

УДК 551.510

## СОВРЕМЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ КЛИМАТ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА И СТАНЦИИ АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ

**В.Ф. Мартазинова, В.Е. Тимофеев, Е.К. Иванова**

*Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт, 03028, г. Киев, проспект Науки, 37, e-mail: nigmi2@yandex.ru*

**Реферат.** В данной статье представлено современное состояние климатического режима района Антарктического полуострова. По данным многолетнего изменения температуры воздуха дана характеристика регионального потепления и изучены причины формирования погодных аномалий как на Украинской антарктической станции Академик Вернадский, так и на других станциях региона с длительным рядом наблюдений. Рассмотрен также режим атмосферных осадков и приземного ветра на станции Академик Вернадский.

**Реферат.** У статті визначено сучасний стан кліматичного режиму району Антарктичного півострова. За даними багаторічної зміни температури повітря дано характеристику регіонального потепління і вивчено причини формування погодних аномалій на Українській антарктичній станції Академік Вернадський, а також на інших довгорядних станціях регіону. Представлено також режим атмосферних опадів і приземного вітру на станції Академік Вернадський.

**Abstract.** This article presents the current state of the climate regime of the Antarctic Peninsula region. Characteristic of regional warming and reasons for the formation of extreme weather events are studied by means of long-term changes in near-surface air temperature on the Ukrainian Antarctic Vernadsky station, as well as other stations with long-term uninterrupted series. Regime of precipitation and surface wind at Vernadsky station is also studied.

**Key words:** climate regime, temperature, precipitation, wind, snow

### 1. Введение

Климат многих районов планеты претерпевает значительные изменения в течение последних десятилетий под влиянием глобального потепления. В последние десятилетия и в Антарктике происходят изменения, так же как и в Центральной Сибири, Центральной и Восточной Европе. Согласно выводам многих исследований, современное глобальное потепление охватило в первую очередь полярные и внетропические районы обоих полушарий (Будько М.И., 1993, Алексеев, 2003, Мартазинова и др., 2009, Marshall et al., 1998, Turner et al., 2005).

Тенденции климата полярных областей всегда были под пристальным вниманием исследователей в связи с важностью последних как «холодильников» в формировании глобальной климатической системы. Изменения, происходящие в последние десятилетия в Арктике и Антарктике, вполне могут быть сопоставимы с эффектом известного «полярного

усиления», выразившимся в существенном повышении температуры воздуха и отступлении морских льдов в начале XX века. Современное потепление (второе в пределах последнего столетия) в этих районах с минимальной антропогенной нагрузкой позволяет выделить природу климатических изменений с оценкой вклада антропогенного фактора, как сделано, например, для Арктики (Алексеев, 2003).

Изучение изменений, происходящих вследствие потепления в режиме оледенения и состоянии окружающей среды полярных районов, является центральной проблемой, изучаемой во время проведения третьего по счету Международного полярного года (2007-2008 гг.).

Повышение глобальной температуры отмечалось в течение XX века и продолжается до настоящего времени. Четкое проявление начала глобального потепления в планетарном масштабе наблюдалось с начала XX столетия. В вековом ходе аномалии глобальной температуры XX столетия мы выделяем три периода, которые также хорошо заметны в Северном и Южном полушариях (рис. 1).

Первый период потепления отмечается с начала XX столетия к концу 1930-х годов и характеризуется значительным повышением температуры в полярных областях, второй период потепления отмечается с конца 1970-х гг. до настоящего времени и охватывает как полярные, так и умеренные широты, причем большинство аномалий средних и экстремальных значений температуры воздуха превзошли те, что были отмечены во время первого периода потепления. Между этими периодами существует почти 30-летний (с 1940-х гг. по 1970-е гг.) период стабилизации глобальной температуры, когда отмечается относительная стабильность глобальной температуры воздуха и ее значения соответствуют температуре конца 1930-х гг. Второй период потепления в Южном полушарии начался несколько раньше, чем в Северном (с начала 1970-х гг.). Выделенные периоды глобального потепления позволяют рассматривать, анализировать и сравнивать глобальное потепление, а также потепление на полушариях относительно каждого периода. Оценки современного периода потепления в глобальном и региональном масштабах представлены в недавнем отчете Межправительственной группы по

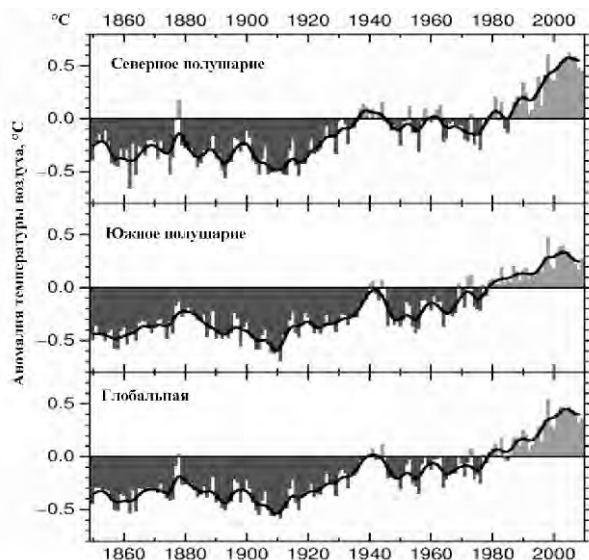


Рис. 1. Вековой ход аномалии температуры воздуха 1850-2009 гг., данные университета Восточной Англии ([www.cru.uea.ac.uk](http://www.cru.uea.ac.uk)).

изменению климата (Trenberth et al., 2007).

Кроме этого, изменение температуры воздуха в различных районах планеты происходит согласованно во времени: в частности, второй период потепления проявился наиболее выразительно на Аляске, Антарктическом полуострове, в Северной и Центральной Сибири, Европе (Говоруха и др., 1998, Marshall et al., 1998, Груза и др., 2007, Kejna, 1996, Алексеев, 2003, Turner et al., 2005, 2009, van den Broeke, 2000). Это, очевидно, свидетельствует о единой направленности климатических процессов на планете. Наиболее известными последствиями потепления в полярных районах стали таяние вечной мерзлоты и изменение гидрологического цикла на Аляске, сокращение арктического морского льда, изменение структуры североатлантической термохалинной циркуляции, откол северной части шельфового ледника Ларсена в Южной полярной области (ЮПО), деградация малых островных ледников в прибрежной зоне Антарктического полуострова, а также изменения в состоянии экосистем в полярных районах (Vaughan, 1996, Hinzman et al., 2005, Antarctic Ecology, 2007).

Наиболее интенсивное потепление в Южном полушарии отмечено на станциях Антарктического полуострова; причем наличие двух периодов потепления в течение XX века регистрируется по данным станции Оркадас (наиболее длинный ряд наблюдений в Антарктике) (рис. 2, вставка). Значительное повышение температуры воздуха зафиксировано по данным измерений на станциях Академик Вернадский, Беллинсгаузен и другим с середины XX столетия. Важно отметить, что при значительном современном повышении температуры воздуха на Антарктическом полуострове в континентальной и Восточной Антарктиде практически наблюдается изменение температуры в сторону слабого похолодания в отдельные

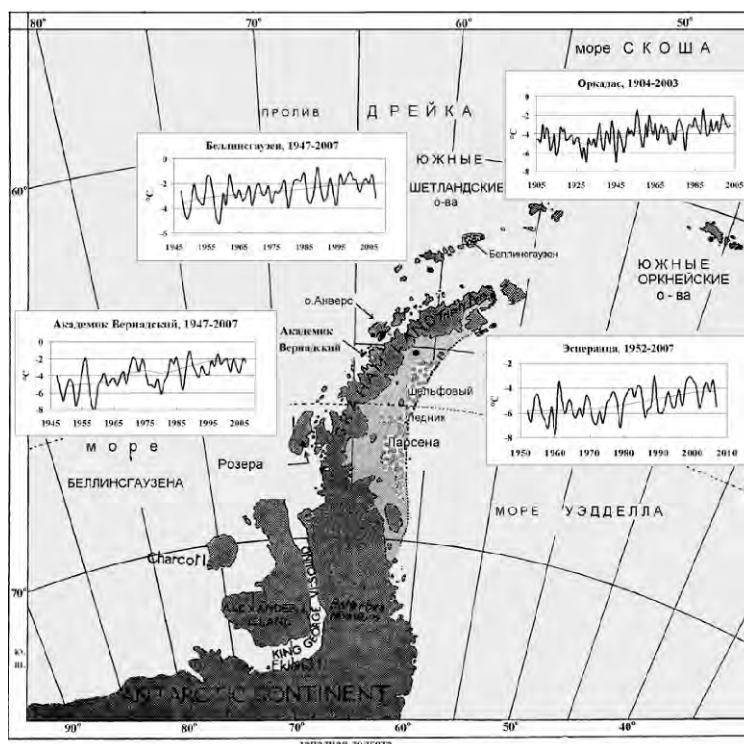


Рис. 2. Антарктический полуостров и многолетнее изменение средней годовой температуры воздуха на отдельных станциях: Оркадас 1904–2007 гг., Академик Вернадский, 1947–2007 гг., Эсперанца 1952–2007 гг., Беллинсгаузен 1947–2007 гг.

месяцы (Turner et al., 2005).

Состояние климата и циркуляция атмосферы этого района привлекали внимание многих исследователей из разных стран, начиная с периода Международного Геофизического года (1957-1959 гг.) и комплексных экспедиций и экспериментов в 1960–1980 гг. (Атлас Антарктики, 1969). С тех пор постоянно уточняется механизм происходящих изменений климата в глобальном и региональном масштабах, включая изменения циркуляции атмосферы и океана. На современном этапе логическим продолжением исследований самого холодного континента явился Международный полярный год 2007-2008, в рамках которого в Украине выполнялся проект N 1151 «Анализ преобразования крупномасштабных атмосферных процессов Южного полушария в результате глобального потепления для разработки физико-статистических методов прогноза погоды на Антарктическом полуострове», научный руководитель д.ф.-м.н., проф. Мартазинова В.Ф. Большая часть материалов, представленных в статье, выполнялась в рамках этого проекта.

Цель данной статьи – выявить характер современного регионального климата и погодных условий по данным станции Академик Вернадский и другим станциям Антарктического полуострова на основе ранее полученного анализа состояния атмосферной циркуляции (Martazinova et al., 2007, Мартазинова и др., 2008, Мартазинова и др., 2009).

## 2. Исходные данные

Антарктический полуостров является наиболее освещенным метеорологической информацией в пределах ЮПО, поскольку там имеется достаточное количество станций с репрезентативным рядом наблюдений. Для исследования использовались данные средней годовой и месячной температуры воздуха на станциях с наиболее длительным рядом измерений: Оркадас (60°45' ю.ш., 44°43' з.д.) за период 1903–2007 гг., Академик Вернадский (65°14' ю.ш., 64°15' з.д.) за период 1951–2009 гг., Беллинсгаузен (62°12' ю.ш., 58°58' з.д.) за период 1968–2009 гг.; Эсперанца (63°24' ю.ш., 56°59' з.д.) за период 1952–2007 гг.; а также за период 1971–2009 гг. Марамбио, 64,2° ю.ш., 56,7° з.д., Розера, 67°34' ю.ш., 68°08' з.д., из базы данных READER (<http://www.antarctica.ac.uk/met/READER/surface/stationpt.html>). Ряд станции Беллинсгаузен дополнен рядом станции Десепши с 1951 г., а станции Академик Вернадский – данными станции Порт Локрой с 1947 г., с соответствующими поправками, как рекомендовано в базе данных READER. Кроме того, использовались данные срочных наблюдений на станции Академик Вернадский, выполненных в рамках метеорологической программы Национального антарктического центра, с 1996 г. и по настоящее время.

## 3. Физико-географические особенности региона

Антарктический полуостров расположен в пределах крупномасштабной циркумполярной циркуляции в атмосфере и океане. В зоне наибольших ветровых градиентов (зоне конвергенции) на крупных островах вдали от горных хребтов расположены станции Беллинсгаузен и Оркадас – наиболее северные из рассматриваемых.

Далее к югу в большей степени проявляется специфическое распределение наземного оледенения и морских льдов, что стало основанием определить Антарктический полуостров как гляциоклиматическую линию раздела (Говоруха, 1996). Украинская антарктическая станция Академик Вернадский (прежняя станция Фарадей, Великобритания) находится у западного побережья Антарктического полуострова (рис. 2) – в зоне преобладающего переноса океанского воздуха. В районе станции Академик Вернадский меридиональная ориентация береговой линии в значительной мере формирует режим воздушных потоков (вдоль побережья). С другой стороны, положение горной системы Антарктического п-ва

(средняя высота плато до 2000 м, высоты отдельных островных вершин до 2800 м) способствует формированию мезомасштабных циркуляций в виде феновых ветров, а охлаждение воздуха над покровным оледенением и его гравитационное опускание приводят к формированию стоковых ветров местного масштаба (Тимофеев и др., 1996). Во многом аналогичные условия характерны и для станции Розера, расположенной в береговой зоне восточного побережья о. Аделаиды (Meteorology, 1954).

Разнообразие орографических условий в данном районе приводит к тому, что данные конкретной станции репрезентативны только для ограниченного района, а это означает, что существуют определенные трудности в сравнении данных даже между рядом расположенными станциями. В наибольшей степени такая ситуация характерна для станций восточного побережья полуострова, где орографический контраст усиливается наличием шельфового ледника Ларсена. У его северо-восточного окончания, на о. Seymour, находится станция Марамбио, а невдалеке – станция Эсперанца, расположенная у северной оконечности Антарктического п-ва, в районе известного оазиса Хоуп-Бей (преобладающие высоты не более 400–600 м).

Важно отметить расположение Земли Грейама в зоне действия озоновой дыры, которая регулярно активизируется на протяжении весеннего сезона (сентябрь–ноябрь). При этом станция Академик Вернадский расположена в краевой зоне дыры, а ее данные измерений используются для оценки дальнейшего распространения озоновой дыры.

Кроме того, на многочисленных архипелагах и островах береговой зоны Антарктического полуострова, включая район станции Академик Вернадский, функционирует большое количество земных и морских экосистем, причем условия их существования в значительной мере зависят от климатического режима (Antarctic Ecology, 2007, Тимофеев и др., 2003).

#### **4. Характер климатических условий Антарктического полуострова по данным инструментальных измерений**

##### **4.1. Изменчивость температуры воздуха на станции Академик Вернадский**

Анализ изменения температуры воздуха в течение рассматриваемого периода показывает не только изменчивость температурного режима от года к году, но и позволяет видеть характер современного режима относительно середины XX столетия. По данным станции Академик Вернадский, рост средней годовой температуры воздуха превысил 2°C (рис. 2, вставка) к концу периода наблюдений 1947–2007 гг. Изменение температуры воздуха на станции Академик Вернадский в центральные месяцы сезонов в течение периода 1947–2007 гг. можно видеть на рис. 3. Наибольший вклад в повышение среднегодовой температуры вносит зимнее потепление – ее рост в июле составил 4,3°C.

Изменение температуры января показывает, что холодные летние сезоны относительно фона температур ближайших лет отмечаются приблизительно каждые 20 лет – например, в 1959, 1977 и 2000 гг. В остальные годы температура воздуха на станции Академик Вернадский преимущественно превышала средние многолетние значения. Таким образом, отсюда можно получить, что температура летом преимущественно в пределах нормы и выше, холодное лето отмечается редко. Преобладание положительной температуры воздуха в течение летних



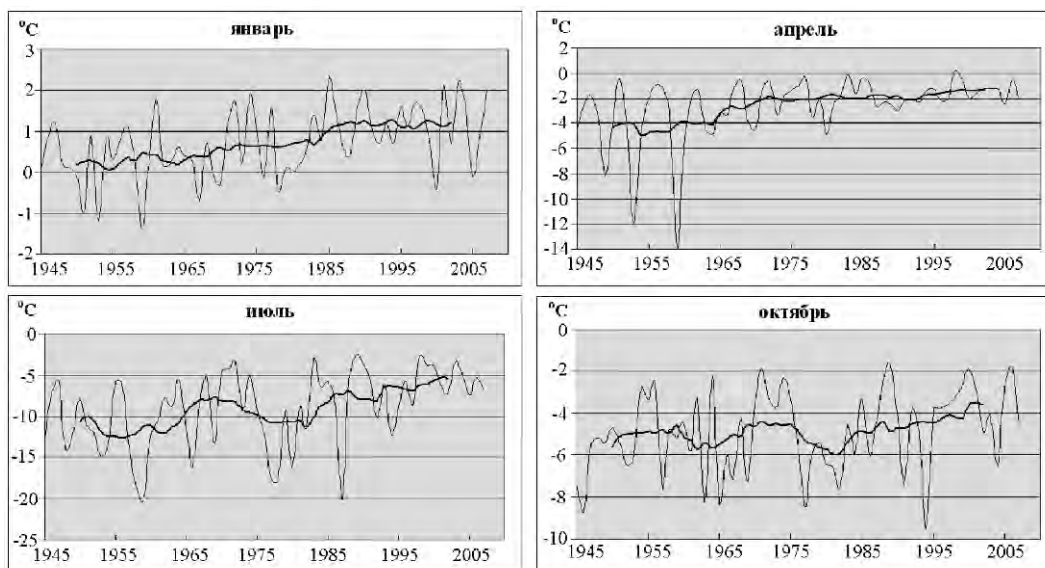


Рис. 3. Многолетнее изменение средней месячной температуры воздуха, центральные месяцы сезонов, станция Академик Вернадский, 1945-2005 гг.

месяцев способствует усилению деградации оледенения.

Осенью (март–май) изменение температурного режима происходит более выразительно. Если до 1960 г. температура воздуха апреля в отдельные годы опускалась до критических отрицательных значений ( $-14^{\circ}\text{C}$ ), то после 1960 г. температурный режим стабилизировался – межгодовая изменчивость значительно снизилась, что практически составило значения температуры, близкие к средним многолетним. Такая малоизменчивая температура воздуха последних десятилетий позволяет прогнозировать осенний температурный режим на станции Академик Вернадский. Надо отметить, что до тех пор, пока будет сохраняться установившаяся осенняя температура, ни о каких изменениях климатического осеннего режима можно не говорить.

Изменчивость температурного режима весны (октябрь) от года к году в течение периода 1947–2007 гг. остается практически мало меняющейся. Количество ранних и поздних весен на протяжении всего периода и последних десятилетий сохраняется одинаковым.

В целом относительно остальных сезонов наибольшая изменчивость температуры от года к году наблюдается зимой. На примере июля наиболее холодные зимы (до  $-20^{\circ}\text{C}$ ) отмечались два раза почти через 30 лет. К началу XXI столетия изменчивость зимних температур уменьшилась, и преимущественно температура воздуха ниже  $-10^{\circ}\text{C}$  не опускается. Таким образом, современные зимы на станции Академик Вернадский стали теплее. Доказательством потепления зимнего сезона может быть распределение средней суточной температуры воздуха в зимние сезоны 1951–1960 и 1991–2000 гг. станции Академик Вернадский (рис. 4). Если в 1951–1960 гг. преобладало несколько градаций, то в 1991–2000 гг. явно преобладает градация 0,  $-5^{\circ}\text{C}$ , причем ее повторяемость (38%) практически в два раза превосходит соответствующее значение в 1951–1960 гг.

В течение современного периода потепления наиболее холодные год и зимний сезон на Антарктическом полуострове относятся к 1987 г. (на станции Академик Вернадский минимальная температура воздуха,  $-39,6^{\circ}\text{C}$ , отмечалась в сентябре), а наиболее теплая зима – в 1998 г., когда на станции Академик Вернадский зафиксировано наиболее высокое ( $-9,8^{\circ}\text{C}$ ) значение минимальной температуры, а средняя температура зимнего (июнь–август) сезона

была  $-2,6^{\circ}\text{C}$ .

Период потепления сопровождается уменьшением амплитуды колебаний температуры воздуха на различных временных масштабах, в основном за счет возрастания их минимальных значений, снижением межгодовой амплитуды температуры воздуха, уменьшением частоты значительных похолоданий (рис. 5). Необходимо отметить, что в отдельные годы температуры воздуха абсолютная максимальная ( $T_{\max}$ ) и абсолютная минимальная ( $T_{\min}$ ) достигают своих

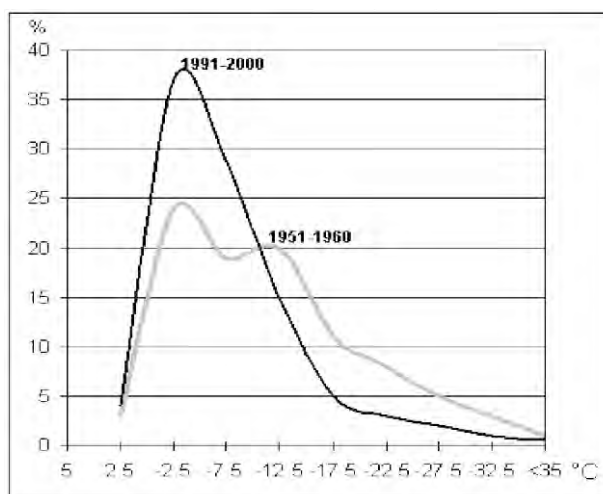


Рис. 4. Распределение средней суточной температуры воздуха по градациям, зимние сезоны 1951–1960 и 1991–2000 гг., станция Академик Вернадский.

критических значений по отношению к значениям всего ряда лет.

Такое отмечалось, например, в 1977 г., когда  $T_{\max} = 7,4^{\circ}\text{C}$  и  $T_{\min} = -40,4^{\circ}\text{C}$ . Как правило, максимальные значения температуры приходятся на первый месяц зимнего сезона, а минимальная температура отмечается в конце сезона. Однако такое распределение температур указывает на то, что температурный режим внутри зимнего сезона должен быть резко-

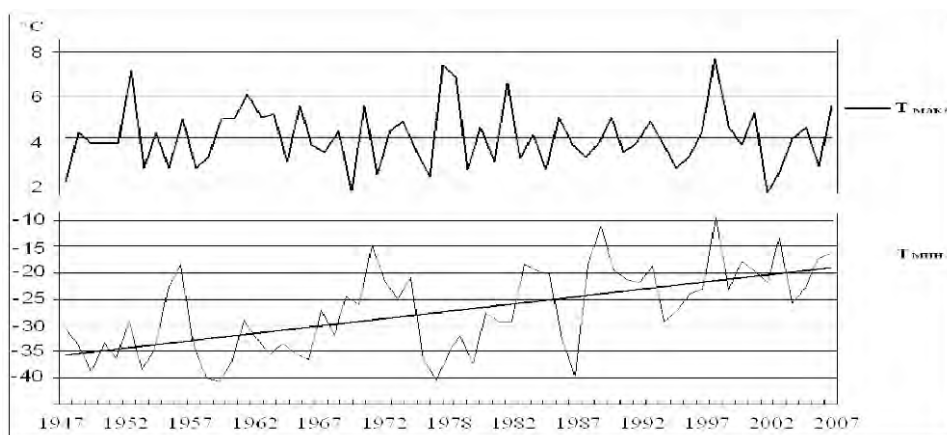


Рис. 5. Многолетнее изменение максимальной и минимальной температур зимнего периода, станция Академик Вернадский, 1947–2007 гг.

неустойчивым и формироваться аномальными атмосферными процессами.

Осенью наиболее существенно уменьшилась межгодовая амплитуда температуры в апреле-мае: с  $6,5^{\circ}\text{C}$  в 1947–1956 гг. до  $2,4^{\circ}\text{C}$  в 1991–2000 гг. В целом по этому показателю апрель и май 1947–1956 гг. можно сравнить с современными зимними месяцами. В ноябре и июле сглаживание более выражено в течение последних 10–15 лет (рис. 3), что также отразилось в снижении величины межсуточной изменчивости температуры воздуха. Она уменьшилась практически вдвое при сравнении зимних периодов 1951–1960 и 1991–2000 гг. ( $5,3^{\circ}\text{C}$  против  $3,1^{\circ}\text{C}$  соответственно).

Анализ температуры воздуха по отдельным срокам измерений (00, 06, 12 и 18 UTC) показал наличие суточного хода. Наиболее выражен он в теплое полугодие, а наименее – в холодное, что в многолетнем плане проявляется в наибольшей разнице между коэффициентами трендов в разные сроки в октябре–феврале (рис. 6), в наименьшей – в марте–сентябре. Это связано с различием в режиме солнечной радиации, а именно с

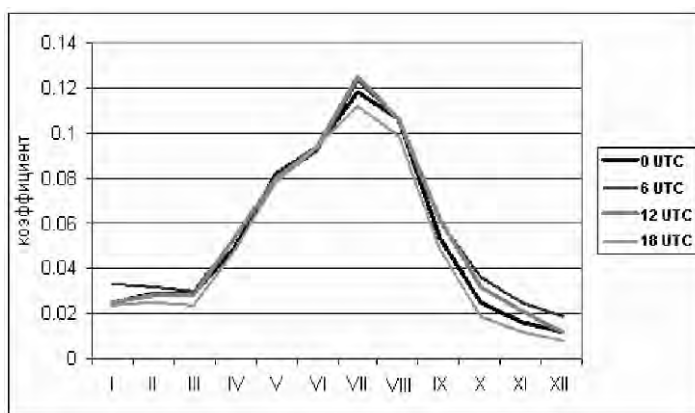


Рис. 6. Коэффициенты линейных трендов многолетнего изменения температуры воздуха в течение года, по срокам наблюдений (00, 06, 12, 18 UTC), станция Академик Вернадский, 1951–2008 гг.

минимумом ее поступления в середине зимы, когда высота солнца минимальна.

С другой стороны, наибольшие величины коэффициентов линейных трендов наблюдаются в июле, с максимумом  $0,125^{\circ}\text{C}/\text{год}$  в срок 12, а наименьшие – в декабре, от  $0,0076$  до  $0,0119^{\circ}\text{C}/\text{год}$ , с максимумом в срок 06 UTC.

К концу периода 1951–2008 гг. происходит уменьшение среднего значения величины суточного хода практически на протяжении всего года (рис. 7). В наибольшей степени это коснулось центрального месяца весны (октября), в котором величина суточного хода снизилась на  $1,2^{\circ}\text{C}$ . Однако, как показано на рис. 7, изменчивость температуры суточного хода от года к году сохраняется. Это может свидетельствовать о том, что контраст суточной температуры уменьшился за счет более устойчивых атмосферных процессов. Таким образом, период современного потепления выразился не только в снижении межгодовой и межсуточной



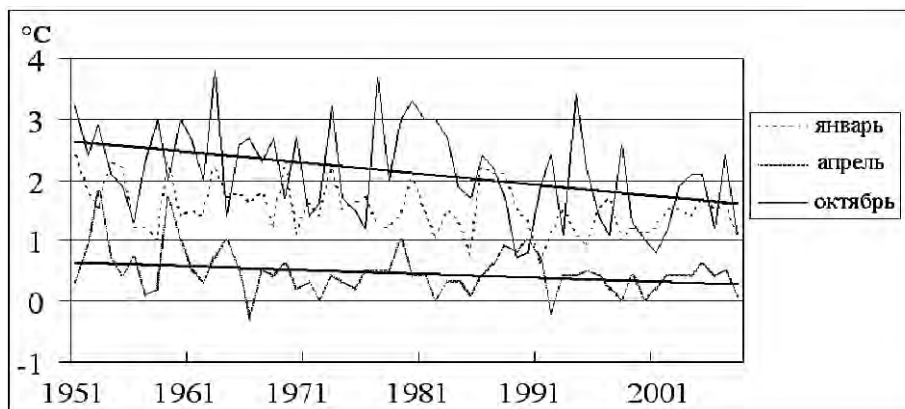


Рис. 7. Многолетнее изменение суточного хода температуры воздуха, станция Академик Вернадский, 1951–2008 гг., январь, апрель, октябрь. Линейные тренды представлены для апреля и октября.

изменчивости температуры воздуха, но и в сглаживании суточного хода.

Такие изменения подобны тем, которые происходят и в других районах, подверженных потеплению. Однако такие изменения не относятся к урбанизированным районам, где изменения объясняются возрастанием ночных температур, в основном за счет разрастания мегаполисов (эффект городского потепления). В районе Антарктического п-ва такой эффект происходит за счет природных факторов, и в первую очередь изменения атмосферной циркуляции. Очевидно, под влиянием более интенсивной циклонической деятельности в условиях современного климата температура воздуха не понижается столь значительно, как это было в антициклонических условиях радиационного выхолаживания в 1951–1960 гг. Кроме этого, большую роль играет изменение свойств подстилающей поверхности – максимальные величины суточного хода в октябре связаны с контрастом между условиями ночного радиационного выхолаживания над снежной поверхностью (ее высота максимальна весной), и дневного прогрева – высота Солнца весной постоянно увеличивается.

#### 4.2. Сравнение температурного режима на станциях Антарктического полуострова

Если рост температуры воздуха на Украинской антарктической станции от десятилетия к десятилетию происходил практически равномерно по сезонам, то на других станциях Антарктического полуострова потепление развивалось менее равномерно, в особенности на станциях Эсперанца и Оркадас, причем к десятилетию 1991–2000 гг. зимний рост температур несколько ослаб, а на станции Эсперанца в 2001–2007 гг. даже отмечено незначительное похолодание (рис. 8).

Таким образом, величины и знаки сезонных трендов в наибольшей степени отличаются между станциями крайнего северо-востока полуострова – станциями Эсперанца, Марамбио и Оркадас, с одной стороны, а также теми, которые расположены близ западного побережья Антарктического полуострова и о. Кинг-Джордж (станции Академик Вернадский, Розера, Беллинсгаузен). Характерной особенностью последнего пятилетия явилось ослабление тенденции температуры к возрастанию (рис. 8).

В результате регионального потепления происходит смещение приземных изотерм к югу и ослабление зональных температурных контрастов. Так, если средняя температура на станция Академик Вернадский на протяжении 1961–1990 и 1996–2005 гг. составляла  $-4,0$  и  $-2,3$  °C, то на наиболее северной станции Беллинсгаузен средняя температура в течение этих же периодов составила  $-2,5$  и  $-1,8$  °C. В результате этого изотерма  $-2$  °C между указанными

периодами переместилась к югу на 2,5 градуса широты.

Таким образом, выявлены существенные различия температурного режима, а также разнообразие знаков и значений сезонных трендов температур между различными станциями исследуемого региона. Для более детального анализа синхронности климатических изменений далее приводятся коэффициенты взаимной корреляции средней месячной температуры воздуха между станциями Антарктического полуострова и Субантарктических островов (рис. 9). (Примечание. Для всех станций, кроме Марамбио, расчеты велись за период

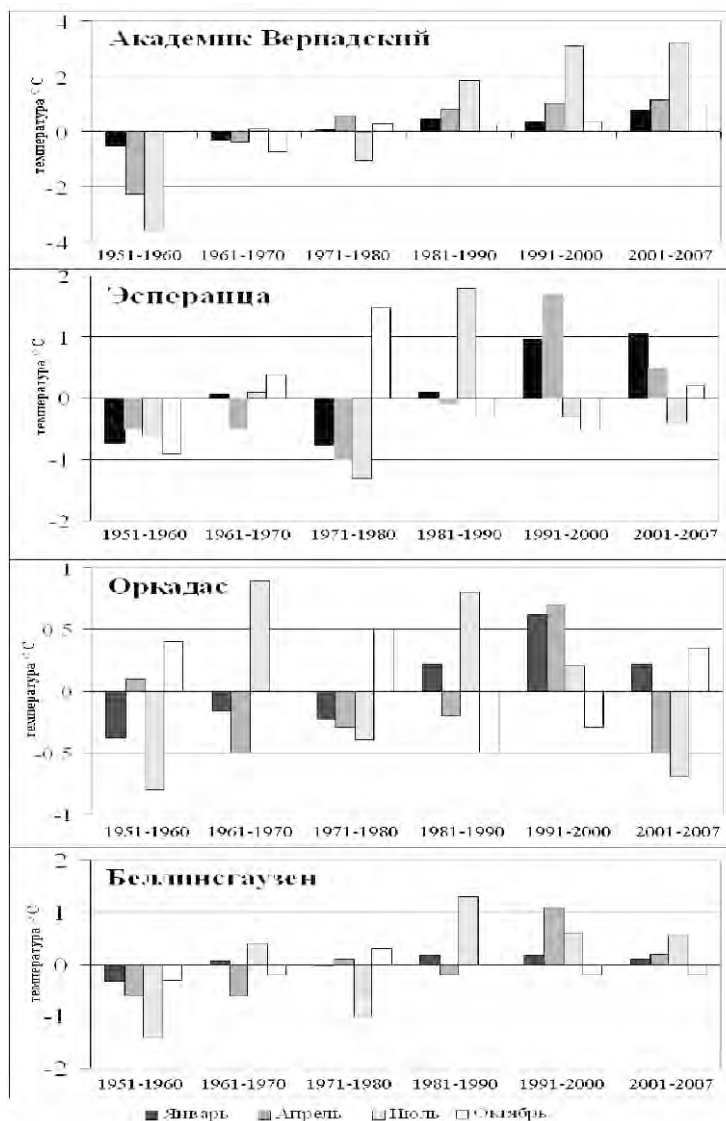


Рис. 8. Аномалии температуры воздуха центральных месяцев сезонов на станциях Антарктического полуострова по отдельным десятилетиям и периоду 2001–2007 гг. по отношению к стандартному климатическому периоду 1961–1990 гг.

1963–2002 гг., для станции Марамбио – с 1971 по 2002 г.)

Наилучшая степень пространственных связей в целом отмечается для зимнего сезона. Температура воздуха на станции Академик Вернадский имеет наилучшую корреляцию в меридиональном направлении, с максимумом корреляции 0,92 со станцией Розера.

Уменьшение коэффициента корреляции температуры станции Академик Вернадский отмечается в северо-восточном направлении, со станциями Эсперанца и Марамбио, вплоть до небольших отрицательных значений коэффициентов корреляции в летний сезон.

Таким образом, в зимнее время подтверждается наличие значительной корреляции температуры воздуха между станциями региона в меридиональном направлении, вдоль западного побережья Антарктического полуострова. Подобные особенности распределения пространственных коэффициентов корреляции связаны с наличием орографических особенностей и региональной циркуляции рассматриваемого района. В особенности это относится к Земле Грейама – северной части полуострова в связи с неоднородным распределением шельфового оледенения. Кроме того, станции западного побережья полуострова (Академик Вернадский, Розера) находятся под влиянием передней части климатического циклона с центром над морем Беллинсгаузена (навстречное побережье полуострова). В то же время станции на крайнем северо-востоке (Эсперанца и Марамбио) расположены в основном под влиянием тыловой части циклона над морем Уэдделла (подветренная часть полуострова). В районах станций Беллинсгаузен и Оркадас степень

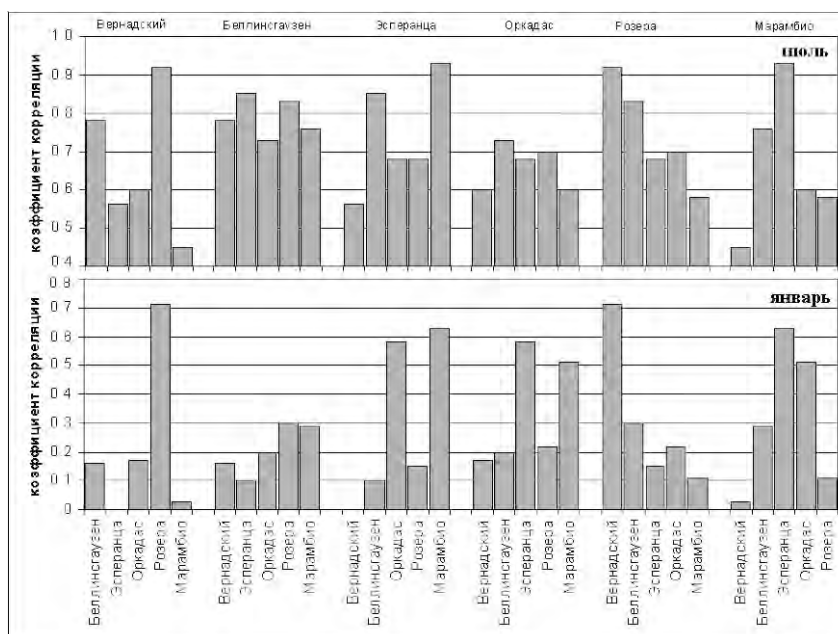


Рис. 9. Коэффициенты корреляции средней месячной температуры воздуха между станциями района Антарктического полуострова.

орографического влияния наименьшая.

Таким образом, потепление нижней тропосферы отмечено к началу XXI века на всех станциях Антарктического полуострова, включая станцию Академик Вернадский. В литературе последних лет появились прогнозы климата Антарктического региона на ближайшее столетие (Turner et al., 2009), согласно которым летнее потепление усилится, по крайней мере на 1 °С, а зимние температуры ожидаются в пределах современных значений, что

может привести к расширению периода с положительной температурой воздуха на станции Академик Вернадский. Этот же фактор приведет к дальнейшей деградации ледниковых покровов. Однако необходимо отметить, что модельные оценки обладают большой пространственно-временной сглаженностью, а учитывая результаты проведенного анализа инструментальных измерений, можно утверждать, что прогнозируемые колебания средней месячной температуры воздуха могут произойти, причем как в сторону понижения, так и повышения, в течение меньшего периода времени.

#### 4.3. Режим атмосферных осадков

По данным станции Академик Вернадский, среднее годовое количество атмосферных осадков составило 433 мм, коэффициент вариации 0,32, что свидетельствует о возможности аппроксимации статистического распределения законом, близким к нормальному. В течение 1986–1998 гг. количество осадков в целом возрастает, а в начале XXI столетия происходит некоторое снижение (рис. 10). Наибольшее количество осадков, как правило, совпадает с теплыми годами, так, годовой максимум осадков 1998 г. (670 мм) совпадает с наиболее теплым зимним периодом в истории станции Академик Вернадский и вторым по величине годовой аномалии температуры (рис. 2, вставка).

Важно отметить, что колебания годовых сумм осадков, в общем, согласуются с ходом индекса Эль-Ниньо-Южного Колебания (ЭНЮК). В целом пики осадков наблюдаются при увеличении индекса, а минимумы – при его снижении. Это соответствует усилению циклоничности или антициклоничности в исследуемом районе (Turner et al., 2004). Так, например, максимальное количество осадков, выпавших в 1998 г., последовало за годом холодной фазы явления (Ла-Нинья), а их снижение в последующие годы последовало за сменой знака ЭНЮК. Состояние проявлений Эль-Ниньо в региональном климате пока не позволяет использовать этот индекс для решения проблемы диагноза и прогноза погоды,

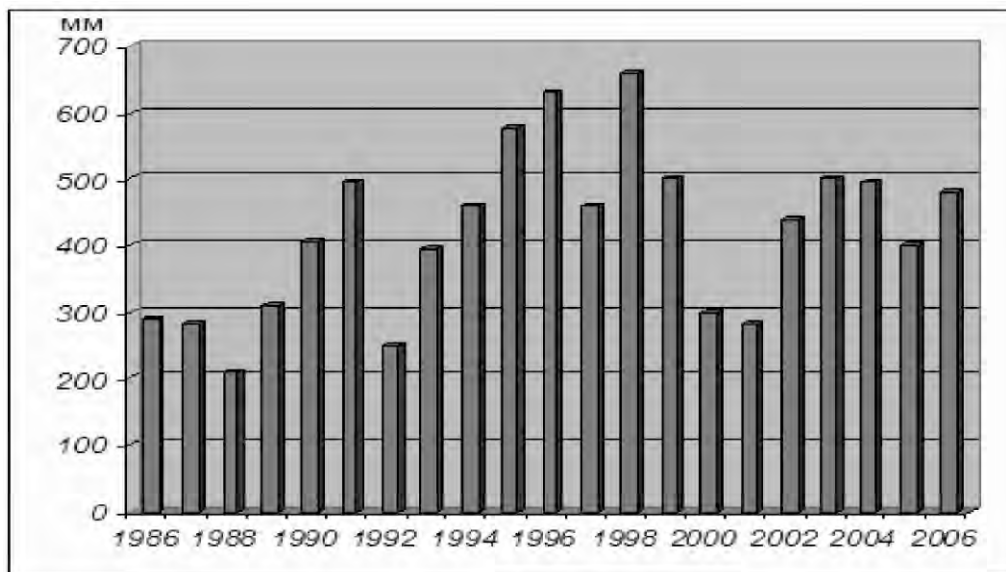


Рис. 10. Годовая сумма атмосферных осадков, станция Академик Вернадский, 1986–2007 гг.

необходимы более детальные исследования атмосферной циркуляции.

В течение года отмечаются два сезонных максимума осадков – осенний и весенний, хотя фактически сентябрьский максимум сдвинут к границе между зимой и весной (рис. 11). В целом, такие сезонные особенности осадков связаны с двойной волной в годовом ходе атмосферного давления, выявленного еще в 1960-х гг. (Атлас Антарктики, 1969). Усиление циклоничности, наиболее выражено происходящее на фазе сезонного понижения атмосферного давления в феврале-марте, приводит к увеличению осадков, а дальнейший сезонный рост обуславливает минимум среднего месячного количества осадков в июне, а также в ноябре. Классификация атмосферных процессов (летнего и зимнего) показала, что максимум осадков вызван сериями циклонов, проходящими практически зонально в Тихоокеанском секторе. При этом февральская циркуляция атмосферы наиболее упрощенная и может быть описана практически одним эталонным процессом, обеспеченностью 93% процессов (Мартазинова и др., 2008). Месяцы с минимумом осадков, как правило, характеризуются бальными процессами, связанных с продвижением

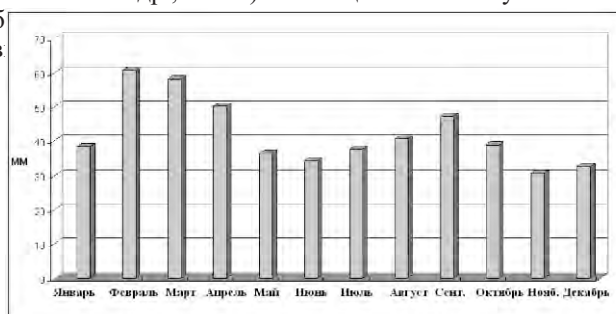


Рис. 11. Среднее месячное количество атмосферных осадков, станция Академик Вернадский, 1986–2007 гг., по осадкомеру Третьякова (данные для периода 1986–1996 гг. приведены по данным коллектора на высшей точке купола о. Галиндез).

#### 4.4. Режим приземного ветра

Исходными данными для исследования режима приземного ветра послужил архив 8-срочных измерений на станции Академик Вернадский в 1956–2005 гг. Изменение многолетних характеристик – розы ветров и изменчивости скорости ветра по отдельным градациям рассчитаны по однородному ряду с 1956 г. в связи с переносом в этом году метеорологической площадки с о. Винтер на о. Галиндез. Перенос метеоплощадки привел к некоторому изменению степени закрытости горизонта. Поэтому режим скорости ветра на станции Академик Вернадский был исследован на протяжении периода 1951–2005 гг., а направления ветра – в 1956–2005 гг.

Из рис. 12 видно, что скорость ветра изменялась между отдельными десятилетиями и пятилетиями. Так, к концу периода 1956–2005 гг. скорость приземного ветра увеличивается во все сезоны и за год: до 2 м/с в зимний и летний сезоны и около 1 м/с в переходные сезоны. Возрастание скорости ветра в январе и июле обусловлено прежде всего усилением зональных градиентов в поле давления из-за изменения атмосферной циркуляции.

Для наглядной иллюстрации изменения режима скорости приземного ветра на рис. 13 представлен ветровой режим первого и последнего десятилетий исследуемого периода. Если для первого десятилетия была характерна наиболее вероятная скорость 0-1 м/с, то в последнем десятилетии наиболее вероятная градация сместилась в сторону 2–5 м/с, при этом вероятность скорости в градациях 0-1 м/с уменьшилась в два раза. Во всех последующих градациях отмечено увеличение вероятности. Усиление скорости ветра в последнем десятилетии привело к возрастанию числа дней с метелями. Общая продолжительность штилей и слабых ветров



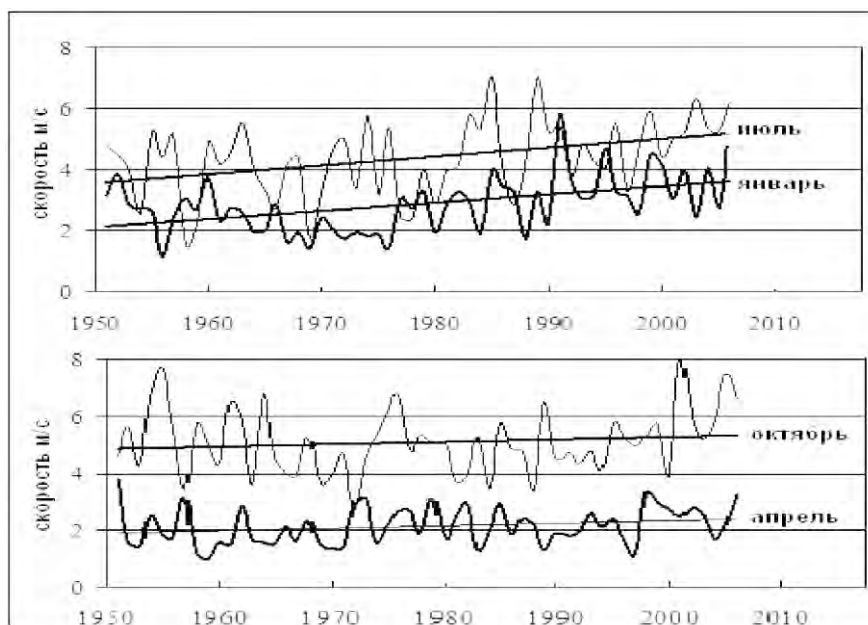


Рис. 12. Изменение скорости приземного ветра и линейные тренды в центральные месяцы сезонов, станция Академик Вернадский, 1951–2007 гг. Для наглядности значения скорости ветра в апреле уменьшены в два раза.

снижается.

Ветровой режим существенно изменяется между отдельными годами и десятилетиями современных климатических эпох. Можно отметить, что штилевые условия более характерны

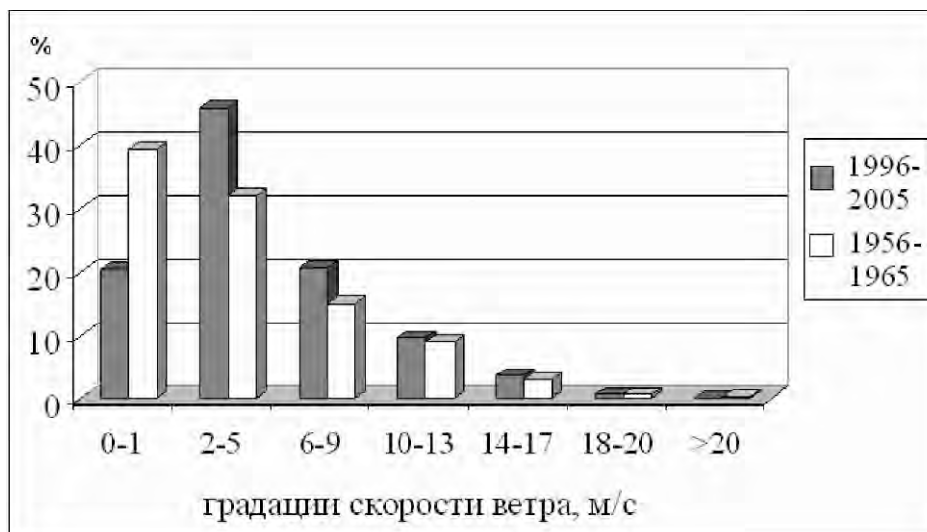


Рис. 13. Распределение скорости ветра по градациям, станция Академик Вернадский, 1956–1965 и 1996–2005 гг.

для холодных лет, тогда как для теплых лет характерны сильные ветры.

Повторяемость скорости ветра различных градаций по пятилетиям для центрального месяца зимы (июля) в течение периода 1956–2000 гг. показана на рис. 14. В эпоху современного потепления 1981–2005 гг. практически вдвое сократилась повторяемость слабого ветра 0-1 м/с. Наибольший рост повторяемости происходит в градациях 2–5 и 6–9 м/с, менее выраженный – в градациях 10–13 и 14–17 м/с. В многолетнем ходе повторяемости сильного ветра >18 м/с

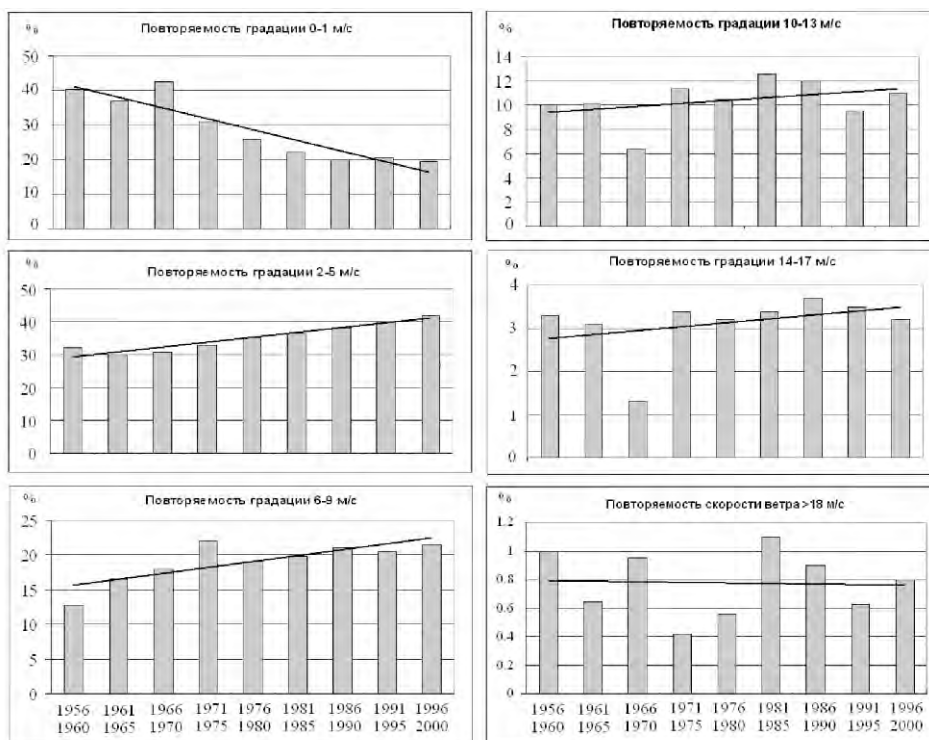


Рис. 14. Повторяемость скорости ветра различных градаций по пятилетиям в июле, в течение периода 1956–2000 гг., станция Академик Вернадский.

выделяются максимумы в 1981–1985 и 1996–2000 гг.

В целом преобладающими ветрами на западном побережье Антарктического п-ва являются южные-юго-западные и северные-северо-восточные, что в немалой степени связано с ориентацией береговой линии (рис. 15). При сравнении ранних и поздних зимних сезонов получен вывод об усилении доли ветров северных направлений в эпоху потепления 1991–2000 гг. и уменьшении повторяемости южных и юго-западных ветров.

Преобладание северных-северо-восточных ветров в течение десятилетия 1991–2000 гг. выразилось в более частом развитии местных циркуляций (фенов) в результате усиления циклонической циркуляции в ЮПО.

Необходимо отметить также, что изменение циркуляции атмосферы привело к изменению характеристик ветра и на других станциях региона – на станции Беллинсгаузен произошло усиление и рост повторяемости ветра западных румбов за счет снижения частоты восточных ветров. Таким образом, можно отметить, что в последние десятилетия отмечается усиление скорости ветра над территорией вокруг станции Академик Вернадский. Этот вывод также согласуется с выводом об усилении циклонической деятельности в регионе в эпоху



Рис. 15. Развернутые розы, 1956–1960, 1961–1990 (норма) и 1991–2000 гг., станция Академик Вернадский, июль (с учетом числа дней со штилем).

современного потепления (Watterson, 2000, Груза и др., 2007, Мартазинова и др., 2008).

## 5. Выводы

Потепление в нижней части тропосферы произошло к началу XXI века на всем Антарктическом полуострове, и в частности на станции Академик Вернадский. Вероятность значительных похолоданий на станции значительно снизилась, и температура воздуха ниже  $-35^{\circ}\text{C}$  в 1991–2000 гг. практически не регистрировалась.

В течение периода наблюдений на станции Академик Вернадский происходит уменьшение колебаний температуры воздуха на разных временных интервалах, от межсуточного до межгодового, а также отмечено уменьшение величины суточного хода практически в течение всего года.

Характерной особенностью последних лет (2001–2007 гг.) явилось ослабление тенденции к возрастанию температуры, причем величины среднегодовых температур воздуха колеблются в достаточно узком интервале. В это же десятилетие произошла смена знака тренда годового количества осадков – дальнейшего возрастания не происходит. Скорость приземного ветра возрастает в течение периода наблюдений на станции Академик Вернадский в большей степени зимой и весной и в меньшей – в переходные сезоны, отражая возрастание зональных градиентов атмосферного давления – тенденцию, общую для Южного полушария.

Многолетнее изменение климатических характеристик происходит в общем соответствии с изменением атмосферной циркуляции, зафиксированным авторами ранее.

Наилучшая степень пространственных связей между станциями региона отмечается для зимнего сезона. Средняя месячная температура на станции Академик Вернадский имеет наилучшую корреляцию в меридиональном направлении, с максимумом корреляции со станциями Розера и Беллинсгаузен. В летнее время степень связности рядов температуры снижается в меридиональном направлении и практически отсутствует со станциями восточного побережья полуострова. Поэтому для оценки однородности данных рядов и верификации климатического архива на станции Академик Вернадский можно использовать ряды станций Беллинсгаузен и Розера.

Анализ климатического режима станции Академик Вернадский, проведенный в данном исследовании, и предсказания современных моделей показывают, что возможно дальнейшее расширение периода с температурой воздуха выше нуля в летний сезон и продолжения деградации прибрежных ледниковых покровов.

Полученные нами особенности погодных условий в районе станции Академик Вернадский в течение летнего и переходного к зиме периодов необходимо учитывать при

планировании сезонного графика мероприятий в рамках проведения Украинских антарктических экспедиций. В частности, необходимо принять во внимание годовой максимум осадков с облачной погодой и ухудшенной видимостью в феврале, а также кратковременный оптимум погодных условий в марте-первой половине апреля, в течение которого могут быть проведены смена зимовочного состава и сезонные полевые работы.

### Литература

- Атлас Антарктики**, т. 2. Л., Гидрометеиздат, 1969. – 600 с.
- Алексеев Г.В.** Исследования климата Арктики в XX столетии // Тр. ААНИИ. – 2003. – т. 446. – С. 6–21.
- Будыко М.И., Ефимова Н.А., Лугина К.М.** Современное потепление // Метеорология и гидрология. – 1993. – № 7. – С. 29–34.
- Говоруха Л.С., Тимофеев В.Е.** О состоянии гляциоклиматической системы Антарктического полуострова // Бюлл. УАЦ. – 1998. – № 2. – С. 70–76.
- Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В.** Крупномасштабные колебания циркуляции атмосферы в Южном полушарии и их влияние на изменение климата некоторых регионов Земного шара в XX веке // Метеорология и гидрология. 2007. № 7. С. 5–17.
- Мартазинова В.Ф., Мадерич В.С., Тимофеев В.Е., Иванова Е.К.** Можливості довгострокового прогнозування погодних умов над Антарктичним півостровом // Укр. Антарктичний журнал, 2009. – № 8, – с. 269–281.
- Мартазинова В.Ф., Тимофеев В.Е., Иванова Е.К.** Состояние циркуляции нижней тропосферы южной полярной области в период современного потепления. // Укр. Антарктический журнал, № 6–7, 2008. – С. 175–183.
- Тимофеев В.Е., Гордиенко С.И.** Местные циркуляции в районе Украинской антарктической станции. – Бюлл. Укр. Антарк. центра. – 1996. – № 1. – С. 66–67.
- Тимофеев В.Е., Попов Ю.И., Украинский В.И., Скрипник В.В.** Гидрофизические аномалии и их связь с метеорологическим режимом в районе станции Академик Вернадский в течение летних сезонов 2000 и 2001 гг. – Укр. Антарктический журнал, 2003, N 1. – С. 79–84
- Martazinova V., Tymofeyev V.E.** Interdecadal changes of tropospheric circulation in Southern extratropics during the recent warming in the Antarctic Peninsula // The 10th International Symposium on Antarctic Earth Science, 10<sup>th</sup> ISAES, Santa Barbara, Geological Survey and The National Academies, USGS OF-2007-1047. Ext. Abs.067, 2007.
- van den Broeke M.** On the interpretation of Antarctic Temperature trends // J. of Climate. 2000. – V. 13. – P. 3885–3891.
- Gillett N.P., Kell T.D., Jones P.D.** Regional climate impacts of the Southern Annular Mode. Geoph. Research Letters, vol. 33, L23704, doi: 10.1029/2006GL027721, 2006.
- 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. – N 72. – P. 251–298.
- Kejna M.** Weather conditions at Arctowsky station, King George Island, South Shetland Islands, Antarctica in 1996. Polish Polar Research. – 1997. – N 20. – P. 203–220.
- Marshall G.J., King J.C.** Southern Hemisphere circulation anomalies associated with extreme Antarctic Peninsula winter temperatures. Geoph. Res. Letters, 1998, Vol. 25, N 13. – P. 2437–2440.
- Meteorology of Falkland Islands and Dependencies.** London, 1954, 250 p.
- Trenberth K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden, P. Zhai.** Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: Climate Change 2007: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC (Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)). Cambridge University Press,

В.Ф. Мартазинова: СОВРЕМЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ КЛИМАТ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА...

Cambridge UK and New York, NY, USA, 2007. – 236–432 p.

**Turner J., Bindschadler R., Convey P., di Prisco G., Fahrbach E., Gutt J., Hodgson D., Mayewsky P., Summeerhayes C.** Antarctic Climate Change and the Environment. SCAR, Scott Polar Research Institute, Cambridge, 2009. – 526 pp.

**Turner J., Colwell S., Marshall G., Lachlan-Cope T., Carleton A., Jones P., Lagun V., Reid F., Iagovkina S.** Antarctic climate during the last 50 years. *Int. J. Climatol.*, 2005, 25. – P. 279–294.

**Turner J.** The El Nino-Southern Oscillation and Antarctica // *Int. J. of Climatology*. 2004. Vol. 24. N 1. P. 1–32.

**Vaughan, D.G. and C.S.M. Doake,** Recent atmospheric warming and retreat of ice shelves on the Antarctic Peninsula. *Nature* 379. – 1996., p. 328–331.

**Watterson I.G.** Southern midlatitude zonal wind vacillation and its interaction with the ocean in GCM simulations. *J. Climatology*, 2000, 13. – P. 562–578.

#### **Принятые сокращения:**

UTC – Universal Time Coordinated – всемирное скоординированное время.

МГГ – Международный геофизический год

МПГ – Международный полярный год

ЮПО – южная полярная область