

УДК 551.510

## ЭЛЬ-НИНЬО И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА КЛИМАТ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА

В. Е. Тимофеев

*Украинский гидрометеорологический институт ДСНС Украины и НАН Украины  
03028, Киев, проспект Науки 37, tvvlad@mail.ru*

**Реферат.** В работе проанализировано влияние Эль-Ниньо-Южного колебания на климатические условия Антарктического полуострова посредством пространственных корреляционных связей, а также исследования атмосферной циркуляции. Изменение режима Эль-Ниньо-Южное колебания во многом определяет тенденцию регионального климата. В целях совершенствования методов сезонных прогнозов оптимальным признано использование индекса Эль-Ниньо 1-2 восточной части Тихого океана с учетом синхронных и асинхронных связей. Приведен пример прогноза для станции «Академик Вернадский». В годы теплой фазы развивается антициклонез в Тихоокеанском секторе Антарктики, а в годы Ла-Нинья — усиливается циклогенез. Отмечается, что проявления каждого события Эль-Ниньо индивидуальны, с различной локализацией барических систем в районе Антарктического полуострова, при этом полуостров располагается у границ области влияния центров действия атмосферы. Результаты могут быть использованы для более глубокого понимания атмосферных механизмов региональной изменчивости климата и совершенствования методов прогноза погоды.

### Эль-Ниньо та його вплив на клімат Антарктичного півострова.

В. Є. Тимофеев

**Реферат.** У роботі проаналізовано вплив Ель-Нін'єо-Південного коливання на кліматичні умови Антарктичного півострова з допомогою просторових кореляційних зв'язків, а також дослідження атмосферної циркуляції. Зміна режиму Ель-Нін'єо-Південного коливання значною мірою визначає тенденцію регіонального клімату. З метою вдосконалення методів сезонних прогнозів оптимальним визнано використання індексу Ель-Нін'єо 1-2 східної частини Тихого океану з урахуванням синхронних і асинхронних зв'язків. Наведений приклад прогнозу для станції «Академік Вернадський». У роки теплої фази розвивається антициклонез в Тихоокеанському секторі ЮПО, а в роки Ла-Нін'єа – посилюється циклогенез. Відзначається, що прояви кожної події Ель-Нін'єо індивідуальні, з різною локалізацією баричних систем в районі Антарктичного півострова, причому він розташований біля меж областей впливу різних центрів дії атмосфери.

Результати можуть бути використані для більш глибокого розуміння атмосферних механізмів регіональної мінливості клімату та вдосконалення методів передбачення погоди.

### Possibilities of long-range forecast of weather conditions over the Antarctic peninsula.

V. E. Tymofeyev

**Abstract.** The paper analyzes the impact of the El Niño-Southern Oscillation on the climatic conditions of the Antarctic Peninsula via spatial correlations, as well as studies into atmospheric circulation. Change in the El Niño-Southern Oscillation to the great extent determines regional climate trends. In order to improve methods for seasonal forecasts, the use of the El Niño 1-2 index eastern Pacific Ocean is recognized, based on synchronous and asynchronous correlations. Scheme for Akademik Vernadsky station is presented. During the warm phase anticyclonogenesis is typically devel-

oping in the Pacific sector of the Antarctic, and in the years of La Niña — cyclogenesis is predominant. It is noted that each manifestation of El Niño events are unique, with different localization of pressure systems in the Antarctic Peninsula' the peninsula is located at the boundary of the area of influence of different centers of atmospheric action. The results can be used to improve understanding of atmospheric mechanisms of regional climate variability and improving the methods of weather forecasting.

**Key words:** El Niño-Southern Oscillation, air temperature, climate, atmospheric circulation, seasonal forecasts

### Введение.

#### Общая характеристика явления Эль-Ниньо и его влияние на климат Антарктического полуострова.

Важным фактором, формирующим климат многих регионов планеты, является Эль-Ниньо-Южное колебание. Исследование этого явления стало очень популярным в последние десятилетия, по мере накопления эмпирических данных и создания глобальных архивов объективного анализа (Атлас, 2005, Масленников 2003, Семенов, 2006, Trenberth 1985, 1996, 1997, Turner 2004, Xie et al 2006, Zavala-Garay, 2005, Zebiak 1987). Знания о состоянии поверхностного слоя воды в экваториальной части Тихого океана, определяющем фазу явления Эль-Ниньо, применяются для сезонного прогноза погодных условий практически во всех основных центрах прогнозов.

Концептуальная колебательная модель Эль-Ниньо с задержкой может быть представлена обыкновенным дифференциальным уравнением тенденции температуры морской воды  $\frac{dT}{dt}$  с запаздыванием с положительными и отрицательными обратными связями (Zebiak, 1987):

$$\frac{dT}{dt} = A\Delta T - BT - (t - \eta) - \varepsilon T^3, \quad (1)$$

где  $\Delta T$  — аномалия температуры поверхности морской воды в экваториальной восточной части Тихого океана,  $A$ ,  $B$ , и  $\eta$  — параметры модели. Первый член в правой части уравнения представляет собой положительную обратную связь в системе океан — атмосфера в экваториальной восточной части Тихого океана, которую принято обозначать областью 1–2 (рис. 1). Второй член описывает задержку во времени отрицательной обратной связи свободными волнами Россби, которые генерируются в области взаимодействия восточной части Тихого океана, распространяются и отражаются от западной его границы. Они возвращаются в виде волн Кельвина, приводя к обращению аномалии в области взаимодействия восточной части Тихого океана. Последнее слагаемое представляет собой член затухания. Модель может колебаться в межгодовых временных масштабах в широком диапазоне параметров модели.

В концептуальной физической модели Бьеркнеса рассматриваются приземные ветры, направленные к очагу наиболее теплой воды, над которой происходит подъем воздушных масс (конвекция). Оседание над более холодными водами ведет к возникновению тропической циркуляционной ячейки (Уокера). В океане приземные ветры поддерживают восточно-западный наклон термоклина, который усиливает меридиональный градиент температуры, который также ответственен за эти ветры. Таким образом, существует связь между полями ветра, температуры морской воды и океанскими структурами циркуляции. Изменение в какой-нибудь одной составляющей приводит к положительной обратной связи и обуславливает начало теплой или холодной фазы. Например, в начале теплой фазы положительные аномалии температуры морской воды в восточном секторе Тихого океана сглаживают градиент температуры, при этом пассатные ветры ослабевают, усиливая конвекцию, и теплые воды перемещаются с запада на восток. Это приводит к заглублению термоклина на востоке Тихого океана, усиливая прогрев поверхностных вод и зональный градиент, далее усиливая пассаты и т.д.

Таким образом, аномалия температуры воздуха в Тихоокеанском секторе зависит от состояния океан–атмосфера, причем данная система характеризуется определенной инерцией, а также большим пространством влияния (телеконнекции). Целью многих исследований является поиск наиболее удобного показателя аномалии, которая определяла бы отклик регионального климата на Антарктическом полуострове на развитие и сохранение аномалии в экваториальной зоне.

Традиционно для характеристики Эль-Ниньо-Южного колебания применяется целый ряд индексов (Trenberth, 1985): Nina 4 — индекс, рассчитываемый по температуре поверхности океана между 160° в.д.–150°з.д. Nina 3-4 — индекс, рассчитываемый между 120°–170°з.д. Индекс Южного колебания рассчитывается по разности атмосферного давления в пунктах Таити и Дарвин, а индекс Эль-Ниньо 1-2 — в крайней восточной акватории Тихого океана в широтной зоне 5° ю.ш.–5°с.ш. (рис. 1).

Также различные критерии положены в основу определения самих фаз Эль-Ниньо в зависимости от сохранения знака аномалии вышеприведенных индексов. В работе эпизоды Эль-Ниньо идентифицировались при условии, когда 3-месячное сглаженное среднее значение температуры морской воды превышало значение нормы на 0,4°C в течение полугодия и более (Trenberth, 1996). При таком определении теплые фазы имели место в 31 % случаев, холодная — в 23 %, а оставшееся время (56 %) океанская циркуляция пребывала в нейтральных условиях. Нейтральные условия оказываются близкими к тем, что характерны для теплой фазы. Эти определения используются и в дальнейшем исследовании.

В дополнение к индексам, рассчитываемым в экваториальной зоне Тихого океана, использовался Южно-Атлантический индекс (ЮАИ), который рассчитывается по температуре поверхности океана в зоне между 10–30° з.д., 0–20° ю.ш.. Этот индекс отражает особенности пространственной структуры океанской циркуляции (а именно, диполя) и развития атмосферных процессов в Южной части Атлантического океана, связанных с активизацией гребня субтропического максимума. Гребень достигает высоких широт в данном секторе ЮПО, вплоть до морей Скоша и Уэдделла, и может создавать условия блокирования, с непосредственным влиянием на Антарктический полуостров.

**Исходные данные.** Для исследования циркуляции атмосферы использован архив реанализа NCEP-NCAR период 1971—2010 гг., представленный в узлах регулярной сетки 2,5°. Источник данных индексов Эль-Ниньо — центр предсказания климата, США (src.noaa.gov).

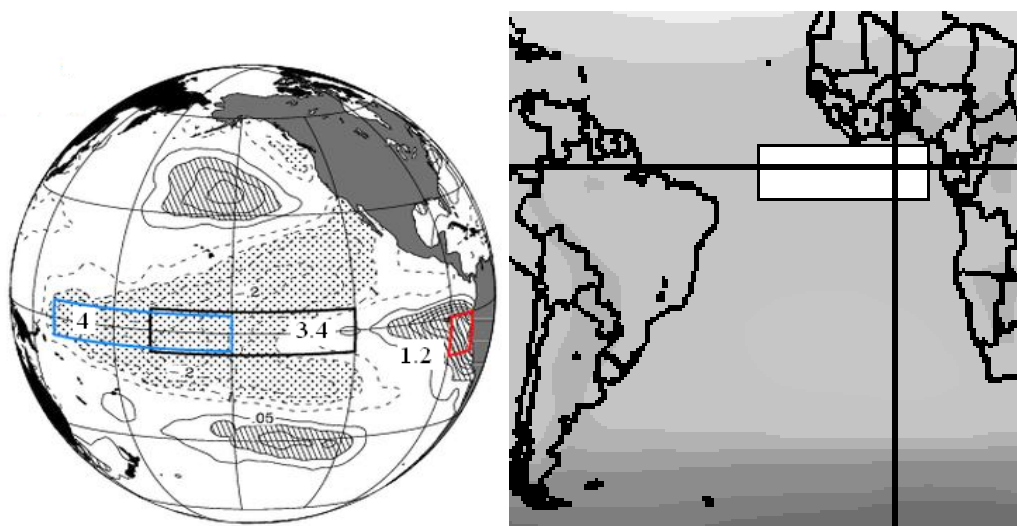


Рис. 1. Географические зоны расчета индексов Эль-Ниньо, Южно-Атлантического индекса

## 2. Результаты работы.

### Связь Эль-Ниньо с аномалией температуры воздуха на Антарктическом полуострове

Отметим, что наиболее продолжительный ряд данных имеется только для индекса Южного колебания (SOI), восстановленного с 1866 г. по данным приведенного атмосферного давления между станциями Таити и Дарвин. Учитывая, что наиболее представительный ряд в Антарктике накоплен на станции Оркадас, покажем синхронную и асинхронную корреляционную связи между индексом Южного колебания и средней месячной температурой воздуха летних месяцев на станции Оркадас, путем применения скользящей корреляции (рис. 2).

Корреляционная связь увеличивается к современному климатическому периоду, достигая статистической значимости, причем максимум коэффициента корреляции достигается с асинхронным рядом при сдвиге ряда индекса Эль-Ниньо на 2 месяца ранее во времени.

Таким образом, необходимо учитывать изменение характера корреляционной связи при переходе к условиям современного климата. Далее проанализируем корреляционные связи индекса Эль-Ниньо и средней годовой температуры воздуха на станциях Антарктического полуострова за период второй половины XX столетия.

В табл. 1 приведены значения синхронной корреляции рядов средней годовой температуры на станциях исследуемого региона, и индекса Эль-Ниньо 1-2. Однако с учетом распространения сигнала далее будут показаны также и асинхронные связи.

Статистически значимые коэффициенты корреляции (0.52) найдены между аномалией средней годовой температуры на станциях Академик Вернадский и Беллинсгаузен и нормированной годовой аномалией индекса Эль-Ниньо 1-2 (табл. 1). В то же время коэффициент корреляции между межгодовыми изменениями исследуемых величин несколько меньше, 0.34 и 0.30 соответственно, статистически значимы на 90 %-ом уровне значимости для данного ряда. Положительная корреляция обозначает, что положительная аномалия индекса (рост давления) ведет к положительной аномалии температуры на станциях исследуемого региона (потепление). Связь с остальными индексами, расчет которых базируется на температуре морской воды, обратная, т.е. отрицательная аномалия индекса (вода поверхности океана холоднее нормы) ведет к повышению температуры на станциях региона. С другой стороны, корреляция средней годовой температуры на станциях Антарктического полуострова с Южно-Атлантическим индексом максимальна по данным Оркадас, а по данным станции Академик Вернадский — несколько меньше.

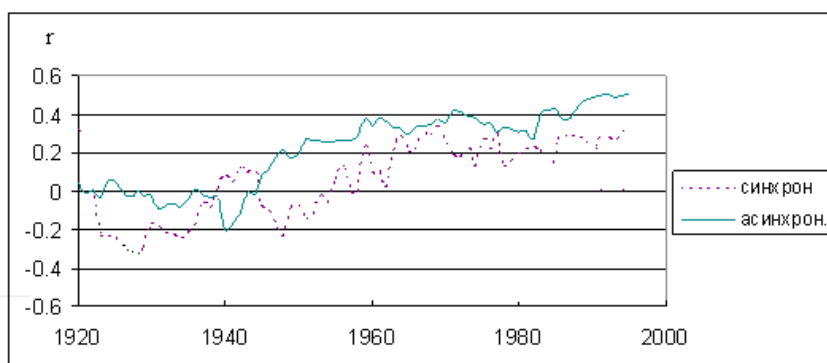


Рис. 2. Синхронная (январь) и асинхронная (индекс -2 мес.) скользящая корреляция средней месячной температуры на станции Оркадас и индекса Южного колебания. Ордината показывает центральный год скользящего окна корреляции 31 год. Значения коэффициента корреляции  $\pm 0.36$  и  $0.46$  статистически значимы на 95 and 99 % уровнях значимости.

Таблица 1

**Коэффициенты корреляции индексов, характеризующих состояние явления Эль-Ниньо (нормированные значения) и средней годовой температуры на станциях Антарктического полуострова, 1971–2010 гг.**

Станция	$I_{1-2}$	Nina4 ( $I_4$ )	Nina3 ( $I_3$ )	Nina3.4 ( $I_{3-4}$ )	ЮАИ ( $I_{ЮА}$ )
Академик Вернадский	0.52	0.23	-0.21	-0.12	0.49
Оркадас	0.35	0.12	-0.22	-0.15	0.63
Беллинсгаузен	0.42	0.27	-0.19	-0.04	0.60
Эсперанца	0.32	0.21	-0.15	-0.08	0.47

Примечание. Подчеркнуты величины значимые на 95% уровне значимости.  
ЮАИ — Южно-Атлантический индекс

Таким образом, в современных условиях необходимо учитывать изменение характера корреляционной связи с Эль-Ниньо, а именно ее упрочение. Это подтверждают и отдельные аномальные годы на Антарктическом полуострове,

Как уже упоминалось, наиболее холодный год в целом и зимний сезон современной климатической эпохи на станции «Академик Вернадский» отмечен в 1987 г. (средняя температура зимних месяцев  $-14$ , минимальная  $-39,6$  °С), сразу после установления теплой фазы явления. Наиболее теплая зима в регионе была в 1989 г., а на станции Академик Вернадский — в 1998 г., с максимальным количеством осадков на фоне холодной фазы Эль-Ниньо. Впоследствии отмечается некоторое уменьшение количества осадков вместе со стабилизацией повышения температуры воздуха.

Чтобы выяснить, посредством какого синоптического механизма происходит влияние Эль-Ниньо на Антарктический полуостров, далее проанализируем условия циркуляции атмосферы во время развития различных фаз Эль-Ниньо 1971...2010 гг.

### 3. Пространственные корреляции

Поскольку для построения прогностической схемы необходимо определиться с перечнем потенциальных предикторов, покажем корреляционную связь индекса Эль-Ниньо с полем атмосферного давления, синхронную и асинхронную. Анализ проведен с использованием данных реанализа NCEP-NCAR за 1971–2010 гг., включающем как теплые, так и холодные фазы Эль-Ниньо. В начале развитой фазы явления, как правило, в конце календарного года, существует высокая синхронная корреляция индекса с полем давления в умеренных широтах Тихоокеанского сектора; а асинхронная связь усиливается, достигая максимума 0.65 через 3 месяца, смещаясь при этом к Антарктическому полуострову и проливу Дрейка (рис. 3). Немаловажно, что значимая корреляция обнаруживается в секторе, непосредственно примыкающем к северной части Антарктического полуострова. Через полгода знак корреляции изменится, причем ее центр ( $r = -0.40$ ) через 6 мес. обнаруживается в тропической зоне Тихого океана, а через 9 мес. — перемещается в сектор моря Росса ( $120-160^\circ$  з. д.). Второй центр значимой отрицательной корреляции существует у северной оконечности Антарктического полуострова ( $-0.40$ ). Таким образом, посредством данного метода можно в общем случае оценить тип барического поля в нижней атмосфере — как правило, в начале теплой фазы явления Эль-Ниньо преобладает антициклогенез в тихоокеанском секторе, что соответствует положительной пространственной корреляции. Смена знака пространственной корреляции через полгода соответствует смене преобладающего синоптического процесса на циклогенез в море Росса. Данное преобразование было описано выше посредством эталонных полей давления и подтверждается путем оценки пространственной корреляции. Кроме того, временное преобразование знака барического поля непосредственно влияет на погодные условия Антарктического полуострова и изменчивость сезонной (месячной) аномалии температуры воздуха, том числе на станции Академик Вернадский.

Обнаруженные центры значимой корреляции в юго-восточной части Тихого океана и в районе Земли Грейама (север Антарктического полуострова) могут быть использованы для отбора предикторов в поле давления для построения схем прогноза погоды на западном побережье Антарктического полуострова.

Покажем корреляцию индекса Эль-Ниньо 1-2 с набором индексов циркуляции в западной Антарктике для центрального месяца лета (табл. 2). Индексы рассчитывались в соответствии с общей методикой А. Л. Каца между  $60$  и  $70^\circ$  ю.ш. (Практикум, 1979). Наилучшая связь обнаруживается с зональным индексом циркуляции в секторе ближайшем к полуострову, на долготах  $300-360^\circ$  в.д. Несколько слабее корреляционная связь с общим индексом в зоне  $300-360$  в.д. Индекс меридиональности хоть и на грани статистической значимости, однако его связь с индексом Эль-Ниньо повышается в секторе Антарктического полуострова. Лучше всего во времени сохраняется связь индекса Эль-Ниньо 1-2 с зональным индексом циркуляции, в секторе  $270-300^\circ$  в.д., до двух месяцев (табл. 2). Это говорит о том, что связь с индексом циркуляции может быть использована в прогностических целях, например, при прогнозе ледовой обстановки.

Рассмотрим корреляционную связь аномалии индекса Эль-Ниньо 1-2 аномалии температуры воздуха на Антарктическом полуострове со смещением во времени до 9мес. по последовательным 3-месячным периодам (табл. 3). Получены общие значения корреляционной связи географической зоны Эль-Ниньо 1-2 с температурой воздуха на станции Академик Вернадский. Сезонная корреляция лучше выражена в зимний сезон, из-за опускания ВФЗ к югу, и хуже в летний — из-за ее поднятия к северу.

Из табл. 3 также видно сезонное понижение корреляционной связи, при переходе от южной зимы к весне (октябрь–ноябрь), названное в одной из работ сезонным барьером предсказуемости (Xie et al., 2006).

Детализация корреляционной связи внутри сезона показала, что аномалия температуры воздуха на станциях полуострова имеет значительную асинхронную корреляцию с запаздыванием до 3–6 мес. В начальной фазе развития Эль-Ниньо, как правило, в начале календарного года, существует высокая положительная корреляция индекса; через полгода она меняет знак. Таким образом, как сезонная, так и средняя годовая аномалия температуры воздуха во многом определяется аномалией ЭНЮК.

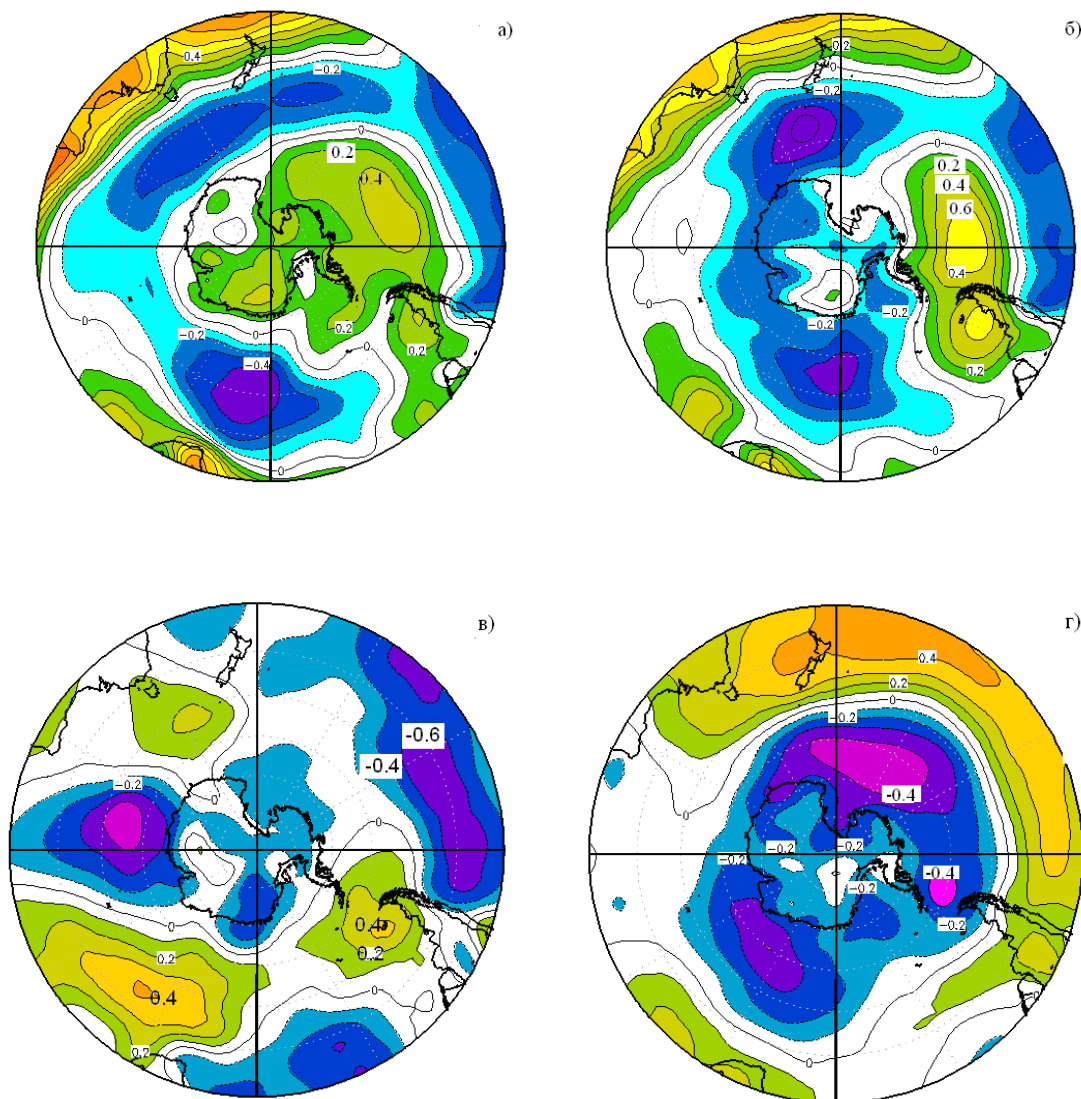


Рис. 3. Пространственная корреляция индекса Эль-Ниньо 1-2 с полем атмосферного давления, сетка  $2.5^\circ$ , 1971-2010, реанализ NCEP-NCAR. а)- синхронная корреляция, декабрь-февраль, б), в), г) — асинхронная, с временным смещением поля давления на 3, 6 и на 9 мес., соответственно

Таблица 2

**Коэффициенты корреляции индекса Эль-Ниньо 1-2 с индексами циркуляции, на 180-360° в.д., январь, 1971–2010 гг.**

Долгота, градусы в.д.							
Индекс	180	210	240	270	300	330	360
<b>Iз</b>	0.38	0.41	0.42	0.42	0.50	0.47	0.36
<b>Iм</b>	0.23	-0.17	-0.03	0.06	0.29	0.33	0.23
<b>Io</b>	-0.15	-0.20	0.02	0.07	0.23	0.42	0.31

Примечание.  $I_z$  — зональный индекс,  $I_m$  — меридиональный индекс  $I_o$  — общий индекс.  
Выделены коэффициенты корреляции, значимые не менее чем на 95%-ом уровне значимости

Таблица 3

**Коэффициенты корреляции аномалии средней месячной температуры воздуха ( $\bar{T}$ ), станция Академик Вернадский, и индекса Эль-Ниньо 1-2, 1971–2010 гг.**

Смещение $\bar{T}$ , мес.	ЯФМ	ФМА	МАМ	АМИ	МИИ	ИИА	ИАС	АСО	СОИ	ОИД	ИДЯ	ДЯФ
<b>Синхр.</b>	0.25	0.34	<b>0.47</b>	<b>0.49</b>	<b>0.52</b>	<b>0.50</b>	<b>0.45</b>	<b>0.46</b>	0.43	0.35	0.12	0.12
<b>+1</b>	0.26	<b>0.36</b>	<b>0.52</b>	<b>0.57</b>	<b>0.49</b>	<b>0.48</b>	<b>0.45</b>	0.39	0.34	0.12	0.19	0.23
<b>+2</b>	<b>0.36</b>	<b>0.43</b>	<b>0.63</b>	<b>0.60</b>	<b>0.46</b>	<b>0.44</b>	<b>0.39</b>	0.30	0.17	0.23	0.32	0.20
<b>+3</b>	<b>0.42</b>	<b>0.54</b>	<b>0.52</b>	<b>0.54</b>	<b>0.44</b>	<b>0.42</b>	0.35	0.15	0.27	0.28	0.29	0.22
<b>+4</b>	<b>0.44</b>	<b>0.46</b>	<b>0.44</b>	0.44	0.36	0.32	0.19	0.25	0.32	0.31	0.30	0.26
<b>+5</b>	<b>0.37</b>	<b>0.36</b>	<b>0.39</b>	0.29	0.33	0.17	0.26	0.33	0.30	0.24	0.31	0.36
<b>+6</b>	0.30	0.28	0.33	0.32	0.21	0.26	0.24	0.24	0.24	0.21	0.25	0.31
<b>+7</b>	0.24	0.24	0.36	0.25	0.12	0.12	0.23	0.18	0.21	0.18	0.23	0.24
<b>+8</b>	0.12	0.13	0.15	0.12	0.08	0.08	0.18	0.05	0.20	0.21	0.21	0.15
<b>+9</b>	-0.01	0.06	0.05	0.03	-0.12	-0.16	0.08	-0.24	0.18	0.19	0.04	0.13

Примечание. (Первая строка — синхронные корреляции, далее — смещение T на 1 месяц). Последовательные 3-месячные периоды обозначены по первым буквам месяцев: МАМ — март–апрель–май, АМИ — апрель–май–июнь, АСО — август–сентябрь–октябрь и т.п. Выделены коэффициенты корреляции, значимые не менее чем на 95 %-ом уровне значимости.

Наилучшие результаты получены для окончания осеннего сезона–зимы, когда значимая корреляция сохраняется как минимум 3 месяца от начального периода, и практически развитым явлениям Эль-Ниньо соответствует определенная аномалия температуры воздуха.

Хорошей иллюстрацией для разработки прогностической схемы является рис. 4, где представлена асинхронная связь между средней месячной температуры воздуха, для станции Академик Вернадский и индексом Эль-Ниньо 1-2. Из рисунка видно, что при значении  $-1 < I_{12} < +1$  средняя месячная температуры воздуха лежит в пределах нормы, а при  $I_{12} > \pm 1$  — создаются аномальные ситуации. Как видно, эпизод 1982 г. Эль-Ниньо стоит особняком, в то время как остальные годы с негативной аномалией индекса обусловили отрицательную аномалию средней месячной температуры воздуха.

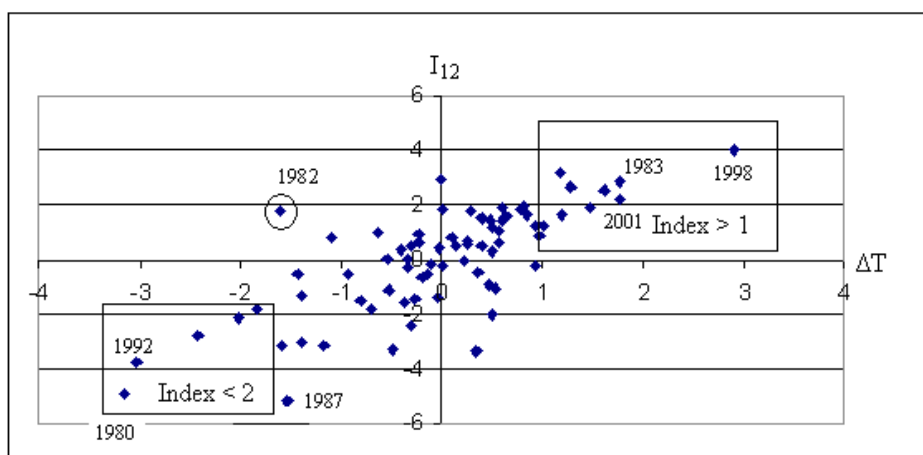


Рис. 4. Корреляционный график асинхронной связи аномалии индекса Эль-Ниньо 1-2 ( $I_{12}$ , гПа) и аномалии средней месячной температуры воздуха на Антарктическом полуострове ( $\Delta T$ ) со сдвигом на 2 месяца (МАМ — март–апрель–май, АМИ — апрель–май–июнь) 1971–2010 гг.

#### 4. Эль-Ниньо и особенности циркуляции атмосферы

Повторяемость явлений блокирования во многом обусловлена Эль-Ниньо-Южным колебанием (ЭНЮК), причем интенсивность блокирования в разных полушариях зависит от фазы Эль-Ниньо (88, 135, 141). В работе (Tibaldi et al, 1994) показано, что явления блокирования, особенно в Северно-Тихоокеанском регионе, были более слабыми в те годы, в которые наблюдалось явление Эль-Ниньо (теплая фаза), в то время как Дж. Тернер показал, что именно с этой фазой связано усиление антициклогенеза в юго-восточной части Тихого океана и холодные годы на Антарктическом полуострове (Genton, 2003, Turner, 2009). В Тихоокеанском секторе найдено значимое возрастание количества дней с явлением блокирования и соответствующих синоптических объектов, которые наблюдаются в западной части Тихого океана, на 57 и 62%, соответственно, с 1948 по 1998 г. (Tibaldi et al, 1994). Выявлено меньшую интенсивность явлений блокирования в Атлантическом секторе, со статистически значимым уменьшением дней с явлением. Описанные тенденции были намечены в более ранней работе М. Sinclair, в которой впервые на многолетнем материале были обобщены сведения о блокировании в Южном полушарии (Sinclair 1997).

Традиционным подходом к идентификации блокирования является расчет индексов, однако применительно к южному полушарию они могут быть необъективными, поскольку явления блокирования не так устойчивы, как в Северном полушарии. Индексация атмосферных процессов имеет свои ограничения, не объясняя сути синоптической эволюции. В работах (Маргазина, 2008, 2010) сей недостаток восполняется путем классификации ежедневных полей давления.

В годы теплой фазы развивается антициклогенез в Тихоокеанском секторе ЮПО, а в годы Ла-Нинья — усиливается циклогенез (Turner, 2004). По нашим данным, по сравнению с положением барических образований на полях давления класса наибольшей вероятности в 1991–2000 гг., в 2001–2005 гг. отмечено смещение ЦДА на запад в секторе западной Антарктики, а также усиление антициклона в юго-восточной части Тихого океана (рис. 5). Другим отличием от предыдущего десятилетия является отсутствие центров пониженного давления в море Беллинсгаузена, которые были ответственны за преобладающую адвекцию теплого воздуха к Антарктическому полуострову в течение 1996–2000 гг. — наиболее теплое пятилетие в регионе. Отдельные месяцы 2001–2005 гг. характеризуются более низкой температурой воздуха, что создает благоприятные условия для сохранения снежного покрова и морского льда летом (особенно в 2002 и 2005 гг.).

В 2006–2011 гг. циклогенез в западном секторе Антарктиды вновь активизировался, включая моря Росса и Беллинсгаузена, в результате чего отмечено повышение количества осадков в отдельные месяцы 2010, 2011 гг. Другой причиной является усиление гребня (антициклона) блокирующего типа в секторе моря Уэдделла. В целом, такая ситуация соответствует типу процессов класса наи-



большей вероятности, найденных для 1991–2000 гг., с которым связывается региональное потепление (Маргазинова и др., 2010).

Таким образом, различные циркуляции атмосферы в исследуемом регионе в течение 2001–2010 гг. связано с усилением тихоокеанского гребня в 2002–2005 гг. на фоне положительной фазы Эль-Ниньо, а также активизацией циклогенеза в западном секторе в 2006–2011 гг. на фоне Ла-Нинья. С другой стороны, Антарктический полуостров расположен у границ области влияния ЦДА, и кроме того, развитие атмосферных процессов даже на фоне одной и той же фазы явления Эль-Ниньо в разные годы может проходить по-разному, с различной локализацией основных барических систем. Поэтому не всегда прогноз, базирующийся на Эль-Ниньо, может оказаться успешным, и зависимость региональной погоды и климата от явления ЭНЮК еще следует изучить.

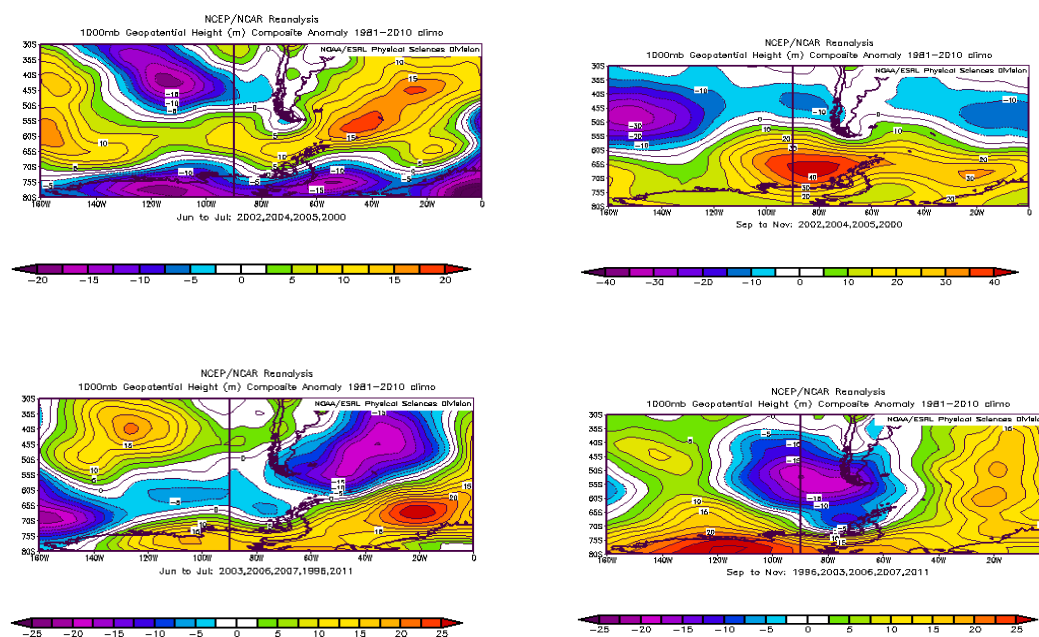


Рис. 5. Аномалия приземного давления: вверху — 2000, 2002, 2004, 2005 гг. (годы Эль-Ниньо), внизу — 1996, 2003, 2006, 2007, 2011 гг. (годы Ла-Нинья). Июнь–июль — слева, сентябрь–ноябрь — справа.

Немаловажно, что поле давления месяцев окончания одной из фаз становится аналогичным полю начала другой фазы Эль-Ниньо. Таким образом, кроме знания о преобразованиях полей давления внутри каждой фазы Эль-Ниньо, получили закономерность преобразования полей давления между разными фазами.

К концу периода основной фазы явления Эль-Ниньо Антарктический полуостров оказывается на границе влияния двух барических систем, и это может затруднить долгосрочный или сезонный прогноз погодных условий в данном регионе.

Отметим также, что если для периода современного потепления до 2000 г. преобладала теплая фаза, то середина десятилетия 2001–2010 гг. характеризуется переходом к отрицательной (Ла-Нинья). При сохранении такой тенденции ожидается усиление циклогенеза в западном секторе Антарктики, вместе с усилением субтропического антициклонизации, в соответствии нашими выводами, а также с выводами (Tibaldi, 1994).

## 5. Выводы

Проанализировано влияние Эль-Ниньо-Южного колебания на климатические условия Антарктического полуострова посредством пространственных корреляционных связей, а также исследования атмосферной циркуляции. Изменение режима Эль-Ниньо-Южного колебания во многом

определяет тенденцию регионального климата. В целях совершенствования методов сезонных прогнозов оптимальным признано использование индекса Эль-Ниньо 1-2 восточной части Тихого океана, с учетом синхронных и асинхронных связей. Приведен пример прогноза для станции Академик Вернадский для отдельного сезона. Аномалии средней месячной температуры воздуха соответствующим годам (сезонам) выраженных фаз Эль-Ниньо.

Большое влияние на атмосферную циркуляцию региона имеет Эль-Ниньо-Южное колебание, а ее изменение в течение последнего десятилетия объясняется сменой преобладающей фазы явления Эль-Ниньо. Для дальнейшего совершенствования методов сезонных прогнозов оптимальным признано использование индекса Эль-Ниньо 1-2 восточной части Тихого океана с учетом синхронных и асинхронных связей. Однако проявления каждого события Эль-Ниньо индивидуальны, с различной локализацией барических систем в районе Антарктического полуострова. Для поиска более надежных связей явления Эль-Ниньо и регионального климата необходимы дальнейшие исследования

Результаты могут быть использованы для более глубокого понимания атмосферных механизмов региональной изменчивости климата и совершенствования методов предсказания погоды.

### Литература

1. **Атлас** океанов. Антарктика. ГУНО МО РФ. — С.-Пб. — 2005. — 324 с.
2. **Маргазинова В. Ф.**, Тимофеев В. Е., Иванова Е. К. Атмосферная циркуляция Южной полярной области и климат Антарктического полуострова. К., — 2010. — 92 с.
3. **Маргазинова В. Ф.** Современное состояние атмосферной циркуляции воздуха в Северном и Южном полушарии и региональные климатические особенности в Атлантико-Европейском секторе и районе Антарктического полуострова / Тимофеев В.Е. // С.-Пб., Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. — № 3 (80). — С. 17–37
4. **Масленников В. В.** Климатические колебания и морская экосистема Антарктики. М. : Изд. ВНИРО. 2003. — 285 с.
5. **Семенов Е. К.** Синоптические аспекты формирования экваториальной зоны западных ветров над Тихим океаном в период экстремального Эль-Ниньо 1997 – 98 гг. / Соколичина Е.В., Соколичина Н. Н. // Метеорологи и гидрология. — 2006. — № 3. — С. 17–30.
6. **Практикум** по долгосрочным прогнозам погоды. Под ред. В. И. Воробьева. — Л., Гидрометеоиздат. — 1979. — 106 с.
7. **Genton C.**, Cosme E. Intermittent signature of ENSO in west-Antarctic precipitation. *Geoph. Res. Letters*, — 2003. — 30 (21): 1. — P. 1–4.
8. **Sinclair M. R.** A climatology of anticyclones and blocking for the Southern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.* — 1996. — vol. 124, № 2. — P. 245–263.
9. **Tibaldi et al.** E. Tosi, A. Navarra, L. Pedulli. Northern and Southern Hemisphere Seasonal Variability of blocking Frequency and Predictability // *Mon. Wea. Review*, — 1994. — v. 122. — P. 1971–2003.
10. **Trenberth K. E.** Blocking in the Southern Hemisphere // *Mon. Wea. Review*. — 1985. — 113, № 1. — P. 3–21.
11. **Trenberth K. E.** The Definition of El Niño // *Bulletin of the American Meteorological Society*, — 1997. — 78. — P. 2771 — 2777.
12. **Trenberth K. E.**, Hoar T. The 1990—1995 El—Nino —Southern Oscillation events: Longest on Record // *Geoph. Res. Letter*. — 1996. — № 23. — P. 57 — 60.
13. **Turner J.** The El—Nino and Antarctica // *Int. J. of Climatol.*, 2004. — v. 24. — P. 1 — 32.
14. **Turner J.**, Bindshadler R., Convey P., di Prisco G., Fahrbach E., Gutt J., Hodgson D., Mayewsky P., Summeherhayes C. *Antarctic Climate Change and the Environment*. SCAR, Scott Polar Research Institute, Cambridge, 2009. — 526 p.
15. **Xie S.**, Bao C., Xue Z., Zhang L., Hao C. Interaction between Antarctic sea ice and ENSO events // In: *Proc. NIPR Sympos. On Polar Meteorology and Glaciology*, 2006. — P. 95—100.
16. **Zavala-Garay J.**, Zhang C., Moore A. M., Kleeman R. The Linear Response of ENSO to the Madden-Julian Oscillation // *J. Climate*, 2005, Vol. 18, — P. 2241 – 2459
17. **Zebiak S. E.**, Cane M. A. A model El Nino Southern Oscillation // *Mon. Wea. Rev.*, 1987 — vol. 115. — P. 2262 — 2278,