

**Physico-mathematical Sciences****Физико-математические науки**

UDC 574: 539.1.04

**El Nino / Southern Oscillation and beryllium-7 ( $^7\text{Be}$ ) Concentration in the Atmospheric Boundary Layer**<sup>1</sup>Gennady F. Batrakov<sup>2</sup>Dmitry A. Kremenchutsky<sup>3</sup>Aleksandr V. Kholoptsev<sup>1-2</sup>National Academy of sciences of Ukraine, Ukraine

Marine Hydrophysical Institute

99001, Sevastopol, Kapitanskia, 2

<sup>1</sup>PhD (Physical-Mathematical), Senior Researcher

E-mail: batrakovgf@gmail.com

<sup>2</sup>Senior engineer

E-mail: d.kremenchutsky@gmail.com

<sup>3</sup>Sevastopol National Technical University, Ukraine

99053, Sevastopol, Yniversitetskia, 33

Dr. (Giografy), Professor

E-mail: kholoptsev@mail.ru

**Abstract.** The influence of El Nino / Southern Oscillation (ENSO) on the atmospheric concentration of beryllium-7 ( $^7\text{Be}$ ) in five points situated in South America: Guayaquil, Lima, Anafagasta, Puerto Montt and Punta Arens was investigated. By using correlation analysis it was found that significant statistical relationship between the variability of concentration of  $^7\text{Be}$  and variability of indices NINO 1+2 and NINO 3 take place in Guayaquil and Puerto Montt. In these cities during the period 1967–1998 yr. there was increased of statistical relationships between the variability of concentration of  $^7\text{Be}$  and variation of the indices. The results indicate that ENSO most significant effect on the atmospheric concentration of the isotope in the regions located in the subequatorial and subtropical climatic belts. Moreover, such an effect on the time interval 1967–1998 yr., the second half of which corresponds to the period of modern global warming, has increased significantly.

**Keywords:** concentration; index; cosmic rays;  $^7\text{Be}$ ; El Nino.

**Введение.** Бериллий-7 ( $^7\text{Be}$ ) – космогенный радиоактивный изотоп. Он образуется в атмосфере по реакциям:  $^{14}\text{N} (n,3p5n)^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{N} (p,4p4n)^7\text{Be}$ ,  $^{16}\text{O} (p,5p5n)^7\text{Be}$ . Скорость образования  $^7\text{Be}$  под действием космических лучей изменяется с высотой и широтой и во времени в соответствии с 11 летним солнечным циклом. По некоторым оценкам [1], 70 %  $^7\text{Be}$  образуется в стратосфере, а 30 % в тропосфере. Образовавшийся в стратосфере  $^7\text{Be}$  окисляется и адсорбируется на аэрозолях, а затем поступает в тропосферу за счёт турбулентного обмена и при вторжениях стратосферного воздуха, которые происходят в основном через разрывы тропопаузы, в весенние месяцы [2].

Научный интерес к  $^7\text{Be}$  обусловлено тем, что этот изотоп используется при решении ряда задач: оценка вторжения стратосферных воздушных масс в приземную атмосферу [2]; влияние транспортных траекторий и выпадающих осадков на состав морских аэрозольных частиц [3]; вертикальный транспорт аэрозолей в тропосфере [4]; оценка сухих выпадений  $\text{SO}_2$  из атмосферы на земную поверхность [5] и др.

Мониторинг содержания  $^7\text{Be}$  в атмосфере проводится в более чем 100 пунктах на Земле [6].

К числу метеорологических факторов, влияющих на характеристики переноса в атмосфере аэрозолей, относятся: температура приземного слоя атмосферы, влияющая на его

устойчивость, а также характеристики переноса веществ по вертикали [7]; интенсивность атмосферных осадков, при выпадении которых из приземного слоя атмосферы вымываются содержащиеся в нем частицы аэрозоля, а значит и  $^{7}\text{Be}$  [8]; дальность видимости, зависящая от характеристик распределения по размерам присутствующих в приземном слое атмосферы частиц аэрозоля [9]; скорость ветра в приземном слое атмосферы, влияющая на характеристики распределения аэрозолей по размерам [10].

Характеристикам перечисленных метеорологических процессов свойственна пространственно-временная изменчивость, существенное влияние на которую оказывают крупномасштабные процессы в системе океан-атмосфера [11,12].

Мощнейшим среди всех известных ныне подобных процессов является Эль-Ниньо / Южное колебание (далее ЭНЮК), ощутимо влияющие на изменения метеоусловий во всей тропической зоне нашей планеты [13] и далеко за ее пределами [14]. Указанный процесс зарождается в восточном секторе тропической зоны Тихого океана, у берегов Панамы, Эквадора и Перу. Это позволяет предполагать, что его влияние на изменения состава аэрозоля в приземном слое атмосферы данного региона, а значит и концентрации в нём  $^{7}\text{Be}$  может быть наиболее ощутимым. Впервые влияние ЭНЮК на концентрацию  $^{7}\text{Be}$  с помощью сингулярного разложения было исследовано Коч и Манн [15]. Они оценили процентный вклад ЭНЮК в вариации  $^{7}\text{Be}$  для некоторых регионов.

Цель предлагаемой работы – исследовать влияние ЭНЮК на концентрацию  $^{7}\text{Be}$  в приземной атмосфере пяти пунктов Южной Америки.

**Материал и методы.** При анализе использовались среднемесячные значения индексов ЭНЮК с января 1950 г., представленные в [16]. К числу наиболее наглядных характеристик этого процесса относятся индексы NINO1-4, рассчитываемые как средние поверхностные температуры акваторий приэкваториальной зоны Тихого океана, расположение которых показано в табл. 1.

Как видно из табл. 1, акватории, для которых рассчитываются значения упомянутых индексов, практически полностью перекрывают всю приэкваториальную зону Тихого океана, начиная непосредственно от берегов Южной Америки. На рис. 1, в качестве примера, представлены среднегодовые значения индексов NINO 1+2 и NINO 3.

Таблица 1.

### Границы акваторий используемых для вычисления индексов ЭНЮК

Индекс ЭНЮК	Границы по широте		Границы по долготе	
	NINO 1+2	0°	10° S	90°W
NINO 3	5°N	5° S	150°W	90°W
NINO 3+4	5°N	5° S	170°W	120°W
NINO 4	5°N	5° S	160°E	150°W

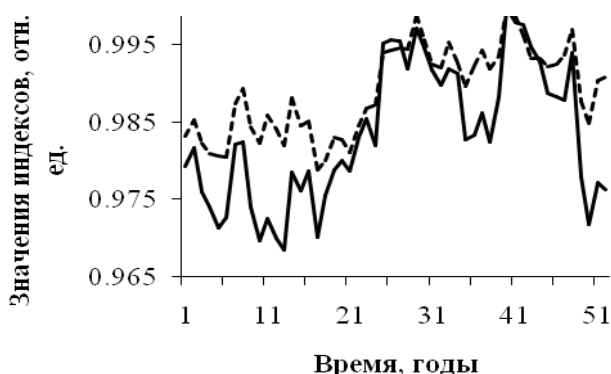


Рис. 1. Зависимости от года начала скользящего окна протяженностью 10 лет усредненных по нему, нормированных к максимумам, среднегодовых значений индексов NINO 1+2 (сплошная линия) и NINO 3 (пунктирная линия), согласно данным [16]

Как следует из рис. 1, усредненные за десятилетие среднегодовые значения индексов NINO 1+2 и NINO 3 существенно зависят от года его начала. Для десятилетий, начинающихся с 1950–1975 гг., а также 1999–2000 гг. значения рассматриваемых характеристик ощутимо меньше, чем для десятилетий, начинающихся с 1976–1998 гг. При этом в десятилетиях, начинающихся с 1989–2000 гг. преобладали тенденции к уменьшению данных характеристик ЭНЮК. Наиболее заметны указанные особенности для зависимости, соответствующей индексу NINO 1+2. Последнее позволяет предполагать, что в период до 1998 г. реакции рассматриваемых географических процессов на становящееся все более мощным ЭНЮК могли усиливаться, а в последующий период – ослабевать.

Несмотря на наличие дальних связей в климатической системе планеты наиболее ощутимое влияние ЭНЮК сказывается в Тропических и Субэкваториальных климатических поясах.

Координаты рассматриваемых станций наблюдений приведены в табл. 2. Выбор рассмотренных пунктов в качестве репрезентативных позволяет оценить значимость влияния на изменчивость активности  $^7\text{Be}$  всех упомянутых выше факторов.

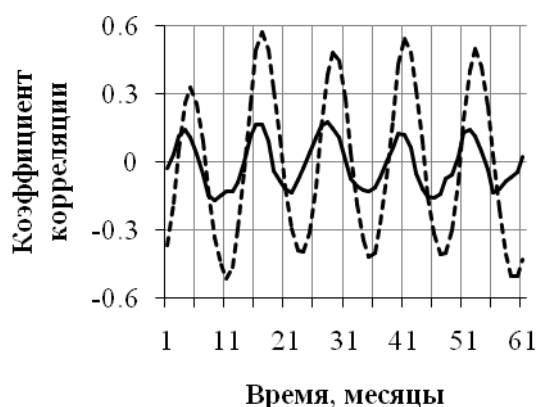
Таблица 2.

### Расположение станций наблюдений

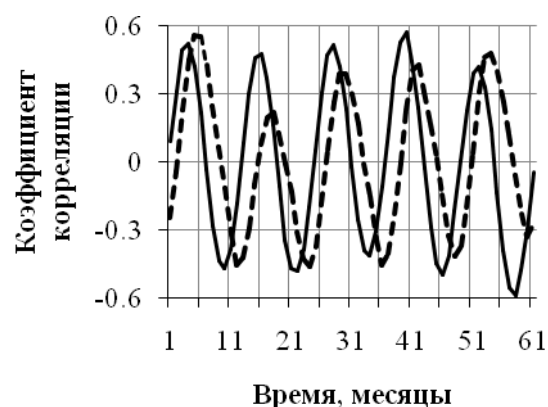
№	Пункт	Регион	Широта	Долгота
1.	г. Гуаякиль	Эквадор	2°10' S	79° 52' W
2.	г. Лима	Перу	12°1' S	77° 8' W
3.	г. Анафагаста	Чили	23°37' S	70° 16' W
4.	г. Пуэрто Монт	Чили	41°27' S	72° 57' W
5.	г. Пунто-Аренас	Чили	53°8' S	70° 53' W

Данные по концентрации  $^7\text{Be}$  в приземном слое атмосферы в указанных пунктах были взяты нами из работы [17]. Исследование взаимосвязи ЭНЮК и концентрации  $^7\text{Be}$  в приземной атмосфере осуществлялось с использованием корреляционного анализа.

**Результаты и их обсуждение.** На рис. 2 представлены взаимокорреляционные функции изменений концентраций  $^7\text{Be}$  индекса NINO 1+2. Как следует из рис. 2, что во всех репрезентативных пунктах взаимокорреляционные функции изучаемых процессов носят осциллирующий характер с периодом 1 год. Данная особенность объясняется тем, что годовая составляющая присутствует и в изменениях концентрации  $^7\text{Be}$  и в изменениях индексов NINO 1+2 и NINO 3.



А



Б

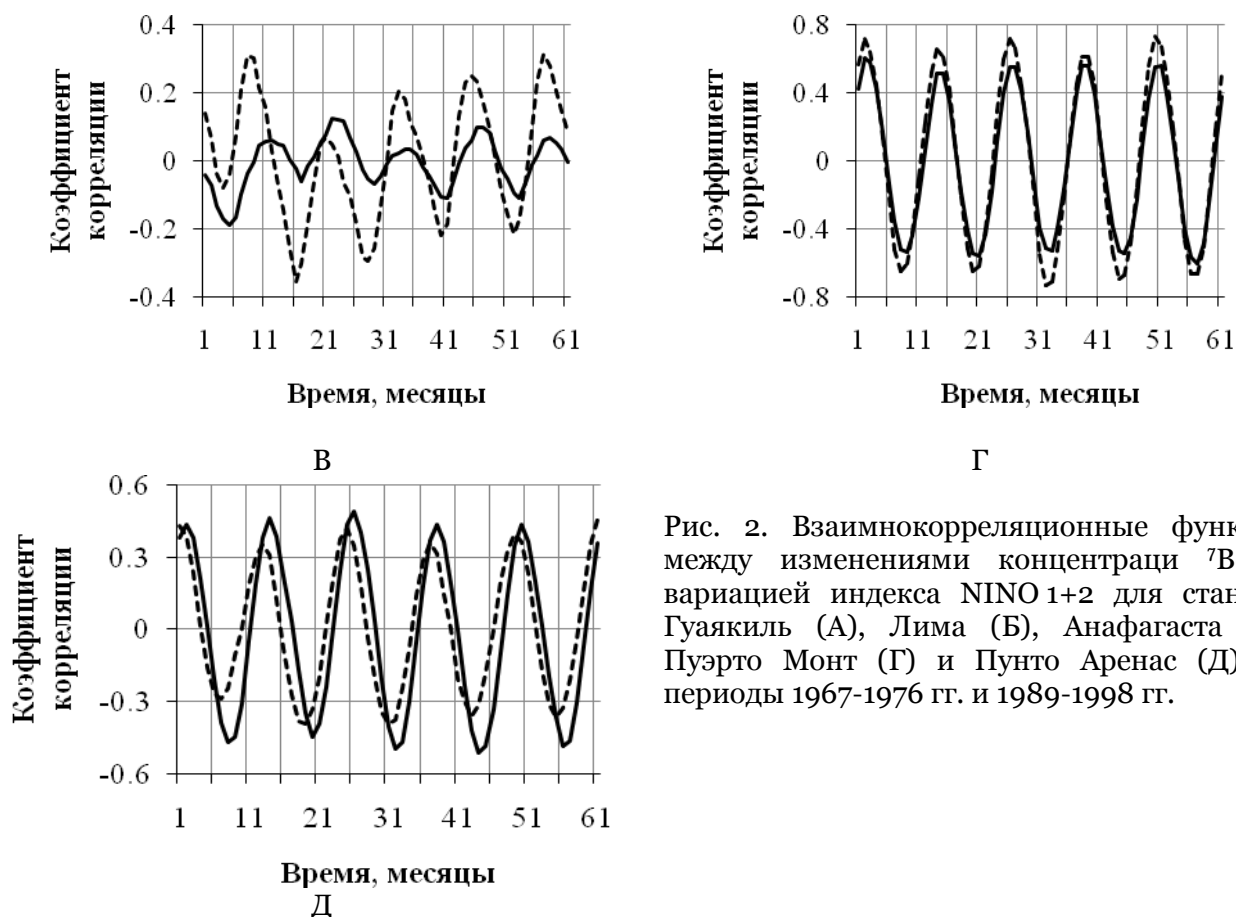


Рис. 2. Взаимнокорреляционные функции между изменениями концентрации  $^7\text{Be}$  и вариацией индекса NINO 1+2 для станций Гуаякиль (А), Лима (Б), Анафагаста (В), Пуэрто Монт (Г) и Пунто Аренас (Д) в периоды 1967-1976 гг. и 1989-1998 гг.

Как следует из рис. 2А, статистическая связь вариаций индекса NINO 1+2 и изменений активности  $^7\text{Be}$  в приземном слое атмосферы над городом Гуаякиль, оцененных за период 1989–1999 гг, существенно превосходит ее уровень, соответствующий интервалу 1967–1976 гг.

При сдвигах между фрагментами временных рядов, соответствующих максимумам взаимнокорреляционной функции этих процессов, рассчитанной для интервала 1989–1998 гг. статистические выводы о значимости связей между ними, характеризуется достоверностью не ниже 95 %.

Данный результат соответствует представлениям о процессе ЭНЮК, зарождающемся у берегов Панамы, Эквадора и Колумбии, оказывающем существенное влияние на изменения метеоусловий в Перу, а также в северных и центральных провинциях Чили. Именно поэтому, как видно из рис. 2Б, статистические связи между изучаемыми процессами в п. Лима также были значимыми на промежутках времени как 1967–1976 гг., так и 1989–1998 гг.

Следует отметить, что в отличие от п. Гуаякиль, здесь, на первом из указанных промежутков, статистические связи между ними были сильнее, чем на втором (за разделяющее их время значимость рассматриваемого фактора несколько снизилась). Противоположные изменения произошли в п. Анафагуста. В этом нетрудно убедиться, сопоставив показанные на рис. 2В взаимнокорреляционные функции фрагментов временных рядов концентрации  $^7\text{Be}$  в соответствующем сегменте приземного слоя атмосферы, а также опережающих их по времени рядов NINO 1+2. Отметим, что практически при любых временных сдвигах между этими процессами связи между ними, оцененные за период 1989–1998 гг. сильнее, чем за период 1967–1976 гг.

Усиление статистических связей между ЭНЮК и концентрацией  $^7\text{Be}$  в приземном слое атмосферы за период 1967–1998 гг. произошло и в п. Пуэрто Монт. Это следует из сопоставлений соответствующих функций взаимной корреляции рассматриваемых процессов, представленных на рис. 2Г.

В г. Пунта Арена, расположенном в умеренном климатическом поясе, за тот же период выявлено некоторое ослабление статистических связей изменчивости активности  $^7\text{Be}$  в приземном слое атмосферы, а также вариаций NINO 1+2.

**Выводы.** Полученные результаты свидетельствуют о том, что ЭНЮК наиболее существенно влияет на концентрацию  $^7\text{Be}$  в приземной атмосфере в регионах Субэкваториального и Субтропического климатических поясов. Причем подобное влияние на отрезке времени 1967–1998 гг., вторая половина которого соответствует периоду современного потепления климата, существенно усилилось. Данный факт позволяет связывать произошедшие усиление связей ЭНЮК с изучаемым процессом, с имевшими место изменениями характеристик соответствующих региональных климатов.

#### Примечания:

1. Батраков Г.Ф. Радиоактивные изотопы в атмосфере и океане. Севастополь: НПЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика", 2012. 376 с.
2. Шакина Н.П. Анализ случаев атмосферных вторжений, сопровождаемых повышением радиоактивности в приземном воздухе / Н.П. Шакина, И.Н. Кузнецова, А.Р. Иванова // Метеорология и гидрология. 2000. №2. С. 53-59.
3. Arimoto R. Influences of atmospheric transport pathways on radionuclide activities in aerosol particles from over the North Atlantic / R. Arimoto, J. A. Snow, W. C. Graustein, et al. // J. Geophys. Res. 1999. Vol. 104. № D 17. P. 21301–21316.
4. Koch D. M. Vertical transport of tropospheric aerosols as indicated by  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in a chemical tracer model / D.M. Koch, D.J. Jacob, W.C. Graustein // J. Geophys. Res. 1996. Vol. 101. P. 18651–18666.
5. Tanaka N. Determination of the dry deposition flux of  $\text{SO}_2$  using cosmogenic  $^{35}\text{S}$  and  $^7\text{Be}$  measurements / N. Tanaka, K.K. Turekian // J. Geophys. Res. 1995. Vol. 100. № D2. P. 2841–2848.
6. Brost R. Three-Dimensional Simulation of  $^7\text{Be}$  in a Global Climate Model / R. Brost, J. Feichter, M. Heimann // J. Geophys. Res. 1991. Vol. 96. № D 12. P. 22423–22445.
7. Salby M.L. Fundamentals of Atmospheric Physics / M. L. Salby // New York: Academic Press. 1996. 560 p.
8. Школьный С.П. Физика атмосферы: Одеса. 1997. 698 с.
9. Дорофеев В.В. Наклонная дальность видимости. Воронеж: ВАИУ. 2007. 209 с.
10. Горчаков Г.И. Исследование выноса субмикронного аэрозоля с подстилающей поверхности / Г.И. Горчаков // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13. № 2. С. 166–170.
11. Китайгородский С.А. Физика взаимодействия океана и атмосферы. Л.: Гидрометеоздат. 1970. 284 с.
12. Полонский А.Б. Роль океана в изменениях климата. Киев: Наукова думка. 2008. 184 с.
13. Сидоренков Н.С. Характеристики явления Южное колебание – Эль-Ниньо / Н.С. Сидоренков // Труды гидрометцентра СССР. 1991. Вып. 3. С. 31–44.
14. Груза Г.В. О связи климатических аномалий на территории России с явлением Эль-Ниньо – Южное колебание / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Л.К. Клещенко и др. // Метеорология и гидрология. 1999. №5. С. 32–51.
15. Koch D. Spational and temporal variability of  $^7\text{Be}$  surface concentrations / D. Koch, M. Mann // Tellus. 1996. 48B. P. 387–396.
16. NOAA Earth System Research Laboratory [Электронный ресурс]. – <http://www.esrl.noaa.gov> (Дата обращения 01.12.2012).
17. EML. Surface air sampling program database [Электронный ресурс]. – <http://www.eml.st.dhs.gov> (Дата обращения 01.12.2012).

#### References:

1. Batrakov G.F. Radioaktivnye izotopy v atmosfere i okeane. Sevastopol': NPTs "EKOSI-Gidrofizika", 2012. 376 с.
2. Shakina N.P. Analiz sluchaev atmosferynykh vtorzhenii, soprovozhdaemykh povysheniem radioaktivnosti v prizemnom vozdukhe / N.P. Shakina, I.N. Kuznetsova, A.R. Ivanova // Meteorologiya i gidrologiya. 2000. №2. S. 53-59.

3. Shkol'nii S.P. Fizika atmosfery: Odesa. 1997. 698 s.
4. Dorofeev V.V. Naklonnaya dal'nost' vidimosti. Voronezh: VAIU. 2007. 209 s.
5. Gorchakov G.I. Issledovanie vynosa submikronnogo aerolya s podstilayushchei poverkhnosti / G.I. Gorchakov // Optika atmosfery i okeana. 2000. T. 13. № 2. S. 166–170.
6. Kitaigorodskii S.A. Fizika vzaimodeistviya okeana i atmosfery. L.: Gidrometeoizdat. 1970. 284 s.
7. Polonskii A.B. Rol' okeana v izmeneniyakh klimata. Kiev: Naukova dumka. 2008. 184 s.
8. Sidorenkov N.S. Kharakteristiki yavleniya Yuzhnoe kolebanie – El'-Nin'o / N.S. Sidorenkov // Trudy gidromettsentra SSSR. 1991. Vyp. 3. S. 31–44.
9. Gruza G.V. O svyazi klimaticheskikh anomalii na territorii Rossii s yavleniem El'-Nin'o – Yuzhnoe kolebanie / G.V. Gruza, E.Ya. Ran'kova, L.K. Kleshchenko i dr. // Meteorologiya i gidrologiya. 1999. №5. S. 32–51.
10. NOAA Earth System Research Laboratory [Elektronnyi resurs]. – <http://www.esrl.noaa.gov> (Data obrashcheniya 01.12.2012).
11. EML. Surface air sampling program database [Elektronnyi resurs]. – <http://www.eml.st.dhs.gov> (Data obrashcheniya 01.12.2012).

УДК 574: 539.1.04

### **Эль-ниньо / Южное колебание и концентрация бериллия-7 (<sup>7</sup>Be) в приземном слое атмосферы**

<sup>1</sup>Геннадий Ф. Батраков

<sup>2</sup>Дмитрий А. Кременчуцкий

<sup>3</sup>Александр В. Холопцев

<sup>1-2</sup> Морской гидрофизический институт НАН Украины, Украина  
99001, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

<sup>1</sup> Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник  
E-mail: batrakovgf@gmail.com

<sup>2</sup> Ведущий инженер

E-mail: d.kremenchutsky@gmail.com

<sup>3</sup> Севастопольский национальный технический университет, Украина  
99053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

Доктор географических наук, профессор

E-mail: kholoptsev@mail.ru

**Аннотация.** Исследовано влияние Эль-Ниньо/Южное Колебание (ЭНЮК) на концентрацию бериллия-7 (<sup>7</sup>Be) в приземной атмосфере в пяти пунктах расположенных в Южной Америке: Гуаякиль, Лима, Анафагаста, Пуэрто Монт и Пунто Аренс. С помощью корреляционного анализа установлено, что существенные статистические связи между изменчивостью концентрацией <sup>7</sup>Be и изменчивостью индексов NINO 1+2 и NINO 3 имеют место в Гуаякиль и Пуэрто Монт. В этих городах в период 1967–1998 гг. произошло усиление статистических связей между изменчивостью концентрации <sup>7</sup>Be и изменчивостью индексов ЭНЮК. Полученные результаты свидетельствуют о том, что ЭНЮК наиболее существенно влияет на концентрацию <sup>7</sup>Be в приземной атмосфере в регионах Субэкваториального и Субтропического климатических поясов. Причем, подобное влияние на отрезке времени 1967–1998 гг., вторая половина которого соответствует периоду современного потепления климата, существенно усилилось.

**Ключевые слова:** концентрация; индекс; космические лучи; <sup>7</sup>Be; Эль-Ниньо.