

ОСОБЕННОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА И ИНДЕКСОВ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ НАД УКРАИНОЙ

Рассмотрены особенности статистической связи межгодовых изменений среднемесячных значений общего содержания озона и индексов грозовой активности над Украиной при современном изменении климата. Установлено наличие значимой взаимосвязи между рассматриваемыми процессами за период с 1979 по 2006 гг. в Карпатском регионе, а также районах Днепропетровской, Кировоградской и Киевской областей.

Ключевые слова: *общее содержание озона, индекс грозовой активности, корреляция, значимость.*

Введение. Грозы – это одно из опасных явлений природы, ежегодно вызывающих пожары, гибель людей и животных, а также существенно осложняющих работу воздушного транспорта. Учитывая это, совершенствование методов моделирования динамики характеристик грозовой активности над различными регионами планеты является актуальной проблемой физической географии, а также безопасности жизнедеятельности.

Наиболее актуальным решение данной проблемы представляется для густонаселенных и экономически развитых регионов планеты, к числу которых относятся также территории различных областей Украины.

Согласно современным представлениям о процессах образования грозы [1], непосредственной причиной ее возникновения является резкое увеличение разности электрических потенциалов между некоторыми слоями атмосферы и земной поверхностью. Такая ситуация чаще всего возникает в областях нарушенной погоды, в которых существуют облака вертикального развития Сb и Cu cong, где благодаря интенсивному турбулентному перемешиванию воздуха, происходит электризация частиц аэрозоля, в том числе – капель воды и ледяных кристаллов [2]. Основными источниками атмосферного электричества являются также космические лучи, ионизирующие излучения, поступающие в атмосферу с земной поверхности, а также солнечная радиация, относящаяся к коротковолновой части ультрафиолетового диапазона [1, 3].

Восходящие воздушные потоки, существующие в облаках Сb и Cu cong, доставляют в нижние слои стратосферы водяной пар и другие вещества, способные участвовать в разрушении стратосферного озона [4], одного из основных поглотителей солнечного ультрафиолета. Поэтому поток составляющих ультрафиолетовой радиации, способных влиять на образование в верхних слоях некоторого сегмента тропосферы свободных носителей электрического заряда, определяется состоянием не только солнечной активности [5], но также самого этого сегмента и соответствующего участка озонового слоя [1- 3, 6].

Указанные факты позволяют предполагать, что пространственно-временная изменчивость среднемесячных значений общего содержания озона (ОСО) над некоторыми регионами нашей планеты, а также динамика свойственных им распределений индекса грозовой активности (ИГА) могут быть значимо связаны между собой. Существование связи между ними не очевидно, поскольку упомянутые процессы представляют собой качественно различные региональные отклики на крупномасштабные процессы, происходящие в климатической системе планеты. Несмотря на то, что эти отклики порождаются одними и теми же воздействиями, соответствующие им особенности мо-

гут ощутимо различаться, вследствие чего непосредственная статистическая связь между рассматриваемыми региональными процессами может и отсутствовать.

Мониторинг ОСО в атмосфере начал впервые осуществляться в 1926 г. в п. Ароза (Добсон, младший) [4, 7]. На территории Украины во второй половине XX века действовало шесть озонметрических станций, входивших в единую сеть мониторинга, созданную в СССР. С 1979 г. над всеми частями ее территории, как и прочими регионами Мира, начал осуществляться спутниковый мониторинг ОСО [7]. Мониторинг ИГА ведется на всех метеостанциях планеты, из которых во второй половине XX века в Украине действовало 184, а его результаты, представлены на сайте [8]. Выявление регионов, где изменения ОСО и ИГА происходят взаимосвязано, позволило бы использовать результаты глобального спутникового мониторинга ОСО при долгосрочном прогнозировании изменений ИГА. Тем не менее, особенности статистической связи межгодовых изменений среднемесячных значений ОСО и ИГА над различными регионами планеты ныне изучены недостаточно, а справедливость сделанного предположения ранее не проверялась.

Учитывая изложенное, в качестве цели данной работы выбрана проверка адекватности данного предположения на примере различных регионов Украины.

При этом объектом исследования являлись межгодовые изменения распределений над территорией Украины ОСО, а также ИГА.

Предметом исследования были особенности статистической связи рассматриваемых процессов, проявившиеся в различных регионах Украины в современный период.

Методика исследования и фактический материал. Для достижения поставленной цели исследования, решены следующие задачи:

1. Анализ статистических связей между изменениями ОСО и ИГА в различные месяцы над всеми регионами Украины, проявившихся за период, на протяжении которого над ними осуществлялся непрерывный мониторинг ОСО.
2. Выявление причин, обуславливающих существование либо отсутствие изучаемых связей над различными регионами Украины.

При решении первой задачи был проведен корреляционный анализ связей межгодовых изменений ОСО над различными регионами Украины, с динамикой соответствующих им значений ИГА.

Поскольку повторяемость гроз над регионами Украины максимальна в летний сезон, а в период с ноября по апрель является нулевой [9], связи между изменениями ИГА и динамикой ОСО изучались лишь для этого сезона.

Временные ряды значений ИГА за указанный сезон, отражающих динамику этой характеристики над областными центрами и наиболее крупными городами всех регионов Украины в период с 1979 г. по 2006 г., были получены путем почленного суммирования рядов, соответствующих всем летним месяцам, представленных на Интернет-сайте [8].

Аналогично рассчитывались члены временных рядов усредненных за летний сезон значений ОСО, соответствующих квадратам территории Украины, размерами 1x1 угловой градус, в пределы которых попадают эти же населенные пункты. Каждый учитываемый временной ряд ОСО получен путем усреднения приходящихся на соответствующий месяц среднесуточных значений общего содержания озона, представленных на Интернет-сайте [7].

Пороговый уровень значения коэффициента корреляции рассматриваемых процессов, превышение которого позволяет с достоверностью 95% сделать вывод о наличии значимой статистической связи между ними, рассчитывался с использованием критерия Стьюдента [10]. Его значение составило – 0,39. Распределение по территории

Украины результатов корреляционного анализа, соответствующих летнему сезону, отображались в виде карт, с использованием метода триангуляции Делоне [11].

Для оценки достоверности выводов аналогичные расчеты проведены также для некоторых пунктов территории Украины, не относящихся к ее областным центрам, а также п. Ароза (Швейцария). Учитывая обеспеченность исходными данными [8], в качестве проверочных пунктов на территории Украины выбраны города Мироновка (Киевская обл), Любашевка (Одесская обл), Черноморское (Автономная Республика Крым), а также Кривой Рог (Днепропетровская обл.), данные для которых не учитывались при построении упомянутой карты.

Полученные в итоге для перечисленных проверочных пунктов значения коэффициента корреляции рассматриваемых процессов, сопоставлялись с их оценками, которые были получены, путем интерполяции по методу Делоне данных, отображенных на той же карте.

При решении второй задачи сопоставлялись соответствующие всем рассматриваемым пунктам зависимости от года начала скользящего окна продолжительностью 10 лет результатов усреднения по нему каждого из сопоставляемых процессов.

Результаты и их анализ. В соответствии с изложенной методикой изучены статистические связи между динамикой соответствующих летнему сезону ОСО, а также ИГА над всеми регионами Украины. Распределения по территории Украины результатов корреляционного анализа связей межгодовых изменений значений ОСО и ИГА за летний сезон приведены на рис. 1. Из рис. 1 следует, что практически на всей территории Украины корреляция между исследуемыми процессами отрицательна (уменьшению ОСО соответствует увеличение ИГА). Положительная корреляция выявлена лишь для прибрежных территорий Крымского полуострова и Приазовской низменности. Вывод о значимости статистических связи между рассматриваемыми процессами с достоверностью не менее 95% может быть сделан лишь для западных и юго-западных регионов Украины (Закарпатская, Ивано-Франковская, Львовская обл.), а также районов Днепропетровской, Кировоградской и Киевской областей, расположенных на Приднепровской возвышенности. С достоверностью менее 95%, но более 90% такой же вывод может быть сделан и для Тернопольской, Ровенской областей, а также территории Керченского полуострова. Из представленной карты может быть сделан вывод о значимости влияния на статистическую связь между изучаемыми процессами ландшафтного фактора. Оно проявляется в том, что на возвышенных территориях их корреляция отрицательна, а на низменных участках побережья Азовского моря – положительна. Результаты сопоставления результатов расчета значений коэффициента корреляции между изменениями ОСО и ИГА за летний сезон для всех проверочных пунктов Украины, а также их оценок, полученных путем интерполяции по карте (рис. 1), представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчета значений коэффициента корреляции между рассматриваемыми процессами в проверочных пунктах, а также их оценки, полученные путем интерполяции по методу Делоне

Пункт	Расчет коэф. корреляции по методике (а)	Расчет коэф. корреляции с исп. интерполяции (в)	Относительное отклонение $C = 100(a - в)/a$
Мироновка	-0,515	-0,45	12,6%
Любашевка	-0,221	-0,15	32,2%
Керчь	0,372	0,32	13,9%
Кривой Рог	-0,323	-0,35	8,3%

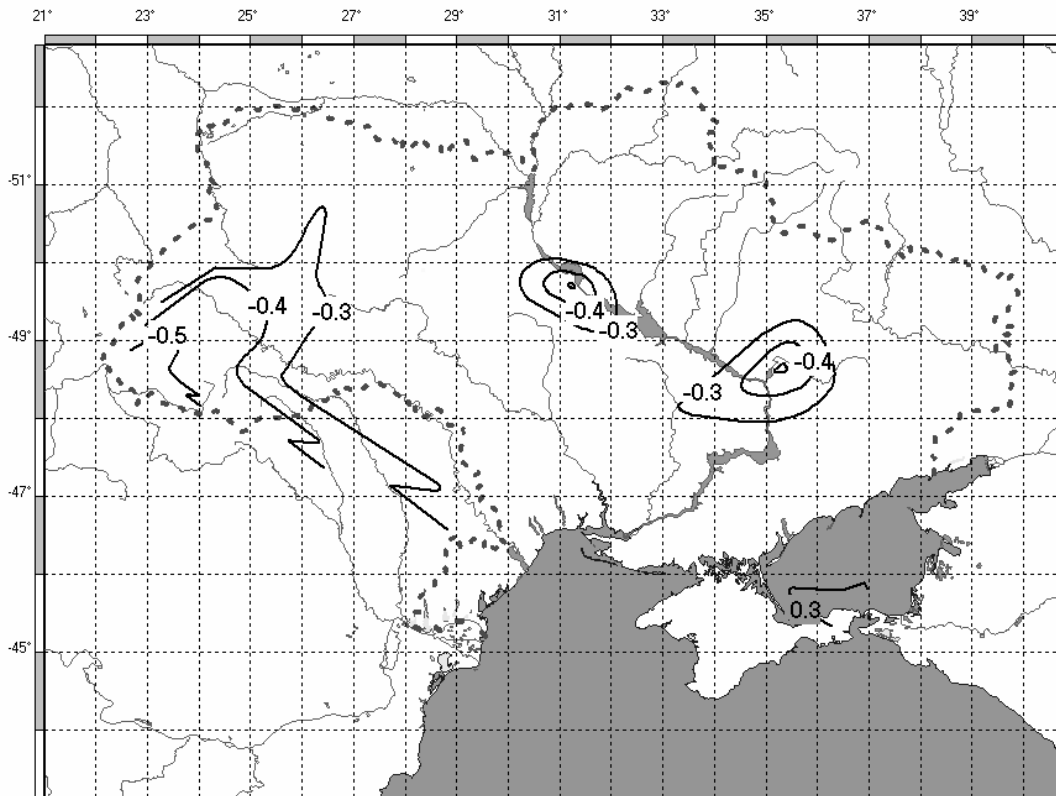


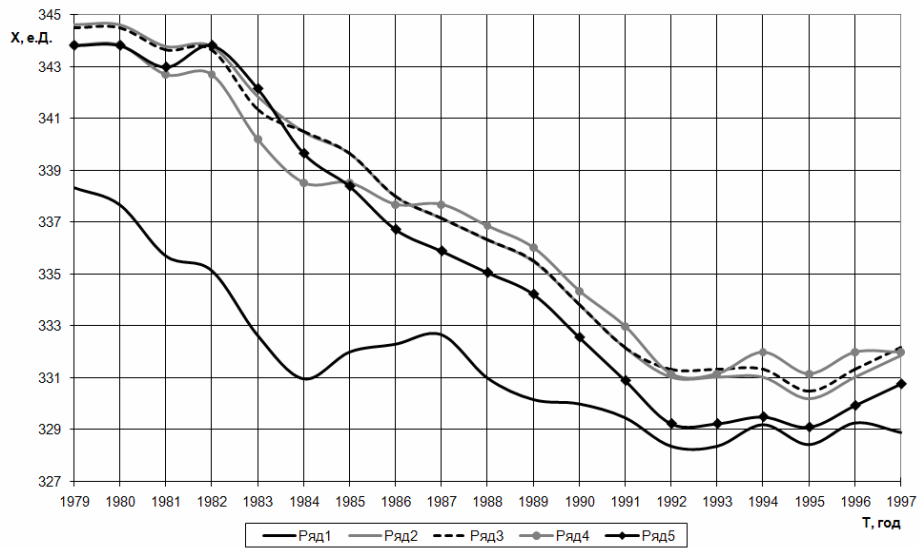
Рис. 1 – Распределения по территории Украины значений коэффициента корреляции соответствующих временных рядов, отображающих межгодовые изменения ОСО и ИГА за летний сезон.

Как видно из табл. 1, между оценками значений коэффициента корреляции между рассматриваемыми процессами в проверочных пунктах, полученными путем интерполяции по карте, представленной на рис. 1, а также результатами их расчета с использованием применяемой методики существует удовлетворительное соответствие. Это свидетельствует о достоверности представленных выводов о качественных закономерностях изучаемых процессов, следующих из рис. 1.

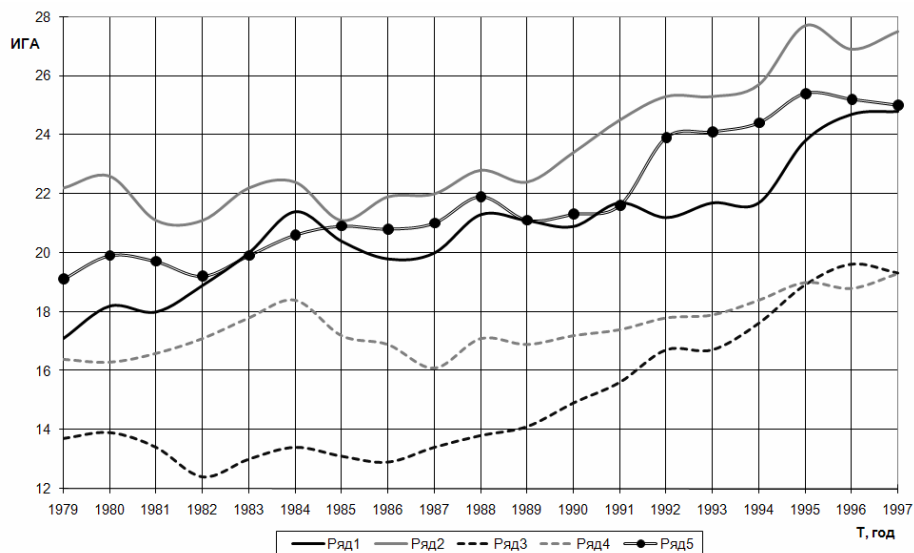
Для выявления целесообразности использования указанных закономерностей при моделировании и прогнозировании рассматриваемых процессов необходимо оценить степень их устойчивости. С этой целью решалась вторая задача.

Сопоставление зависимостей от года начала скользящего окна продолжительностью от 2 до 20 лет результатов усреднения исследуемых процессов показало, что высокая корреляция между ними имеет место для пунктов, где их изменения за рассматриваемый период происходили однонаправлено. В качестве таких примеров на рис. 2 приведены зависимости от года начала скользящего окна длиной 10 лет усредненных по нему значений ОСО и ИГА за летний сезон для городов Днепропетровск, Ивано-Франковск, Львов, Мироновка, Ужгород. Как видно из рис. 2а-б, за период с 1979 по 2006 гг. усредненные в скользящем окне длиной 10 лет значения ОСО за летний сезон над всеми перечисленными пунктами уменьшались, а значения ИГА в среднем увеличивались. Из [1, 2, 9] следует, что изменения ИГА над различными регионами представляют собой колебательные процессы. Поэтому не вызывает сомнения, что существовать сколь угодно долго тенденции этого процесса, следующие из рис. 2б, не могут.

Установлено, что значимая корреляция между динамикой ОСО и ИГА отсутствовала для многих пунктов Украины, где за рассматриваемый период тенденции этих процессов были переменными.



а)

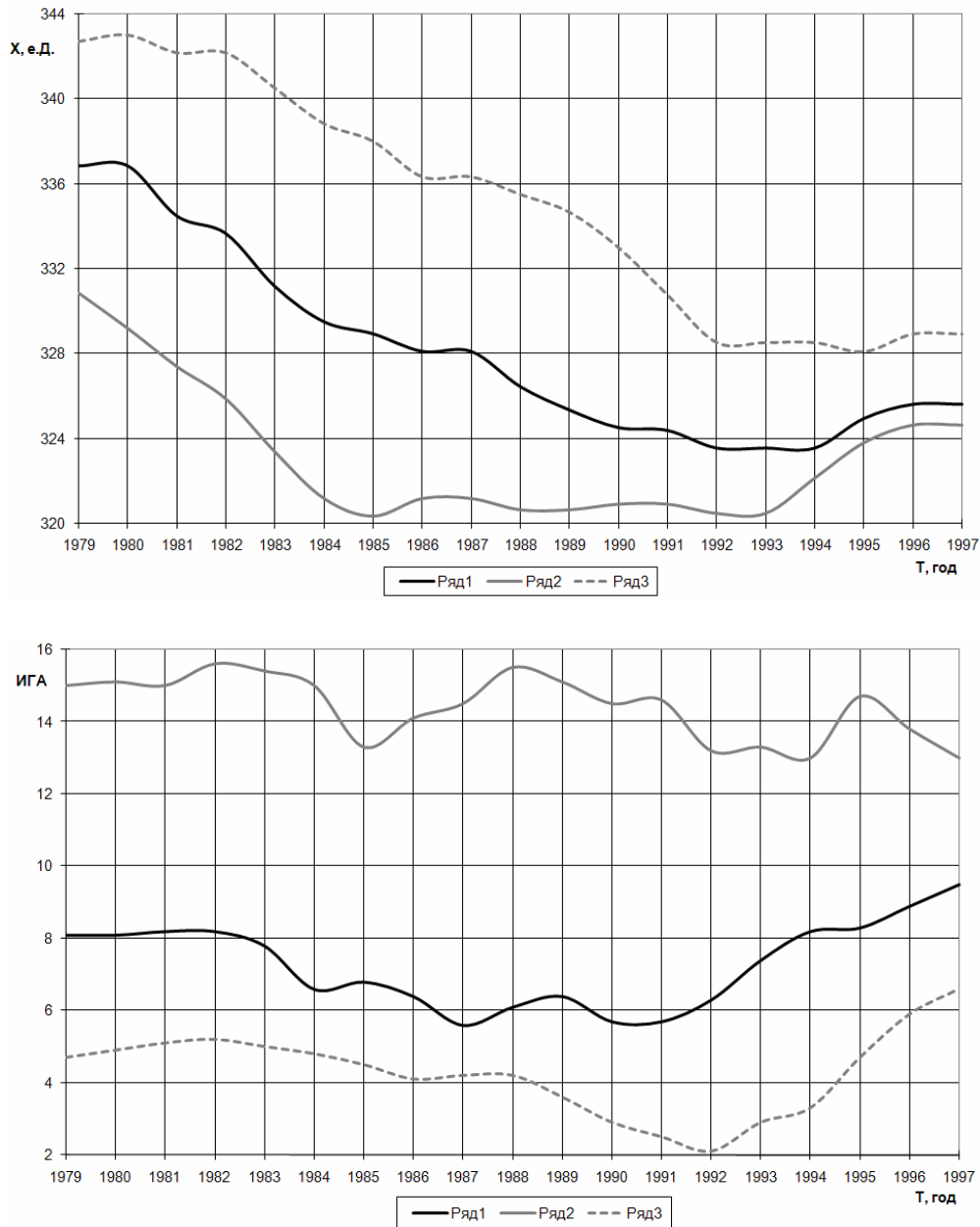


б)

Рис. 2 – Осредненные значения ОСО (а) и индекса грозовой активности (б) за летний сезон для пунктов Днепропетровск (ряд 1), Ивано-Франковск (ряд 2), Львов (ряд 3), Мироновка (ряд 4), Ужгород (ряд 5).

Подобное в частности имеет место для пунктов, расположенных на морских побережьях Украины. В качестве примера на рис. За-б приведены зависимости от года начала скользящего окна длиной 10 лет усредненных по нему значений ОСО и ИГА за летний сезон для городов Черноморское, Керчь, Мариуполь.

Из рис. За видно, что рассчитанные за десятилетия, начинающиеся ранее 1991 г., усредненные значения ОСО за летний сезон над рассматриваемыми пунктами монотонно убывали. В последующие десятилетия их значения монотонно увеличивались.



а)

б)

Рис. 3 – Осредненные значения ОСО (а) и ИГА (б) за летний сезон для пунктов Черноморское (ряд 1), Керчь (ряд 2), Мариуполь (ряд 3).

Из рис. 3б следует, что для п. Черноморское рассчитанные за десятилетия, начинающиеся ранее 1990 года, усредненные значения ИГА за летний сезон имеют тенденцию к убыванию, а в дальнейшем, наоборот, к увеличению. Для п. Керчь рассматриваемая зависимость носила характер колебания, наложенного на убывающий тренд. Для п. Мариуполь монотонное убывание ИГА отмечалось для десятилетий, начинающихся ранее 1992 года, после чего зафиксирован быстрый рост его значений.

Анализ аналогичных зависимостей, рассчитанных для других регионов Украины, позволил установить, что тенденции к монотонному убыванию усредненных за десятилетие значений ОСО в летний период, как и на рис. 2 – 3, в современный период всюду отмечались для десятилетий, начинающихся не позже 1991 г. В последующий период преобладали тенденции к монотонному увеличению их значений. При этом аналогичные зависимости усредненных за десятилетие значений индекса грозовой активности

носили волнообразный характер, причем фазы этих колебаний в различных регионах существенно различались.

Регионами Украины, где фазы изменений значения индекса грозовой активности, усредненных за десятилетия, начинающиеся после 1993 г., были возрастающими, являются: Винницкая, Ивано-Франковская, Закарпатская, Киевская, Днепропетровская, Львовская, Ровенская, Харьковская, Черновицкая области, а также г. Киев.

Полученные результаты соответствуют представлениям о том, что межгодовые изменения ИГА над различными регионами планеты являются колебательными процессами, энергетические спектры которых содержат существенные составляющие с периодами, близкими к значениям периода цикла Шнитникова (33 г.). Начальные фазы этих составляющих существенно зависят от географического положения региона.

При этом изменения ОСО в период с начала непрерывного мониторинга (после 1932 г.) носили существенно нестационарный характер, что подтверждается представленной на рис. 4 зависимостью усредненных в скользящем окне продолжительностью 10 лет значений ОСО за летний сезон над п. Ароза, от года начала этого окна. Как видим из рис. 4, в десятилетия, начинавшиеся ранее 1968 г., изменения усредненных по ним ОСО над п. Ароза представляли собой осцилляции с амплитудами и периодами, увеличивающимися с течением времени. В десятилетия, начинающиеся позже 1968 г., рассматриваемая характеристика над Арозой, как и различными пунктами Украины (рис. 2а, 3а) убывала практически монотонно, а период этого процесса ощутимо превышал 33 года. Последнее свидетельствует о том, что выявленные особенности статистической связи ОСО и ИГА над регионами Украины могут рассматриваться как устойчивые лишь на отрезках времени, на которых различиями законов изменения их фаз можно пренебречь. Продолжительность таких отрезков, вероятно, не превышает 10 – 15 лет (рис. 2, 3).

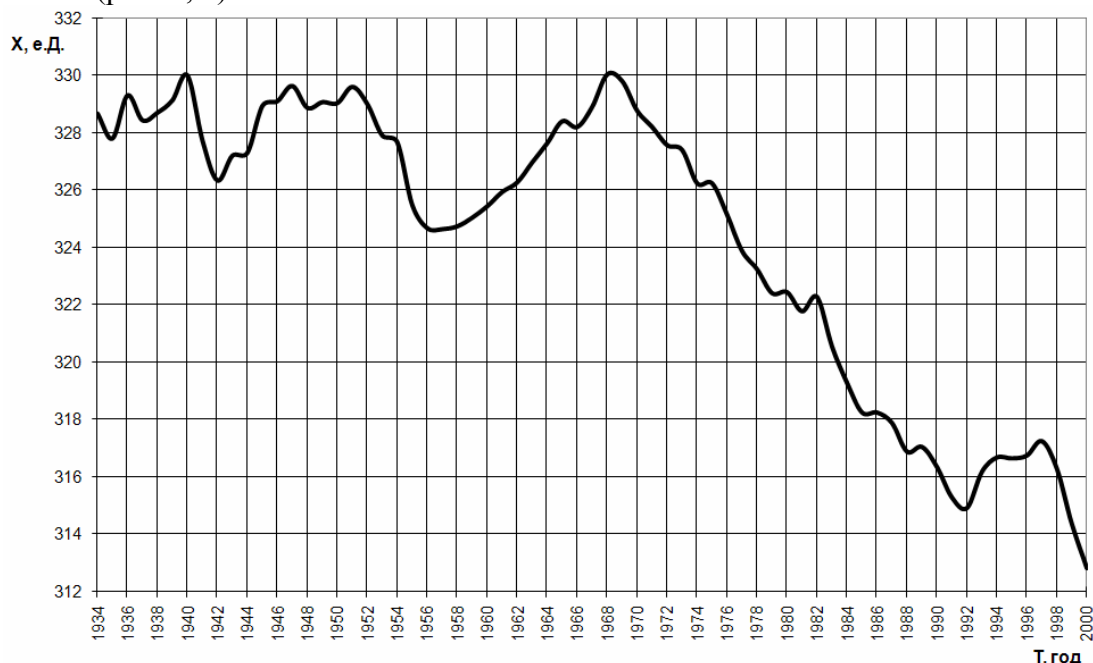


Рис. 4 – Зависимость усредненных в скользящем окне длиной 10 лет значений ОСО в летние месяцы над п. Ароза от года его начала.

Полученные выводы свидетельствуют о целесообразности изучения возможностей использования выявленных закономерностей при прогнозировании динамики ОСО и ИГА для упреждений, не превышающих указанные значения.

Данный результат соответствует представлениям [1, 2, 7], согласно которым про-

странственно-временная изменчивость и ОСО, и ИГА над различными территориями планеты являются региональными реакциями ее климатической системы на происходящие в ней крупномасштабные процессы. Вследствие сложности механизмов формирования подобных реакций, причинные связи между ними не всегда являются линейными и непосредственными, в результате чего значимая корреляция между ними может существовать лишь в периоды, когда фазы их наиболее мощных составляющих совпадают.

Выводы. Таким образом, установлено:

- 1) Рассмотренные особенности пространственно-временной изменчивости ОСО, а также значений ИГА за летний сезон, над территорией Украины, свидетельствуют о существовании статистических связей между этими процессами, которые в период с 1979 по 2006 гг. являлись значимыми для Карпатского региона (Закарпатская, Ивано-Франковская, Львовская области), а также районов Днепропетровской, Кировоградской и Киевской областей, расположенных на Приднепровской возвышенности.
- 2) Выявленные особенности статистической связи между рассматриваемыми процессами свидетельствуют о целесообразности учета исследуемых характеристик при прогнозировании их динамики с упреждениями, не превышающими 10 – 15 лет.
- 3) При изменении современных тенденций межгодовых изменений состояний рассматриваемых процессов особенности статистических связей между ними, наблюдаемые ныне в различных регионах Украины, могут существенно отличаться от полученной картины.

Список литературы

1. Мучник В. М. Физика грозы. – Л.: Гидрометеиздат. – 1974. – 352 с.
2. Salby M.L. Fundamentals of Atmospheric Physics. – New York: Academic Press, 1996. – 560 p.
3. Наговицын Ю.А. Глобальная активность Солнца на длительных временах // Астрофизический бюллетень САО РАН. – 2008. – Т. 63, №1. – С. 45 – 58
4. Борисова С.В. Озон в атмосфері: Навчальний посібник. – Київ – Ізмаїл: СМІЛ, 2001. – 71 с.
5. Пудовкин М.И. Влияние солнечной активности на состояние нижней атмосферы и погоду // Соросовский образовательный журнал. – М: 1996. – №10. – С. 106 – 113
6. Okabe H. Photochemistry of small molecules / H. Okabe // A Wiley –interscience publication – John Wiley & sons. New York – Chichester-Brisbane-Toronto. – 1978. – 290 p.
7. <http://www.woudc.org>
8. <http://www.tutempo.net/en/Climate>
9. Браже Р.А. Восемь лекций по физике атмосферы и гидросферы: Учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 72 с.
10. Кендал М. Дж. Многомерный статистический анализ и временные ряды / М.Дж. Кендал, А. Стьюарт; пер. с английского Э.Л. Пресмана, В.И. Ротаря; под редакцией Колмогорова А.Н., Прохорова Ю.В. – М.: Наука, 1976. – 736 с.
11. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2002. – 128 с.

Особливості статистичного зв'язку міжрічних змін середньомісячних значень загального вмісту озону та індексів грозової активності над Україною. Холопцев О.В., Нікіфорова М.П.

Розглянуті особливості статистичного зв'язку міжрічних змін середньомісячних значень загального вмісту озону та індексів грозової активності над Україною при сучасному потеплінні клімату. Встановлена наявність суттєвого взаємозв'язку між процесами, що розглядаються, у період з 1979 по 2006 рр. у Карпатському регіоні, та районах Дніпропетровської, Кировоградської та Київської областей.

Ключові слова: загальний вміст озону, індекс грозової активності, кореляція, суттєвість.

Features of statistical relation between interannual changes of total ozone amount monthly mean values and storm activity index over Ukraine. Kholoptsev A., Nikiforova M.

Features of statistical relation between interannual changes of total ozone amount monthly mean values and storm activity index over Ukraine under recent climate warming were investigated. Essential relationship between studied processes, during the period 1979 – 2007 yrs., in Carpathian region and Dnipropetrovsk, Kirovograd, Kiev provinces was established.

Key words: total ozone amount, storm activity index, correlation, efficiency.