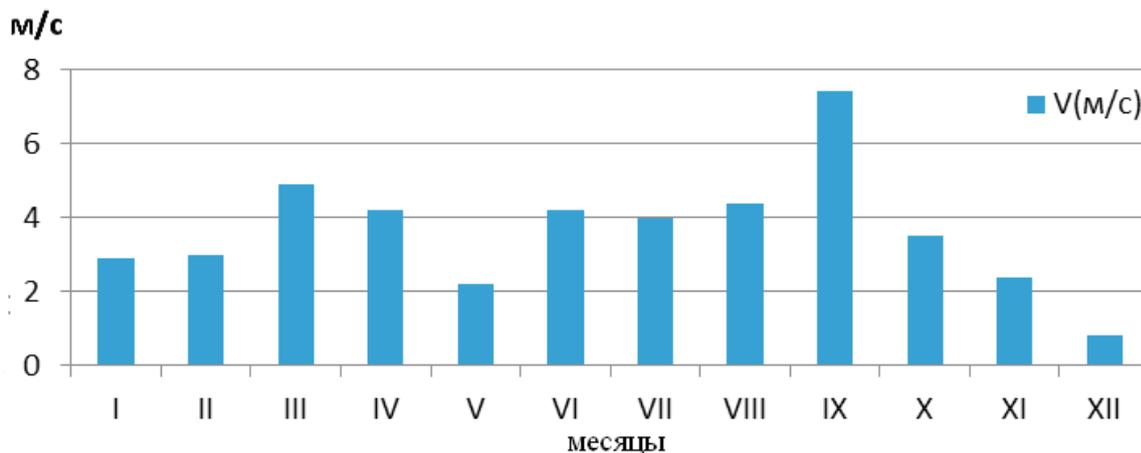


Рис. 6. Средняя месячная скорость ветра, м/с, 2016 г.

Fig. 6. Monthly mean wind speed, m/s, 2016.

В январе и феврале наблюдалось преобладание ветров до 5 м/с (46% всех случаев за месяц) без явно доминирующего направления, в градациях ветров более 5 м/с почти во всех случаях четко прослеживалась северная и северо-восточная составляющая.

В переходные сезоны по сравнению с летними месяцами года наблюдалась увеличенная доля ветров более 5 м/с. Например, до 37,9% в марте и апреле. В апреле и июле можно выделить более четкое разграничение в розе ветров: доминирование южных направлений, в градациях скорости ветра до 5 м/с и преобладание северных и северо-восточных ветров в градациях от 9 м/с и более. Несмотря на то, что максимальный порыв скорости ветра за период проведения 21 Украинской антарктической экспедиции был зафиксирован 23 июня и составил 37,3 м/с, именно сентябрь характеризовался высокими скоростями ветра. Максимальная скорость ветра здесь превышала значение 20 м/с в течение 15 дней. Соответственно, сентябрь характеризовался наибольшей средней месячной скоростью ветра и наименьшим количеством штилевых случаев в 2016 – 12,9%. В летней розе ветров доминировали северный (30,8%) и северо-восточный (23,8%) румбы, причем общая доля ветров более 6 м/с составила 60,4%.

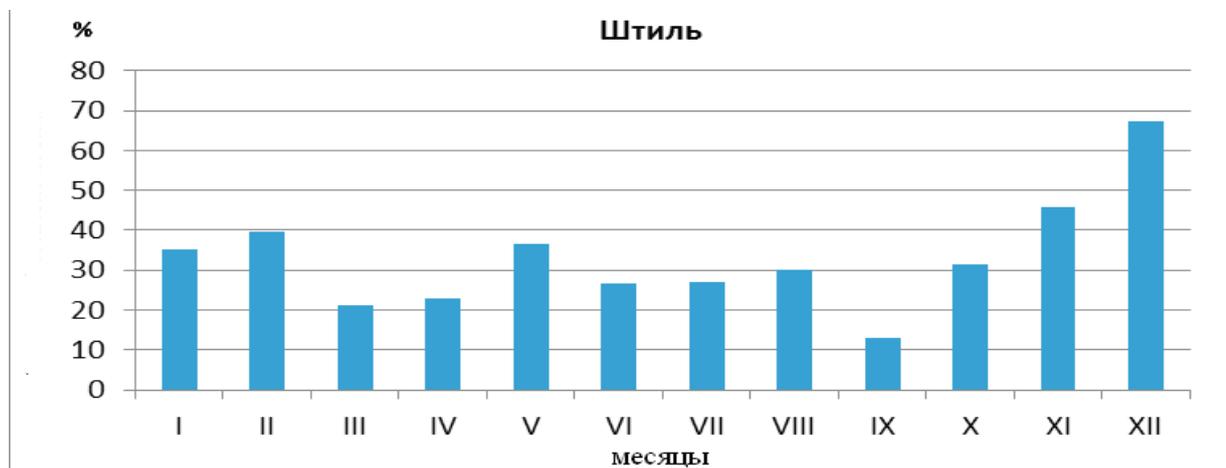


Рис. 7. Доля синоптических сроков со штилем (%) за 2016 г. от общего количества сроков.

Fig. 7. Percentage of synoptic terms with calm (%) of the total number of terms, 2016.

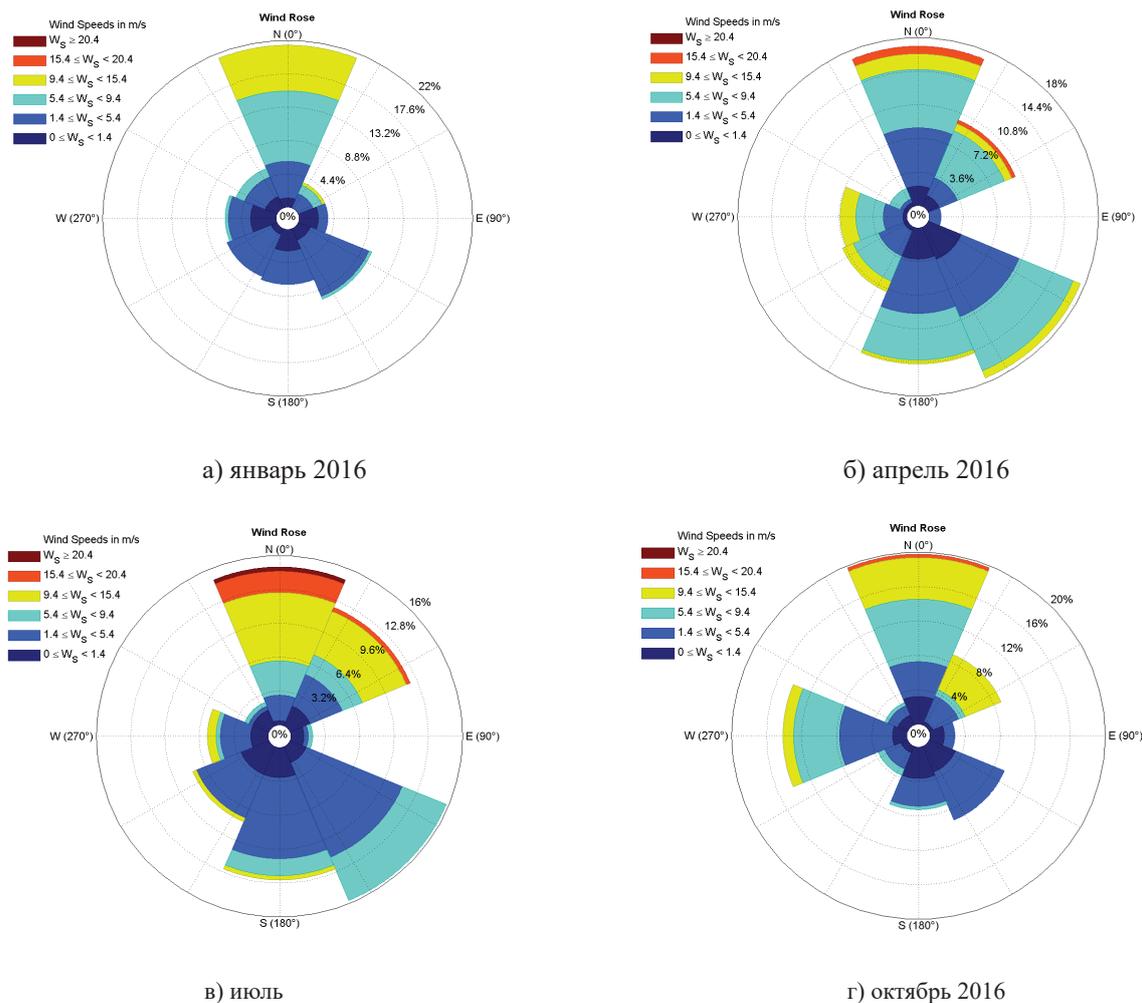


Рис. 8. Силовые диаграммы скорости и направления ветра за отдельные месяцы 2016 г.

Fig.8. Wind power roses, some month, 2016.

Большинство случаев сильного ветра были связаны с прохождением фронтальных разделов на фоне активной циклонической деятельности. Преобладание южных направлений ветра в зимние месяцы объясняется большим влиянием антарктической воздушной массы и усиленной адвекцией холода в тыловых частях циклонов. В годовом распределении направления ветра доминирующими являются ветры южных румбов, но им отвечают преимущественно скорости менее 5 м/с. В то же время, умеренные и сильные ветры связаны с ветрами северных направлений.

5. Дискуссия

В современных условиях изменения климата режим приземного ветра также меняется (Репина и др., 2009). Наиболее интенсивное потепление в Южном полушарии отмечено во второй половине XX столетия в секторе Западной Антарктики, в частности в районе моря Росса и на станциях Антарктического полуострова, в том числе на станции «Академик Вернадский» (Мартазинова и др., 2010). После второй фазы потепления в XX веке происходит стабилизация дальнейшего потепления, что характерно для различных районов планеты: Аляски, Антарктического полуострова, в северной и центральной Сибири, Европе (Hinzman et al., 2005, Данилов и др., 2000).

Это, очевидно, свидетельствует о единой направленности климатических процессов на планете. Многообразие последствий потепления обнаружены повсеместно. В умеренных широтах оно выражается возросшей частотой аномальных явлений в режиме погоды, включая значительные осадки и паводочные явления в Европе в 2002, 2008-2012 гг., волны тепла в 2001, 2003, 2010 гг., резкие зимние похолодания в восточной Европе 2006, 2010 и 2012 гг. и, конечно, практически ежегодные отколы краевых частей ледников Антарктиды и Гренландии.

Глобальное потепление приводит к сглаживанию пространственно-временного распределения климатического температурного поля планеты. Поэтому эффект потепления усиливается в умеренных и полярных широтах по сравнению с глобальным (приблизительно в 2-3 раза), а амплитуда сезонного хода во внетропических широтах также снижается. А это означает, например, что в широтной зоне, в которой расположен Киев (Северное полушарие) или станция «Академик Вернадский» (Южное полушарие), потепление усили-

вается на 20-40% по сравнению с глобальным и, кроме того, потепление в зимний сезон должно проявляться более резко, чем в летний.

Изменение ветрового режима происходит по-разному в различных районах планеты – если в умеренных широтах Северного полушария отмечается ослабление преобладающих ветров, то в Антарктике, наоборот, скорость зонального потока усиливается. Это связано с углублением циклонов в ЮПО, а также с усилением температурного контраста с экваториальной зоной Эль-Ниньо. Скорость западных ветров увеличивается во всей тропосфере и нижней стратосфере, что отражает усиление интенсивности циркумполярного вихря, на фоне чего формируются озоновые дыры над Антарктикой (Wenju et al., 2007).

Режим приземного ветра на западном побережье Антарктического полуострова не отличается очень сильными скоростями подобно тем, что фиксируются в континентальной части Антарктиды при стоковых ветрах. В большинстве месяцев средняя скорость ветра не превышает 6 м/с, а доля штелей достигает 60%, при этом режим ветра более спокойный в теплое полугодие. Согласно ежегодным отчетам, максимум скорости ветра 40,1 м/с (78 узлов) был зафиксирован в 1991 и 2015 гг. Наиболее вероятной синоптической ситуацией, на фоне которой возникает сильный ветер, является прохождение фронтальных разделов в передней части циклона, перемещающихся зачастую в зоне сильных градиентов в системе циклона или в зоне взаимодействия с областью повышенного давления. Наиболее редкий класс процессов, приводящих к усилению скорости ветра, связан с тем, что Антарктический полуостров находится в тыловой части глубокого циклона над морем Уэдделла, при этом ветер усиливается как за счет повышенных градиентов давления, так и за счет переваливания воздушных масс через горную систему. В отличие от вышерассмотренных ситуаций, скорость ветра имеет выраженный порывистый характер.

Если для района станции «Академик Вернадский» преобладающие направления приземного потока – вдоль береговой линии Антарктического полуострова, то для станций в районе пролива Брансфилд отмечается наибольшая повторяемость и продолжительность восточных и северо-восточных ветров. На станциях, расположенных к востоку от пролива Брансфилд, преобладают ветры западных направлений. Так, на станции Сигни (Ю. Оркнейские острова) их повторяемость достигает 35-40% в отдельные месяцы, однако в декабре-январе восточные ветры имеют большую повторяемость (25-28%).

Вместе с этим многолетнее усиление скорости ветра согласуется с общим увеличением интенсивности зонального потока. Отметим, что скорость ветра в Северном полушарии ослабляется во многих районах умеренных широт, поскольку за счет потепления во внетропических районах зональный градиент давления уменьшается. Таким образом, в Южном полушарии наблюдается другая картина, и причина понижения давления в пределах пояса циклонов до конца не выяснена.

Обнаруженные статистические и климатологические причины неоднородности в рядах приземной скорости ветра необходимо учитывать при проведении климатологического анализа, путем сопоставления данных о ветре с индексами циркуляции.

Дальнейшие исследования необходимо проводить как в плане сравнения данных двух измерительных систем на станции «Академик Вернадский», так и в климатическом плане, связывая изменение зональной циркуляции, характеристик приземного ветра с колебаниями температуры воздуха, морского льда, общего содержания озона, особенно во время антарктической озоновой дыры.

6. Выводы

В многолетнем ряде скорости приземного ветра на двух станциях западного побережья Антарктического п-ова найдена статистическая неоднородность, которая связана как с заменой приборов, так и с изменением климата в регионе. Подобную неоднородность необходимо учитывать при проведении климатологического анализа.

По данным станций западного побережья Антарктического полуострова обнаружено усиление скорости приземного ветра, связанное с общим усилением зонального потока в Южной полярной области в период глобального потепления. На примере отдельного 2016 г. показан сезонный ход характеристик ветра, в частности преобладание ветра северных румбов в летний сезон, и преобладание южных направлений ветра в зимние месяцы, что объясняется влиянием антарктической воздушной массы зимой.

Высокая корреляция индексов зонального переноса с индексом Эль-Ниньо-Южное колебание отражает обусловленность климата региона от этого явления, и может служить основой для долгосрочного прогноза погодных условий.

Повышение температуры воздуха и усиление скорости приземного ветра является единым проявлением изменения климата в регионе исследования, которое отражает изменения в атмосферной циркуляции, прежде всего – усиление зонального потока и циклогенеза в Антарктике.

7. Литература

1. *Атлас Антарктики*. Л., Гидрометеиздат, 1969, Т.2, 600 с.
2. Говоруха Л. С., Тимофеев В. Е., Гордейчук О. П. К микро- и мезоклиматологии района украинской антарктической станции. *Межвед. научн. сборник «Метеорология, гидрология и климатология»*, Одесса, 2000, Вып. 41, С. 21–25
3. Груза Г. В., Ранькова Э.Я. Климатическая изменчивость повторяемости и продолжительности основных форм циркуляции в умеренных широтах Северного полушария. *Метеорология и гидрология*. 1996., № 1, С. 12–22.
4. Данилов А. И., Клепиков А.В., Радионов В.Ф. Мониторинг современных климатических изменений в Антарктике. *Проблемы Арктики и Антарктики*. Л. 2000, № 72, С. 174–196.

5. Дзердзеевский Б. Л. *Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии*. – М., 1981, изд. Ин-та географии АН СССР, 176 с.
6. Мартазинова В. Ф., Тимофеев В.Е., Иванова Е.К.. *Атмосферная циркуляция южной полярной области и климат Антарктического полуострова*. К.: Аверс, 2010, 92 с.
7. Репина И. А. Режим ветра над ледниковыми склонами (по данным измерений на архипелаге Шпицберген). *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. И.А. Репина, Б.В. Иванов, М. 2009, В.2. С.180–188.
8. Тимофеев В. Е., Гордиенко С.И. Местные циркуляции в районе украинской антарктической станции. Киев. *Бюлл. УАЦ*, 1996, № 1, С. 66–67.
9. Begert, M., Zenkussen, E., Haeberli, C., Appenzeller C. and Klok, L. 2008. An automated homogenization procedure; performance assessment and application to a large European climate dataset. *Meteor. Z.*, 17(5), 663-672.
10. Field, C. B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D. , Dokken, D. J., Ebi, K. L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G. K., Allen, S. K., Tignor, M., and Midgley, P. M. (eds). 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA*, 582.
11. Franzke, C. 2013. Significant reduction of cold temperature extremes at Faraday/Vernadsky station in the Antarctic Peninsula. *Int. J. Climatol.*, 2013, 33, 1070 – 1078.
12. Gillett, N. P., Kell, T. D., Jones, P. D. 2002. Regional climate impacts of the Southern Annular Mode. *Geoph. Res. Letters*, vol. 33, L23704, DOI: 10.1029/2006GL027721
13. Hall, A., Visbeck, M. 2002. Synchronous variability in the Southern Hemisphere atmosphere, sea ice, and ocean resulting from the annular mode. *J. Climate*, 15, 3043–3057.
14. Hinzman, L., Bettez, N., Bolton, W. R. et al. Evidence and implications of recent climate change in Northern Alaska and other Arctic regions. *Climatic Change*, 2005, 72, 251–298.
15. Julie, M. Arblaster, G. A. Meehl. 2006. Contributions of External Forcings o Southern Annular Mode Trends. *Journal of Climate*, 19, 12, 2896–2905.
16. Klok, E. J. and A. M. G. Klein Tank, 2009. Updated and extended European dataset of daily climate observations. *Int. J. Climatol.*, 29, 1182, DOI:10.1002/joc.1779.
17. Marshall, G. J, Battista, S., Naik S. S., Thamban, M.. 2011. Analysis of a regional change in the sign of the SAM–temperature relationship in Antarctica. *Climate Dynamics*, 36, 277–287.
18. *Meteorology of Falkland Islands and Dependencies*. London, 1954, 250.
19. Morozova, A.L., Valente, M. A., 2012. Homogenization of Portuguese long-term temperature data series: Lisbon, Coimbra and Porto, *Earth Syst. Sci. Data*, 4, 187–213, DOI:10.5194/essd-4-187-2012.
20. Project team ECA&D, Royal Netherlands Meteorological Institute KNMI September 16, 2013 *Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)* Project number: EPJ029135.
21. Steffensen, P., F.L. Larsen, J. Cappelen. 1993. Homogeneity Test of Climatological Data. *DMI Technical Report*, 93–12.
22. Turner, J. 2004. The El-Niño and Antarctica. *Int. J. of Climatol.*, 24, 1–32.
23. Turner, J., Colwell, S., Marshall, G., Lachlan-Cope, T., Carleton, A., Jones, P., Lagun, V., Reid F., Iagovkina S. 2005. Antarctic climate change during the last 50 years. *Int. Journal of Climatology*, 25, 279–294
24. Turner, J., Marshall, G.J, Lachlan-Cope, T. 1998. Analysis of synoptic-scale low pressure systems within the Antarctic Peninsula sector of the circumpolar trough. *Int. J. Climatol.*, 18, .253-280.
25. Tymofeyev, V. 2009. On the role of tropospheric circulation in the recent climate change in the Antarctic Peninsula Region. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series* (Poland), 1, 63–75.
26. Van den Besselaar, E.J.M., A.M.G. Klein Tank, G. van der Schrier. 2010. Influence of circulation types on temperature extremes in Europe. *Theor. Appl. Climatol.*, 99, 431-439.
27. Van Lipzig, N. P. M., King, J. C., Lachlan – Cope, T. A. 2004. Precipitation, sublimation, and snow drift in the Antarctic Peninsula region from a regional atmospheric model. *J. of Geoph. Res.* 2004, 109, D24106–D24112.
28. Wenju Cai, Tim Cowan. 2007. Trends in Southern Hemisphere Circulation in IPCC AR4 Models over 1950-99: Ozone Depletion versus Greenhouse Forcing *Journal of Climate*. *J. Climate*, 20, 4, 681-693.

8. References

1. *Atlas Antarktyky* [Atlas of Antarctica]. L., Hydrometeoyzdat, 1969, 2, 600.
2. Hovorukha, L. S. 1997. Kratkaiia heohrafycheskaia y hliatsyolohycheskaia kharakterystyka arkhypelaha Arhenskye ostrova [Short geographical and glaciological characteristic of Archipelago Argentine Island]. *Biulleten Ukraynskoho antarktycheskoho tsentra*. [Bulletin of NASC]. K. 1997, 1, 17–19.
3. Hruza, H. V. 1996. Klymatycheskaia yzmenchyvost povtoriaemosty y prodolzhytelnosty osnovnykh form tsyrkuliatsyy v umerennykh shyrotakh Severnoho polusharyia [Climatic variability of the frequency and duration of the main forms of circulation in the moderate latitudes of the Northern Hemisphere]. *Meteorolohyia y hydrolohyia* [Meteorology and hydrology]. 1996, 1, 12–22.
4. Danylov, A. Y., Klepykov, A. V. 1970. Radyonov, V.F. 2000. Monitorynh sovremennykh klymatycheskykh yzmenenyi v Antarktyke [Monitoring of modern climate change in Antarctica]. *Problemi Arktyky i Antarktyky*, 72, 174– 196.
5. Dzerdzeevskiy, B. L. 1981. *Tsyrukuliatsyonnye mekhanizmy v atmosfere severnoho polusharyia v 20 stoletyy* [Circulation mechanisms in the atmosphere of the northern hemisphere in the XX century]. М., yzd. In-ta geografyy AN SSSR, 176.
6. Martazynova, V.F., Tymofeev, V.E, Yvanova. E.K., 2010. *Atmosferaia tsyrkuliatsyia yuzhnoi poliarnoi oblasti y klymat Antarktycheskoho poluostrova* [Atmospheric circulation of Antarctica and climate of Antarctic Peninsula]. K.: Avers, 2010, 92.

7. Repyna, Y.A., Yvanov, B.V., Kuznetsov, R.D. 2009. Rezhym vetra nad lednykovsmy sklonamy (po dannsm yzmerenyi na arkhypelahe Shpytsberhen) [The regime of wind over the glacial slopes (according to measurements in the Spitsbergen archipelago)]. *Sovremennye problem dystantsyonnoho zondirovaniya Zemly yz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. 2, 180-188.
8. Tymofeev, V.E, Gordyenko, S.I., 1996. Mestnie tsyrkuliatsyy v raione ukraynskoi antarktycheskoi stantsyy [Local circulation of the Ukrainian Antarctic station region]. *Biulleten Ukraynskoho antarktycheskoho tsentra*. [Bulletin of NASC]. Kyiv. 1, 66–67.
9. Begert, M., E. Zenkussen, C. Haerberli, C. Appenzeller and L. Klok. 2008. An Automated Homogenization Procedure; Performance Assessment and Application to a Large European Climate Dataset. *Meteor. Z.*, 17(5), 663-672.
10. Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G. K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor, and P. M. Midgley (eds). 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA.* 582.
11. Franzke, C. 2013. Significant Reduction of Cold Temperature Extremes at Faraday/Vernadsky Station in the Antarctic Peninsula. *Int. J. Climatol.*, 33, 1070 – 1078.
12. Gillett, N. P., Kell, T. D., Jones, P. D. 2002. Regional Climate Impacts of the Southern Annular Mode. *Geoph. Res. Letters*, 33, L23704, DOI: 10.1029/2006GL027721.
13. Hall, A., Visbeck, M. 2002. Synchronous Variability in the Southern Hemisphere Atmosphere, Sea Ice, and Ocean Resulting from the Annular Mode. *J. Climate*, 15, 3043–3057.
14. Hinzman, L., Bettez, N., Bolton, W. R. et al. 2005. Evidence and Implications of Recent Climate Change in Northern Alaska and Other Arctic regions. *Climatic Change*, 72, 251–298.
15. Julie M. Arblaster, G. A. Meehl. 2006. Contributions of External Forcings of Southern Annular Mode Trends. *Journal of Climate*, 19, 12, 2896–2905.
16. Klok, E. J., A. M. G. Klein Tank, 2009. Updated and Extended European Dataset of Daily Climate Observations. *Int. J. Climatol.*, 29, 1182, DOI:10.1002/joc.1779.
17. Marshall, G. J, Battista S., Naik S. S., Thamban, M. 2011. Analysis of a Regional Change in the Sign of the SAM – Temperature Relationship in Antarctica. *Climate Dynamics*, 36, 277–287.
18. *Meteorology of Falkland Islands and Dependencies*. London, 1954. 250.
19. Morozova, A.L., Valente, M. A., 2012. Homogenization of Portuguese Long-term Temperature Data Series: Lisbon, Coimbra and Porto, *Earth Syst. Sci. Data*, 4, 187–213, DOI:10.5194/essd-4-187-2012.
20. Project team ECA&D, Royal Netherlands Meteorological Institute KNMI September 16, 2013. *Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)* Project number: EPJ029135.
21. Steffensen, P., F.L. Larsen, J. Cappelen, 1993. Homogeneity Test of Climatological Data. *DMI Technical Report*. 93-12.
22. Turner, J. 2004. The El–Nino and Antarctica. *Int. J. of Climatol.*, 24, 1–32.
23. Turner, J., Colwell S., Marshall G., Lachlan-Cope T., Carleton A., Jones P., Lagun V., Reid F., Iagovkina S. 2005. Antarctic Climate Change During the Last 50 years. *Int. Journal of Climatology*, 25, 279–294.
24. Turner, J., Marshall G.J, Lachlan-Cope T. 1998. Analysis of Synoptic-scale Low Pressure Systems Within the Antarctic Peninsula Sector of the Circumpolar Trough. *Int. J. Climatol.*, 18, 253-280.
25. Tymofeyev, V. 2009. On the Role of Tropospheric Circulation in the Recent Climate Change in the Antarctic Peninsula Region. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series (Poland)*, 1, 63–75.
26. Van den Besselaar, E.J.M., A.M.G. Klein Tank, G. van der Schrier, 2010. Influence of Circulation Types on Temperature Extremes in Europe. *Theor. Appl. Climatol.*, 99, 431-439.
27. Van Lipzig, N. P. M., King, J. C., Lachlan – Cope T. A. 2004. Precipitation, Sublimation, and Snow Drift in the Antarctic Peninsula Region from a Regional Atmospheric Model. *J. of Geoph. Res.* 2004, 109, D24106–D24112.
28. Wenju Cai, Tim Cowan. 2007. Trends in Southern Hemisphere Circulation in IPCC AR4 Models over 1950-99: Ozone Depletion versus Greenhouse Forcing Journal of Climate. *J. Climate*, 20, 4, 681-693.