

УДК 551.513 (99)

Осипова О.П., к.г.н.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск

ВЛИЯНИЕ МАКРОЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПЕРЕНОС МОРСКОГО АЭРОЗОЛЯ ВО ВНУТРЕННИЕ РАЙОНЫ ВОСТОЧНОЙ АНТАРКТИДЫ

Проанализированы различные группы циркуляции применительно к восточно-антарктическому сектору Южного полушария в годы с максимальным и минимальным содержанием морского иона (Na^+) в снеге за последние десятилетия. Выявлены макропроцессы, способствующие увеличению или уменьшению содержания ионов натрия.

Ключевые слова: циркуляция атмосферы, элементарный циркуляционный механизм (ЭЦМ), циклоны, антициклоны, блокирующие процессы, Восточная Антарктида, ионы натрия.

Введение. Циркуляция атмосферы в Антарктике тесно связана с общей планетарной атмосферной циркуляцией и является частью циркуляции южного полушария. Характерные черты циркуляции атмосферы в Антарктике в конце XX и начале XXI веков достаточно подробно рассмотрены в работе [4]. Антарктическая циркуляция состоит из трех основных тесно взаимосвязанных барических и циркуляционных систем: субтропического пояса высокого давления, кольца низкого давления вокруг Антарктического материка и системы циркуляции над ледниковым покровом Антарктиды. Почти все барические образования эволюционируют здесь над океанской поверхностью. В результате сильного выхолаживания в центре материка создается область повышенного давления – антарктический антициклон. Он определяет природные условия Центральной Антарктиды. Вокруг антарктического материка лежит область низкого давления, характеризующаяся активной циклонической деятельностью. В ней выделяется несколько устойчивых районов стационарирования циклонов, возникающих и развивающихся как на полярном фронте в умеренных широтах, так и на антарктическом атмосферном фронте, положение которого определяется осью траекторий кольцевых циклонов, проходящей южнее 60° ю.ш. [5]. Кольцо антарктической депрессии, четко проявляющееся лишь в периоды хорошо выраженной зональности, расширяется летом и сужается зимой, но в холодное время года интенсивность атмосферной циркуляции усиливается. Увеличивается почти вдвое по сравнению с летним периодом и среднее месячное количество циклонов, а циклонический пояс разрывается гребнями высокого давления. Климатические антициклоны и циклоны, являющиеся центрами действия атмосферы южного полушария, локализованы в определенных географических районах, и это обуславливает средние условия циркуляции в тропосфере над антарктической акваторией и ледниковым покровом Антарктиды [1]. Устойчивые перемены высокого давления между океаном и материком разделяют по существу квазиколецевую депрессию на шесть районов климатических циклонов в Антарктике: моря Лазарева и Ларсена, моря Содружества и Дейвиса, район океана севернее Земли Уилкса, море

Росса, море Беллинсгаузена, море Уэдделла. В течение круглого года в Антарктиде происходит активный межширотный обмен воздуха, захватывающий и центральные районы материка. Климатические особенности Антарктиды определяются ее околуполосным положением, большими абсолютными высотами континента и свойствами снежно-ледяной поверхности.

Одним из показателей интенсивности атмосферной циркуляции во внутриконтинентальных районах Антарктиды является интенсивность переноса аэрозолей морского происхождения. Наиболее надежными маркерами поступления морского аэрозоля является содержание морских ионов – натрия и хлора – в антарктическом снеге [7]. Считается, что основным источником морских ионов является открытая акватория океана.

Данные и методология исследования. Концентрация ионов натрия в антарктическом снеге исследовалась по профилю Прогресс-Восток (рис. 1) в ходе проведения 53-й Российской Антарктической экспедиции в 2008 г. в неглубоких шурфах и скважинах [2]. В результате были получены профили концентрации натрия на разном удалении от побережья. Наибольшие концентрации натрия наблюдаются в прибрежной зоне (до 200 мкг/дм³), наименьшие – в центральных частях Восточной Антарктиды (до 25 мкг/дм³).

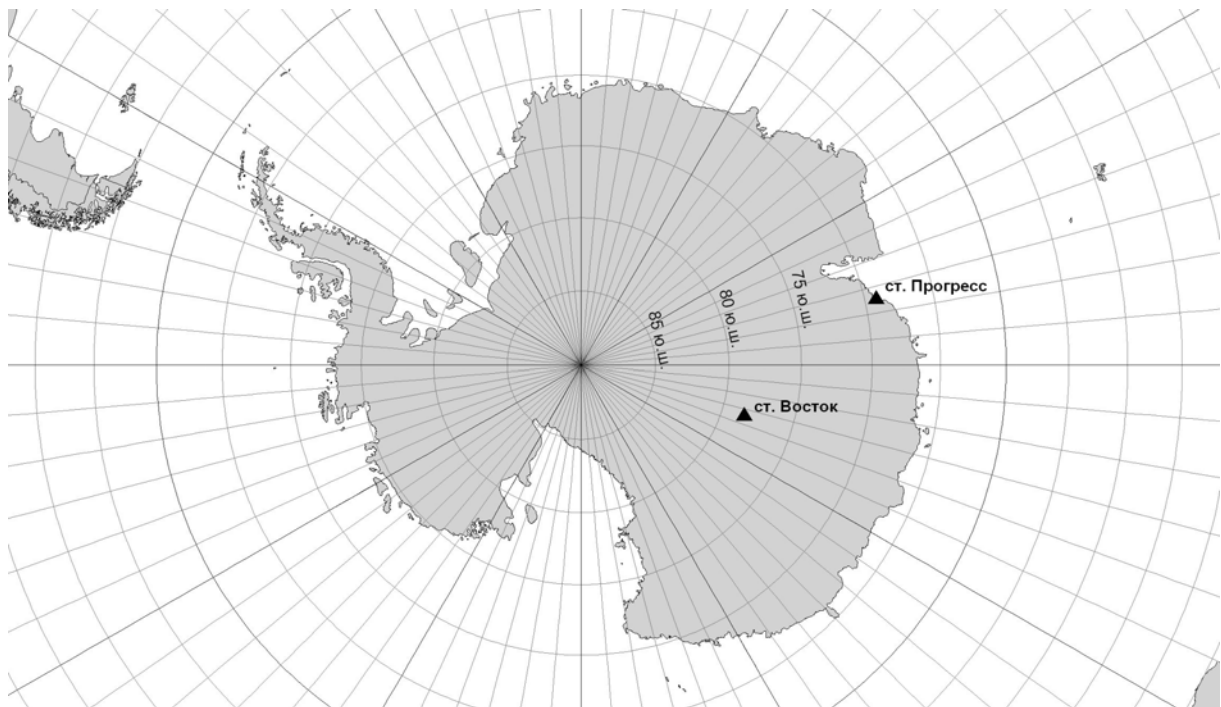


Рис. 1. Район исследования.

В данной работе была сделана попытка определить связь между содержанием морского иона (Na^+) в снеге Восточной Антарктиды на максимальном удалении от

станции Прогресс (1276 км) – т.е. в районе станции Восток [2] и атмосферной циркуляцией за последние 30 лет. Станция Восток расположена в центральной части Восточной Антарктиды в точке с координатами $78^{\circ} 27'$ ю.ш. и $106^{\circ} 52'$ в.д., на высоте 3490 м над уровнем моря. Средняя годовая температура здесь равна -55°C , скорость аккумуляции составляет около $2,2 \text{ г/см}^2$ [6]. На станции Восток с 60-х годов проводятся советскими, а ныне российскими антарктическими экспедициями бурения глубоких скважин с отбором керна для получения долговременных данных. По данным [2] выраженный пик неморского сульфата на глубине около 120-140 см (на 1276 км) соответствует извержению низкоширотного вулкана Пинатубо (1991 г.) и может служить возрастным маркером снежного разреза. С использованием данных по современной скорости аккумуляции снега [6] было проведено условное датирование снежного разреза. При анализе атмосферной циркуляции была использована типизация макроциркуляционных процессов, предложенная Б.Л. Дзердзеевским [3].

Результаты. Исследовав распределение концентрации натрия в снежном покрове, были выявлены периоды увеличения и уменьшения ионов натрия. Максимальные концентрации натрия наблюдались в 1977-1980, 1988-1998, 2004-2005 годах, а минимальные за 1981-1987, 1999-2003, 2006-2008 годы. С целью выявления макропроцессов, способствующих увеличению или уменьшению переноса ионов натрия в район станции Восток, проанализирована суммарная годовая продолжительность всех групп циркуляции по Б.Л. Дзердзеевскому [3] применительно к восточно-антарктическому сектору Южного полушария в годы с максимальным и минимальным содержанием натрия в снеге.

Анализ суммарной годовой продолжительности каждого элементарного циркуляционного механизма (ЭЦМ) в годы с максимальным и минимальным содержанием ионов натрия в снеге позволил выявить ЭЦМ, в наибольшей степени влияющие на перенос морских аэрозолей в центральные районы Антарктиды.

Наиболее часто встречается ЭЦМ 12а (рис. 2) – 4 блокирующих процесса, над Тихим и Атлантическим океанами и над Южной Америкой и Восточной Антарктидой, сопровождающиеся выходом циклонов из низких широт в высокие также в четырёх секторах. Этот ЭЦМ может наблюдаться весь год и преобладает в переходные сезоны. Наибольшая турбулентность над всеми внетропическими широтами Южного полушария обеспечивает максимальное поступление морских ионов. Следующим по значимости является ЭЦМ 9а с двумя блокирующими процессами над Тихим и Атлантическим океанами. ЭЦМ 9а встречается с марта по октябрь. При этих процессах также происходит выход циклонов из низких широт в высокие: вдоль западных берегов Южной Америки и Австралии, что, вероятно, и способствует насыщению воздуха морскими ионами. Наибольшая продолжительность этих макропроцессов (40 дней) отмечалась в 2005 году, когда наблюдался пик содержания натрия в снеге.

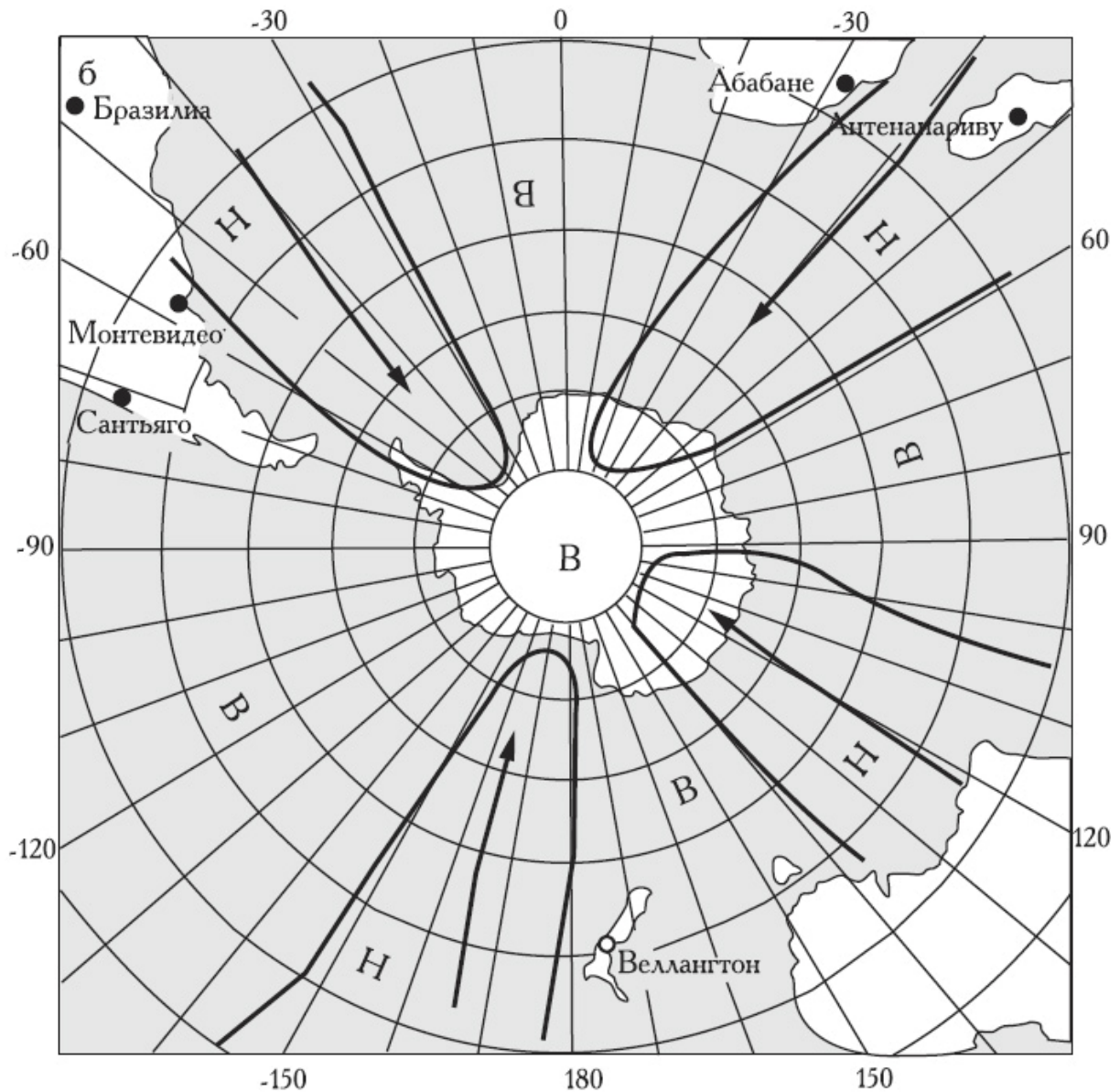


Рис. 2. Динамическая схема ЭЦМ 12 а в южном полушарии по [4]. Стрелки – траектории циклонов.

Нужно отметить и ЭЦМ 12бз, летний для южного полушария, с тремя блокирующими процессами, один из которых расположен над восточно-антарктическим сектором, и тремя выходами циклонов из низких широт в высокие. Его суммарная продолжительность в годы с повышенным содержанием ионов натрия в три раза больше его продолжительности за период с пониженным содержанием рассматриваемых ионов. И, наконец, ЭЦМ 11а, тоже летний для Южного полушария, с двумя блокирующими процессами, над восточно-антарктическим и американским секторами, и выходом циклонов из низких широт в высокие вдоль тихоокеанского побережья Антарктиды. Наибольшая продолжительность указанного ЭЦМ отмечалась в 1994 г.

Нельзя не отметить существенную продолжительность ЭЦМ с циклонической циркуляцией на полюсе и тремя-четырьмя выходами циклонов из низких широт в высокие, летнего для Южного полушария ЭЦМ 13з (в сумме 380 дней в годы с повышенным содержанием натрия) и зимнего ЭЦМ 13л (516 дней). Однако и в годы с пониженным содержанием натрия их продолжительность немногим меньше (341 и 449 дней соответственно), что не позволяет их рассматривать как существенно влияющие на перенос морских ионов.

Продолжительность других ЭЦМ в годы с повышенным содержанием ионов натрия невелика, поэтому отдельно не рассматривается.

Заключение. В наибольшей степени увеличению морского иона (Na^+) в снеге Восточной Антарктиды способствует меридиональная группа циркуляции. Это макропроцессы с формированием мощных антарктических антициклонов и соединением их полосами повышенного давления, проходящими через восточно-антарктический сектор, с океаническими антициклонами (группы IV и VI). Значительный вклад вносит также группа II, при которой блокирующий процесс в рассматриваемом секторе сопровождается выходом циклонов из низких в высокие широты.

Уменьшение потока ионов натрия происходит при широтной циркуляции над исследуемым сектором. При двух таких группах (III и V), хотя и отмечается увеличение продолжительности в годы с повышенным содержанием натрия, но оно соизмеримо с продолжительностью группы в одном году, а различия в сумме лет с повышенным и пониженным содержанием натрия как раз и равны одному году, поэтому эти различия признаны несущественными. Возможно, что уменьшение содержания натрия в снеге связано и с ослаблением циклонической деятельности по мере удаления от основного источника – океана.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность Н.К. Кононовой за консультации и ценные советы по применению типизации Б.Л. Дзердзеевского к выбранному району исследования.

Литература

1. *Аверьянов В.Г.* Гляциоклиматология Антарктиды // Л.: Гидрометеиздат. 1990. 198 с.
2. *Голобокова Л.П., Ходжер Т.В., Шибает Ю.А., Луненков В.Я., Petit J.-R.* Изменение химического состава приповерхностного снега в Восточной Антарктиде по мере удаления от побережья // *Лёд и снег*, 2012, №4, с. 129-137.
3. *Дзердзеевский Б.Л.* Избранные труды. Общая циркуляция атмосферы и климат. Москва, "Наука", 1975, 288 с.

4. Кононова Н.К., О.В. Луценко, М.Е. Макарова, И.А. Орлов. Циркуляция атмосферы в Антарктике в конце XX - начале XXI веков // Материалы гляциологических исследований, 103, 2007, с. 142-147.
5. Справочник по климату Антарктиды. Том III. Л.: Гидрометеиздат. 1981. 272 с.
6. Ekaykin, A.A., Lipenkov, V.Ya., Kuzmina, I.N., Petit, J.R., Masson-Delmotte, V., and Johnsen, S.J. The changes in isotope composition and accumulation of snow at Vostok station, East Antarctica, over the past 200 years, Ann. Glaciol., 39, 569-575, 2004.
7. Legrand, M. R., Lorius, C., Barkov, N. I., and Petrov, V. N. Vostok (Antarctica) ice core: Atmospheric chemistry changes over the last climatic cycle (160,000 years), Atmospheric Environment, 22, 317-331, 1988.

Вплив макроциркуляційних процесів на перенесення морського аерозоля у внутрішні райони східної Антарктиди

Осіпова О.П.

Було проаналізовано різні групи циркуляції стосовно Східно-Антарктичного сектора Південної півкулі в роки з максимальним і мінімальним вмістом морського іона (Na⁺) в снігу за останні десятиріччя. Було виявлено макропроцеси, що сприяють збільшенню або зменшенню вмісту іонів натрію.

Ключові слова: циркуляція атмосфери, елементарний циркуляційний механізм (ЕЦМ), циклони, антициклони, блокуючі процеси, Східна Антарктида, іони натрію.

Influence of macrocirculation processes on transfer of seawater aerosol in the internal areas of East Antarctica

Osipova O.P.

Different groups of circulation were analysed in relation to the sector of East Antarctica of the South hemisphere in years with maximal and minimum seawater ion concentration (Na⁺) in snow for the last decades. Large-scale processes, which is favourable to increase or reduction of sodium ion concentration, are revealed.

Keywords: circulation of atmosphere, elementary circulation mechanism (ECM), cyclones, anticyclones, blocking processes, East Antarctica, sodium ions.