

Климатические изменения
гидрометеорологических условий Черного
моря

**Climatic changes of the Black Sea
hydrometeorological conditions**

Ильин Ю.П.

*Морское отделение Украинского научно-исследовательского
гидрометеорологического института, Севастополь, Украина*

Ильин Ю.Р.

*Marine Branch of Ukrainian Hydrometeorological Institute,
Sevastopol, Ukraine*

mb_ubmi@stel.sevastopol.ua

Введение

- Традиционно МО УкрНИГМИ (до 1992 г. – СО ГОИН) занимается исследованиями гидрометеорологического режима Азовского и Черного морей и его изменениями (Ильин и Репетин, 2006; Ильин, 2008; Пуין, 2010а; Пуין, 2010б; Липченко и др., 2006, Ильин и др., 2009).
- Долгопериодные изменения таких показателей морского климата как температура воздуха и воды, количество атмосферных осадков, скорость приземного ветра, уровня моря, испарения с морской поверхности, притока речных вод в море и солености морской воды могут быть представлены в виде суммы линейных трендов и квазипериодических колебаний.

Представление временного ряда

$$\mu(t) = \mu_0 + at + \sum_{T \geq 30} \mu_C(t) + \sum_{T < 30} \mu_I(t) + \mu''$$

Линейный

тренд

Климатич.

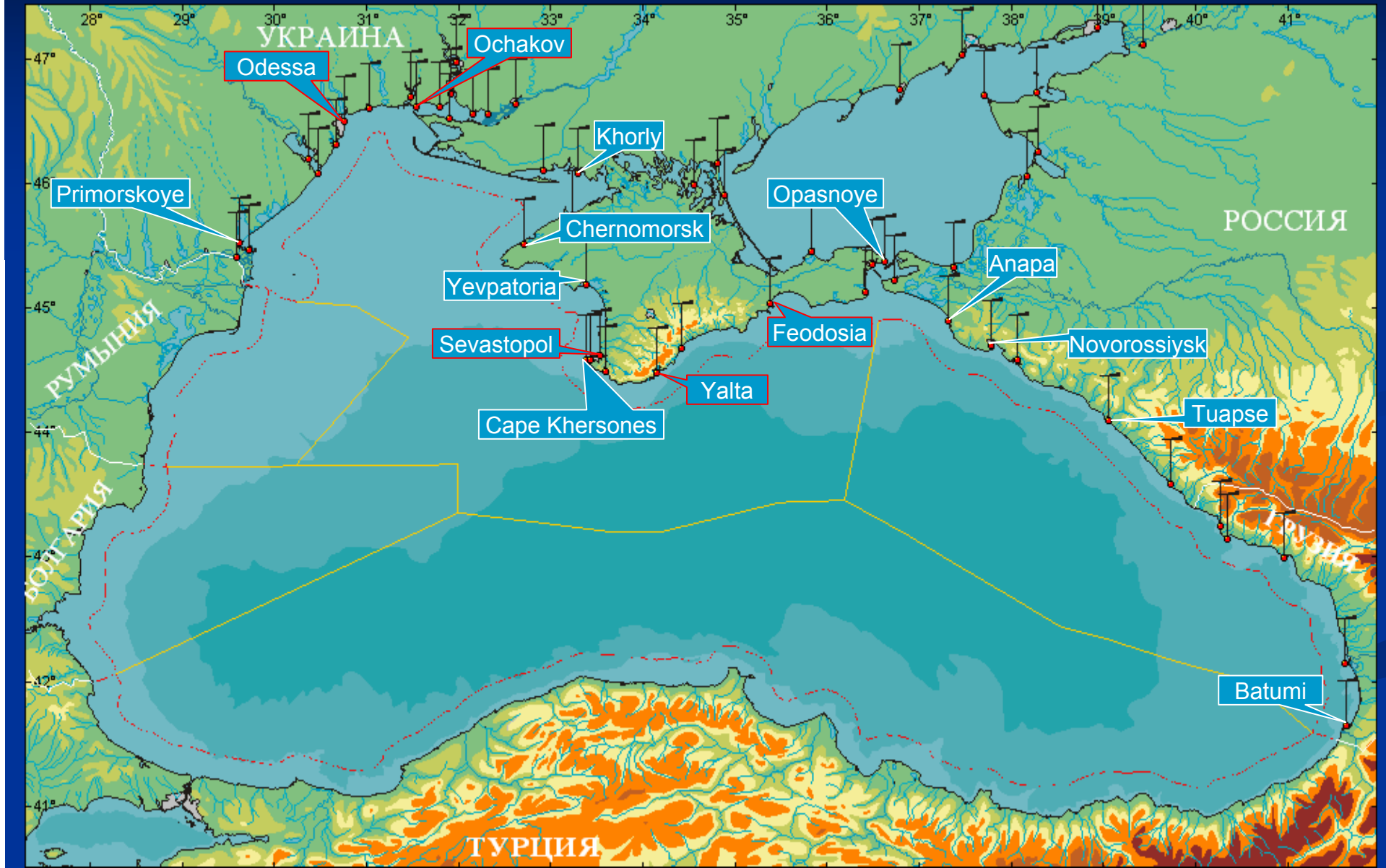
колебания

Межгодовые

колебания

Цель работы – оценить компоненты изменчивости рядов г/м элементов по данным морских гидрометстанций на масштабах климатических изменений, т.е. не менее 30 лет (Полонский, 2008)

Морские гидрометеостанции Украины, России и Грузии, использованные для оценки климатических изменений в прибрежной зоне Черного моря



- Величины вековых трендов, полученные по среднемесячным, сезонным и годовым значениям указанных показателей, приведены в работе (Plyin, 2010a).
- В частности, на черноморском побережье Украины (Одесса, Севастополь, Феодосия) отмечены значимые вековые тренды температуры воздуха $0.4 - 0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}/100$ лет, что соответствует оценкам глобального потепления (IPCC, 2007).
- Однако, в некоторых районах (Ялта, Очаков) вековые линейные тренды оказались нулевыми, при этом здесь преобладали квазипериодические изменения с периодом около 70 лет, оцененным с помощью полиномиальной аппроксимации для этих и остальных станций (Ильин и Репетин, 2006).

- Значимые отрицательные тренды получены для среднегодовой скорости ветра ($\sim 0.1 - 0.3$ м/с·10лет), а также для ее среднесезонных значений (зимних и летних). В течение 2-ой половины XX века наблюдалось систематическое уменьшение годовой повторяемости сильных (штормовых) ветров со скоростью более 15 м/с.
- Повышение термического фона и ослабление динамики приводной атмосферы сопровождалось потеплением морской воды у берегов Украины и в открытом море. За период 1923-2005 гг. выявлены значимые тренды роста среднегодовой температуры воды ~ 0.05 °С/10 лет, главным образом за счет повышения средней зимней температуры воды на $0.1 - 0.2$ °С/10 лет (Pulin, 2010a).

- Значимый рост количества осадков и, особенно, уменьшение испарения во 2-й половине XX века (Липченко и др., 2006) определили рост притока пресных вод в море (пресноводного баланса, ПВБ) даже при отсутствии климатического тренда стока рек.
- ПВБ – основной управляющий фактор водообмена Черного моря на масштабах межгодовой изменчивости. При стабильном, относительно слабом результирующем притоке воды из Азовского моря увеличение ПВБ Черного моря определило рост оттока и ослабление притока воды через пролив Босфор. Это обусловило положительный тренд объема (уровня) моря $2 \text{ км}^3/\text{год}$ ($5 \text{ мм}/\text{год}$), а также значимые тренды понижения солености морской воды у побережья и в открытых районах Черного моря (Puin, 2010a, 2010b).

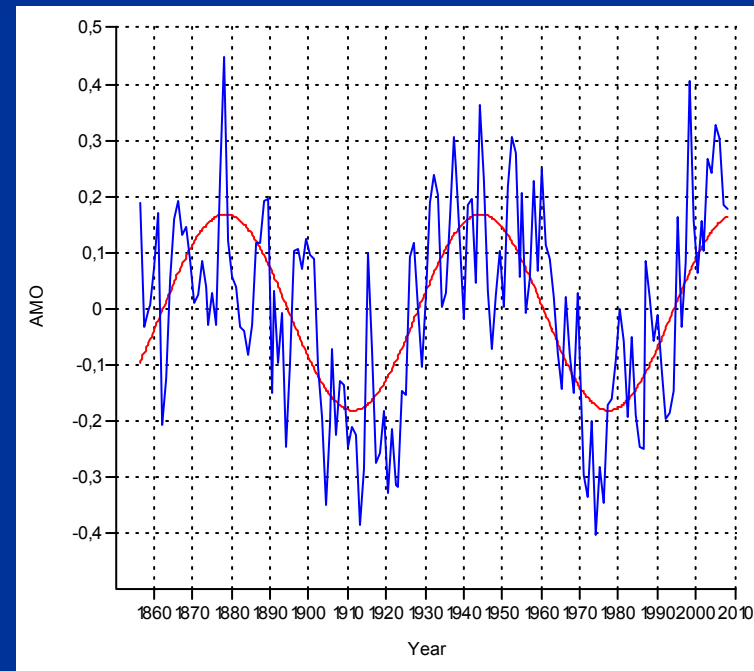
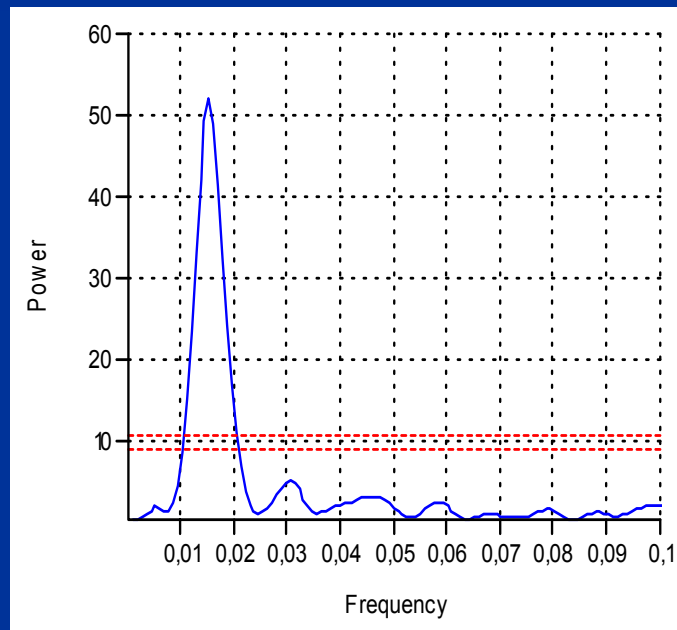
- На фоне вековых трендов происходят низкочастотные колебания климатических показателей.
- К сожалению, даже достаточно продолжительные вековые ряды инструментальных гидрометеорологических наблюдений на побережье Черного моря не позволяют получить значимые оценки низкочастотных периодичностей с помощью стандартных методов спектрального анализа.
- Известно, что региональный климат в Черном море находится под воздействием глобальных процессов, которые могут адекватно описываться индексами Атлантической Мультидекадной Осцилляции (АМО) и Северо-Атлантического Колебания (САК). Характеристика влияния океана и значения этих индексов для исследований регионального климата содержится в монографии (Полонский, 2008).

- Дальнейший анализ представляет собой попытку оценки основных климатических периодичностей по имеющимся временным рядам индексов АМО и САК и использования полученных результатов для описания низкочастотных колебаний гидрометеорологических показателей в Черноморском регионе.
- Для оценки спектров и аппроксимации низкочастотных вариаций временных рядов применялся один из МНК-методов спектрального анализа – периодограмма Ломба (Lomb, 1976), реализованный в программном пакете статистического анализа палеоданных PAST (<http://folk.uio.no/ohammer/past>).
- Ряды годовых значений индексов были подвергнуты предварительной фильтрации высокочастотных осцилляций с помощью 5-летнего скользящего осреднения и удалению линейных трендов.

Индекс АМО (1856-2008)

Источник: <http://www.cdc.noaa.gov/Timeseries/AMO/>

Ряд: Среднегодовые, сглаженные 5-летним скользящим средним
Спектральный анализ: Периодограмма Ломба (значимый пик на периоде 66 лет)

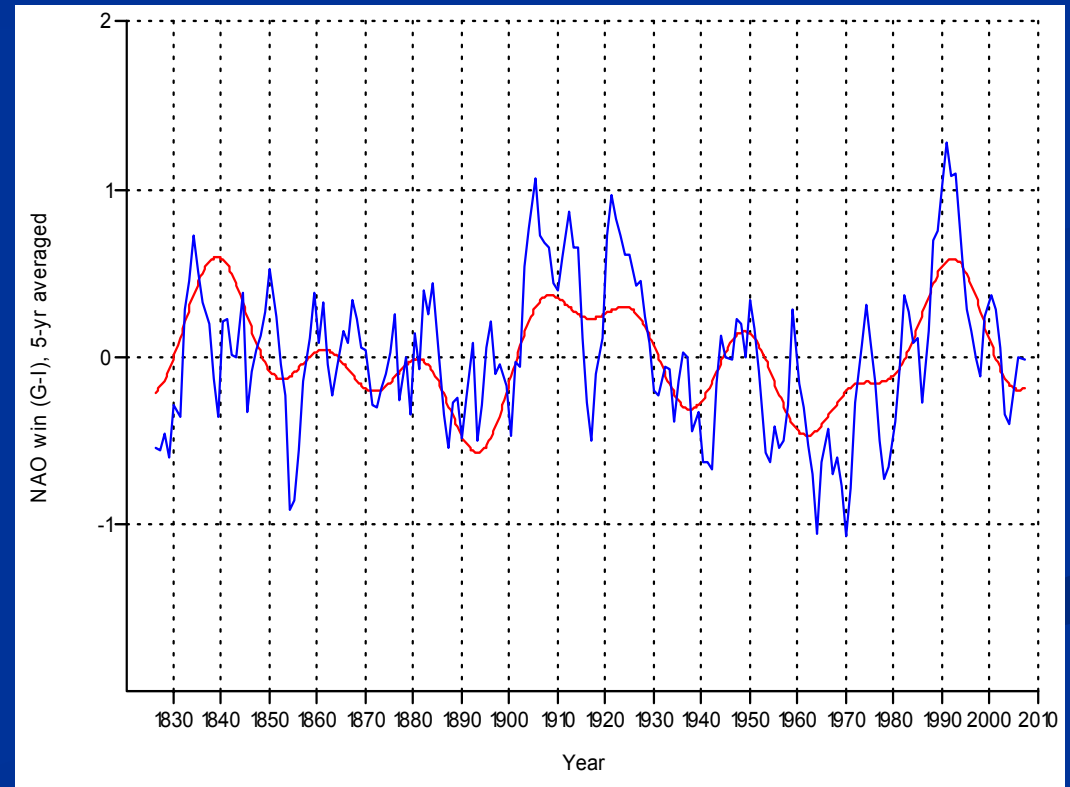
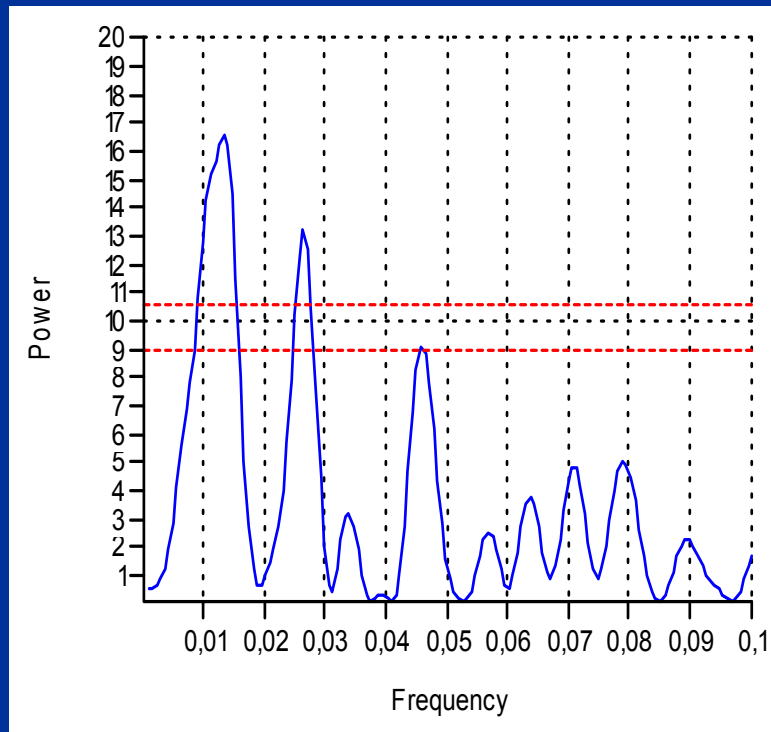


Индекс САК (1824 – 2008)

Источник: <http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm>

Ряд: Средние за зиму (декабрь-март), сглаженные 5-летним скользящим средним, без тренда.

Спектральный анализ: Периодограмма Ломба (значимые пики на периодах 76, 38 и 22 лет).



Палеорекострукция индекса САК (1500 – 2001)

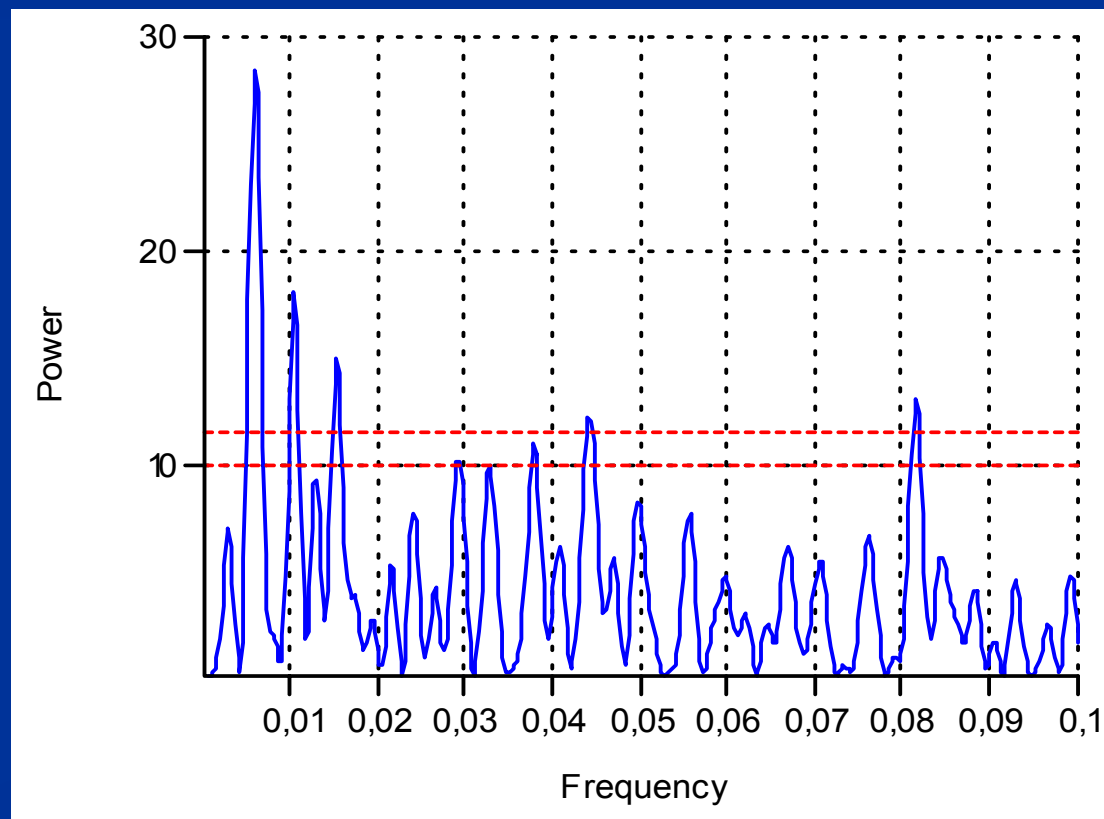
Ряд: Средние за зиму (декабрь-февраль), сглаженные 5-летним скользящим средним, тренд удален.

Спектральный анализ: Периодограмма Ломба (наиболее значимые пики на периодах 173, 95, 67, 34, и 22 лет).

Ссылка:

Luterbacher, J., Xoplaki, E.,
Dietrich, D., Jones, P.D.,
Davies, T.D., Portis, D.,
Gonzalez-Rouco, J.F., von
Storch, H., Gyalistras, D., Casty,
C., and Wanner, H., 2002.
Extending North Atlantic
Oscillation Reconstructions
Back to 1500. Atmos. Sci. Lett.,
2, 114-124.

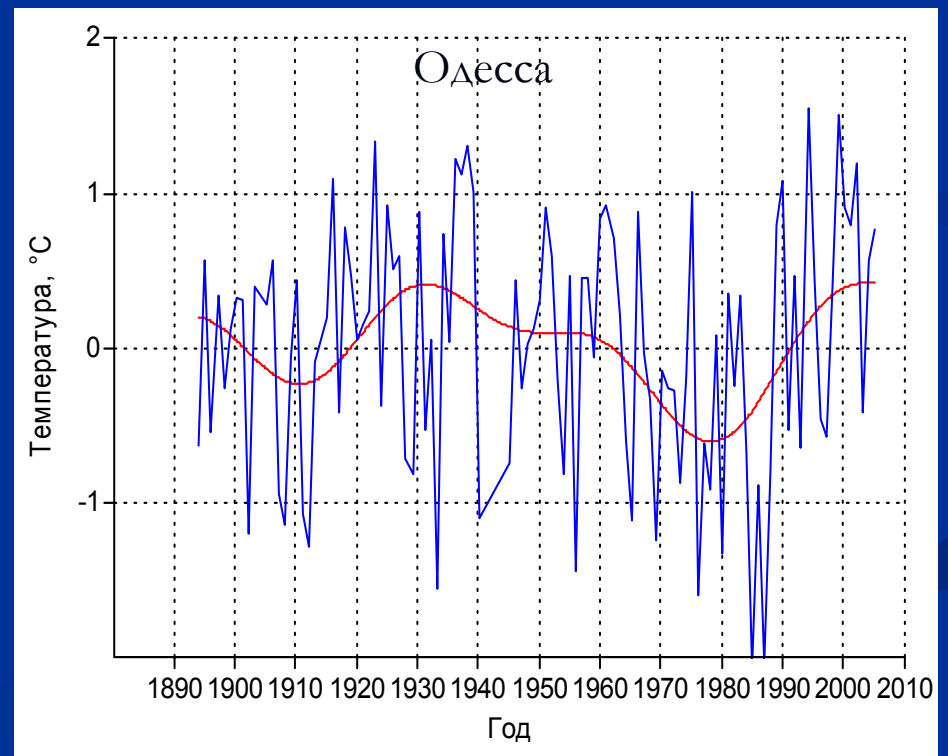
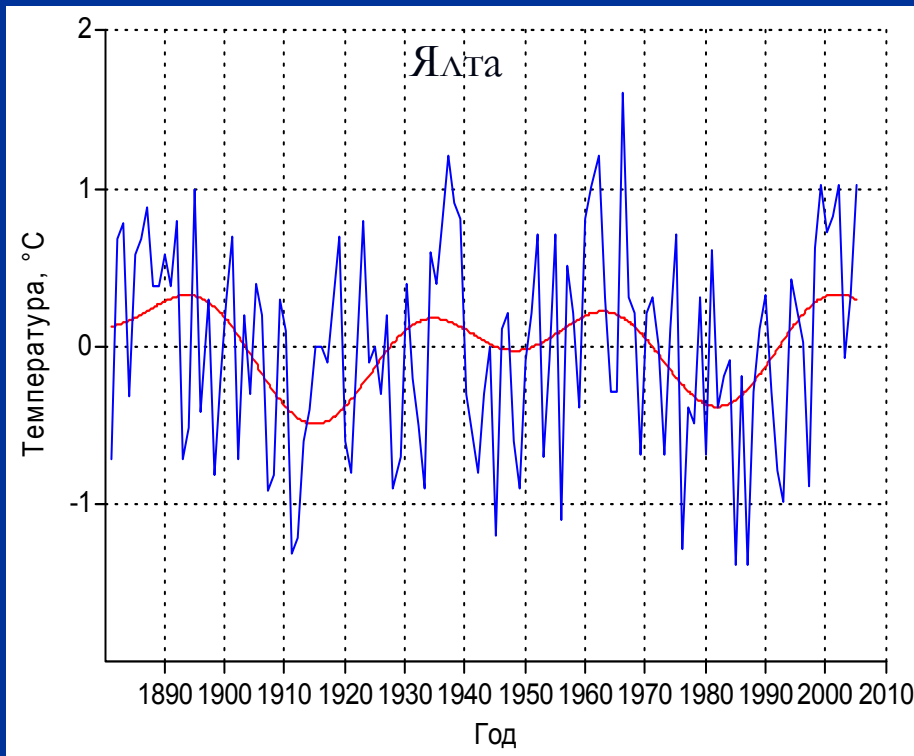
<ftp://ftp.cru.uea.ac.uk/data>



- Таким образом, основным периодом междесятилетней изменчивости последних столетий является период около 70 лет, который проявляется в рядах индексов АМО и САК. Кроме того, значимые пики обнаружены в рядах САК на масштабах вековых (95, 173 лет) и более высокочастотных междесятилетних колебаний (34, 22 лет).
- С учетом того, что климатическими изменениями считаются низкочастотные колебания с периодами не менее 30 лет, предпринята попытка МНК-аппроксимации рядов гидрометеорологических показателей суперпозицией климатических гармоник с периодами 95, 67 и 34 лет.
- Предварительно из исходных рядов были удалены линейные тренды (в случаях отсутствия вековых трендов, например - для ряда стока рек или температуры воздуха в Ялте, вычитались среднемноголетние значения этих показателей).

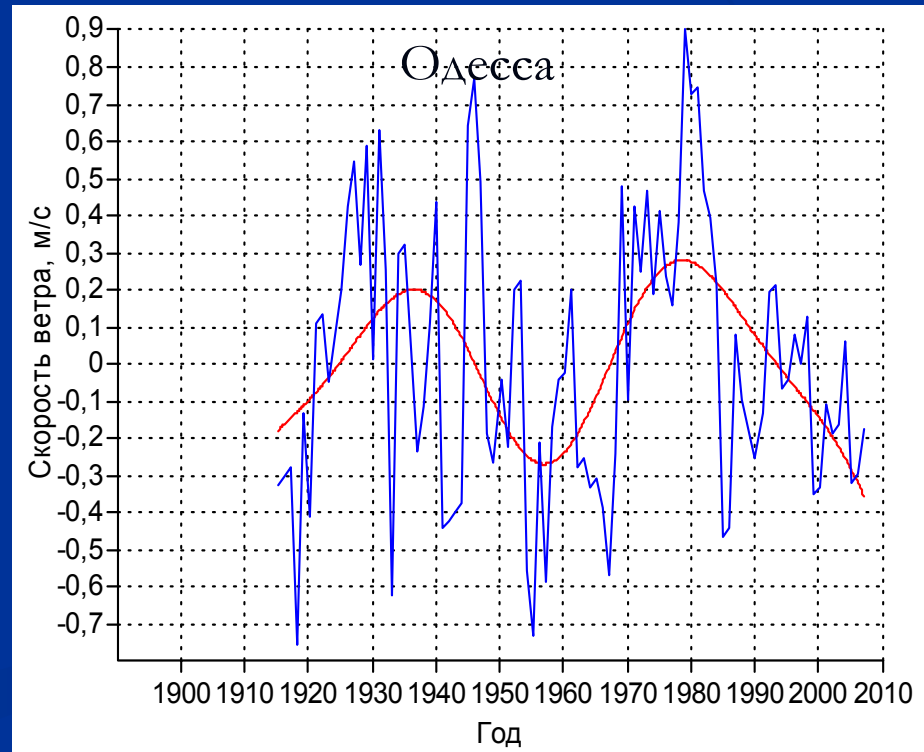
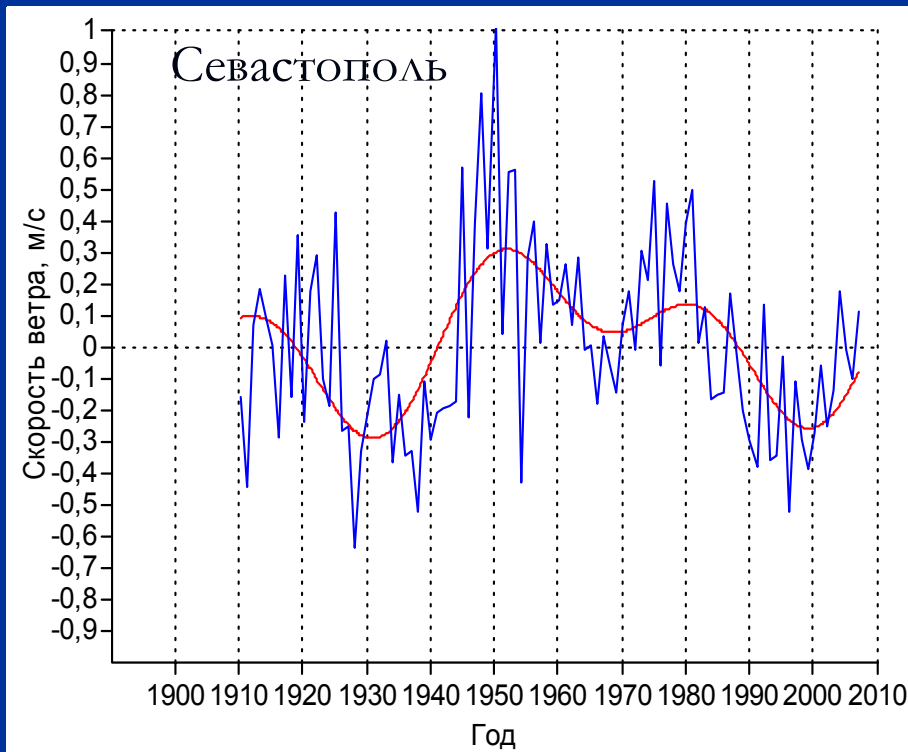
Долгопериодные колебания в ЧМ:

Климатические изменения среднегодовой ТВ (линейный тренд удален), аппроксимированные по МНК гармоническими функциями с периодами 95, 67 и 34 лет, определенными по спектру ряда палео-САК (зимних)



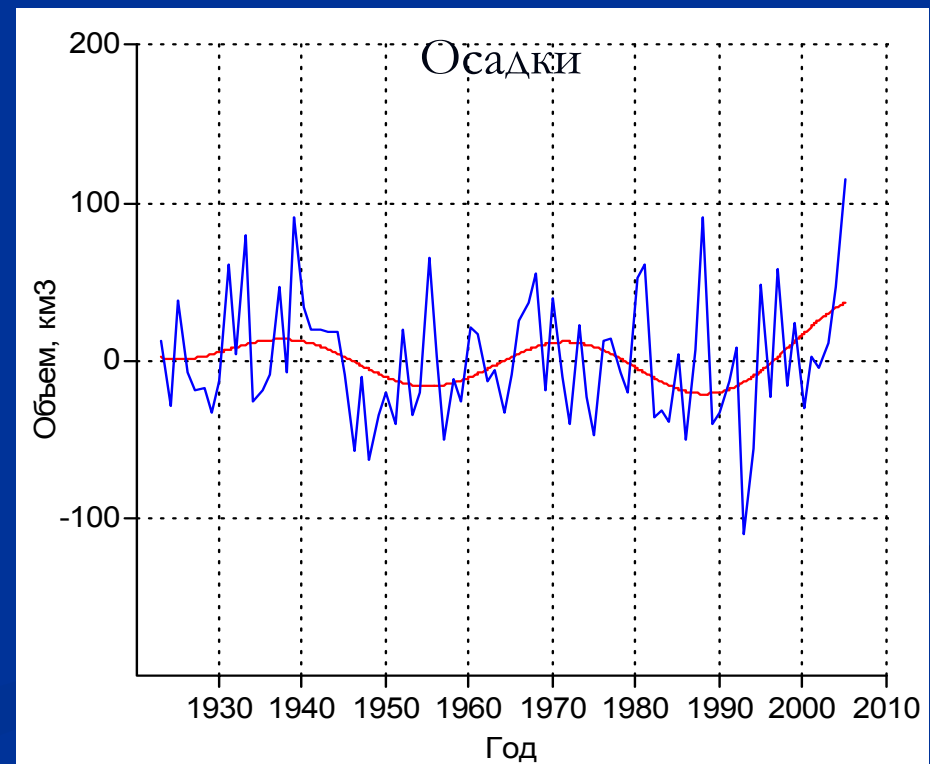
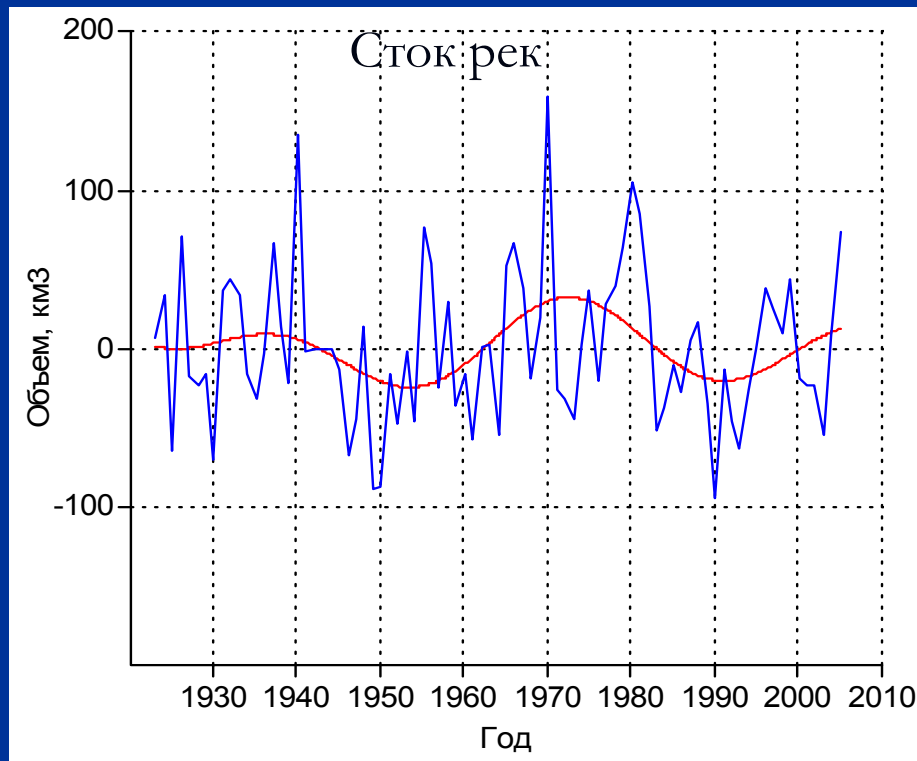
Долгопериодные колебания в ЧМ:

Климатические изменения среднегодовой скорости ветра (линейный тренд удален), аппроксимированные по МНК гармоническими функциями с периодами 95, 67 и 34 лет, определенными по спектру ряда палео-САК (зимних)



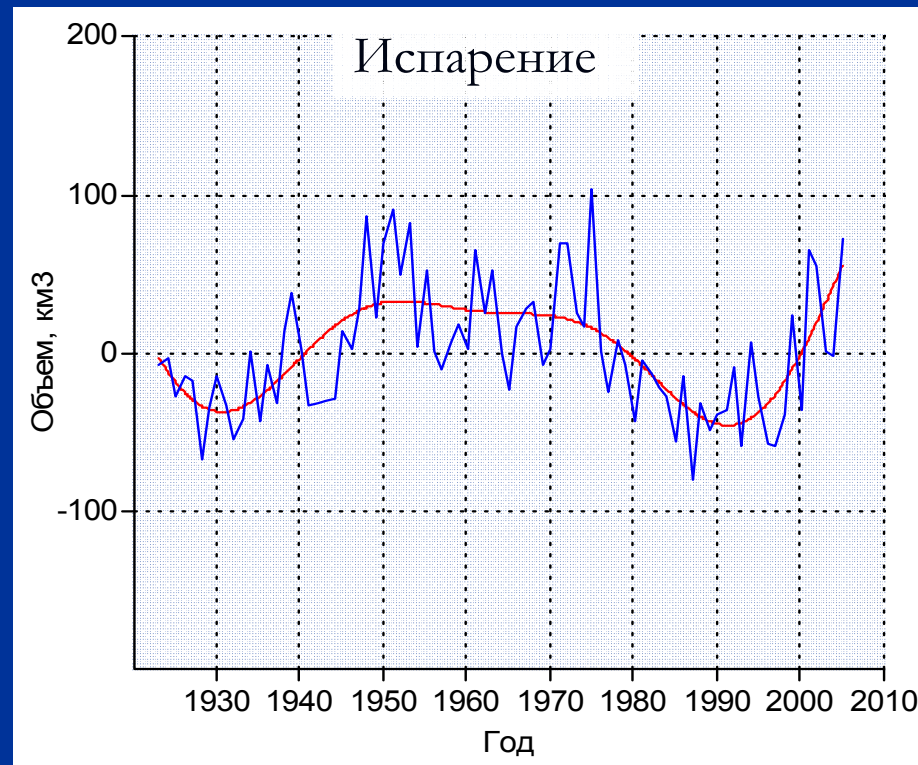
Долгопериодные колебания в ЧМ:

Климатические изменения годовых объемов стока рек и осадков (линейные тренды удалены), аппроксимированные по МНК гармоническими функциями с периодами 95, 67 и 34 лет, определенными по спектру ряда палео-САК (зимних)



Долгопериодные колебания в ЧМ:

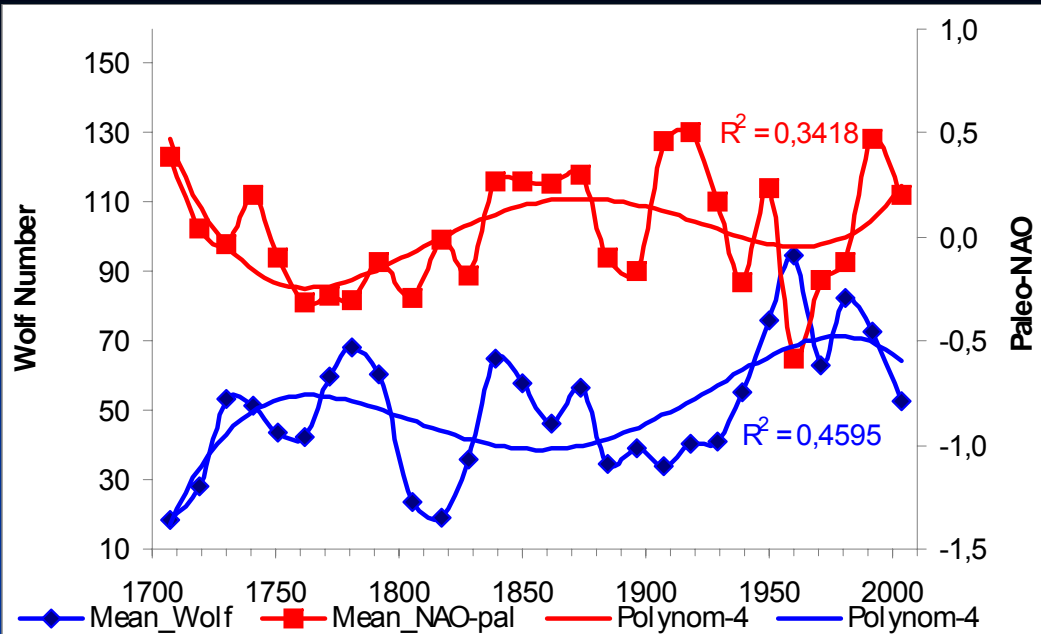
Климатические изменения годовых объемов испарения (линейный тренд удален), аппроксимированные по МНК гармоническими функциями с периодами 95, 67 и 34 лет, определенными по спектру ряда палео-САК (зимних)



- Полученные аппроксимации удовлетворительно описывают долгопериодные (междесятилетние и вековые) изменения рассматриваемых рядов, что служит доказательством влияния естественных глобальных колебаний климата на региональные климатические изменения.
- Характер исходных рядов и низкочастотных вариаций для разных районов побережья неодинаков, что отражает влияние на местные гидрометеоусловия различных региональных факторов.
- Температура воздуха в Ялте на вековом масштабе стабильна (отсутствует линейный тренд), однако здесь лучше, чем в Одессе, выражены междесятилетние колебания. В Одессе более наглядно проявилось похолодание 80-х годов XX века, объясняемое фазой падения значений АМО.
- Низкочастотные колебания отклонений от отрицательного тренда скорости ветра в Одессе имеют почти монохроматический характер по сравнению с Севастополем, и демонстрируют отсутствие роста в начале XXI века. Таким образом, в изменениях климата отражаются существенные различия физико-географических условий северо-западной части Черного моря и южного побережья полуострова Крым.

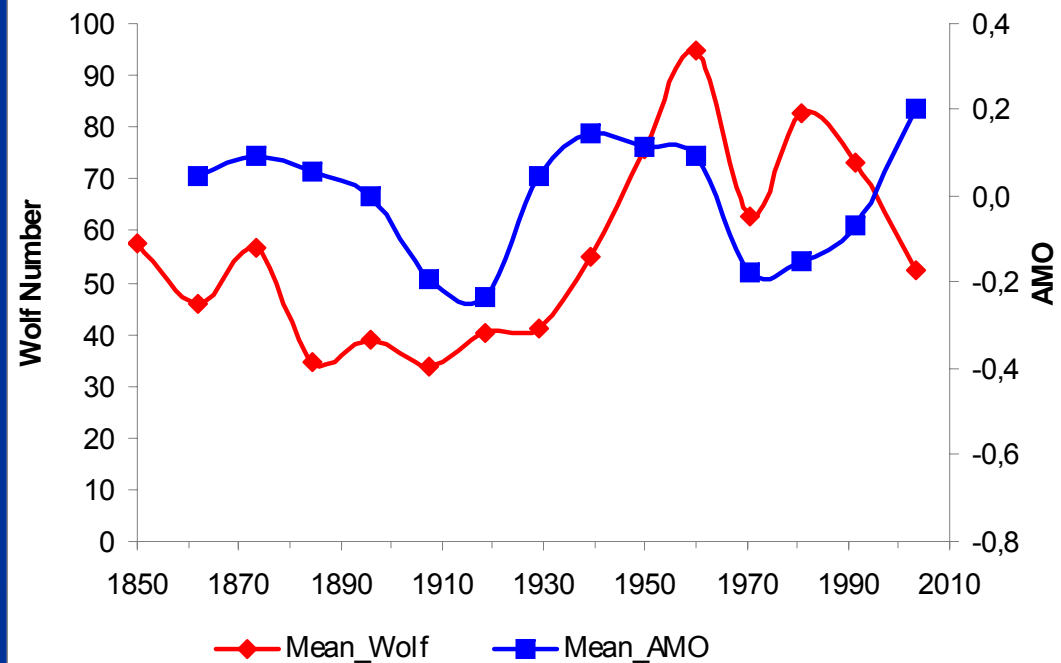
Циклы солнечной активности (СА)

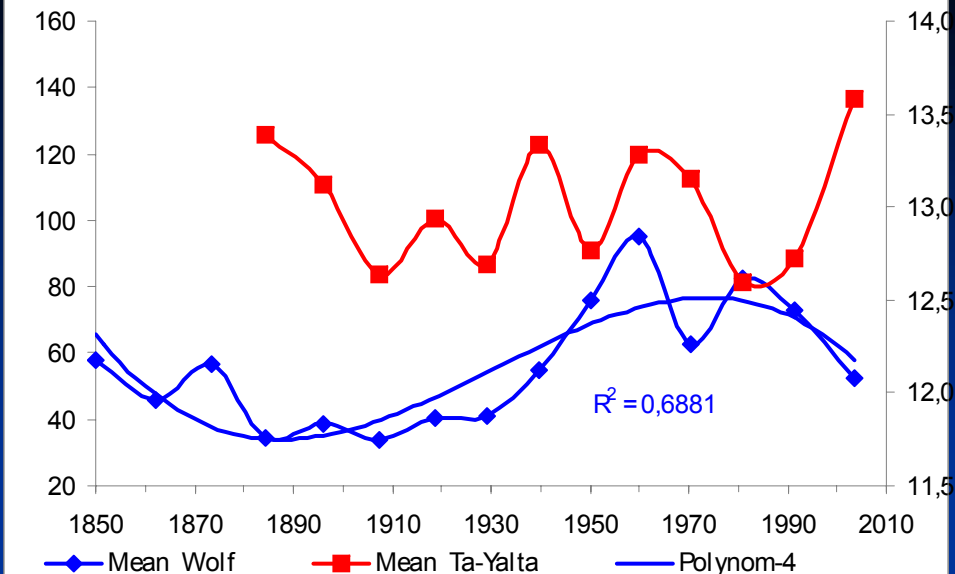
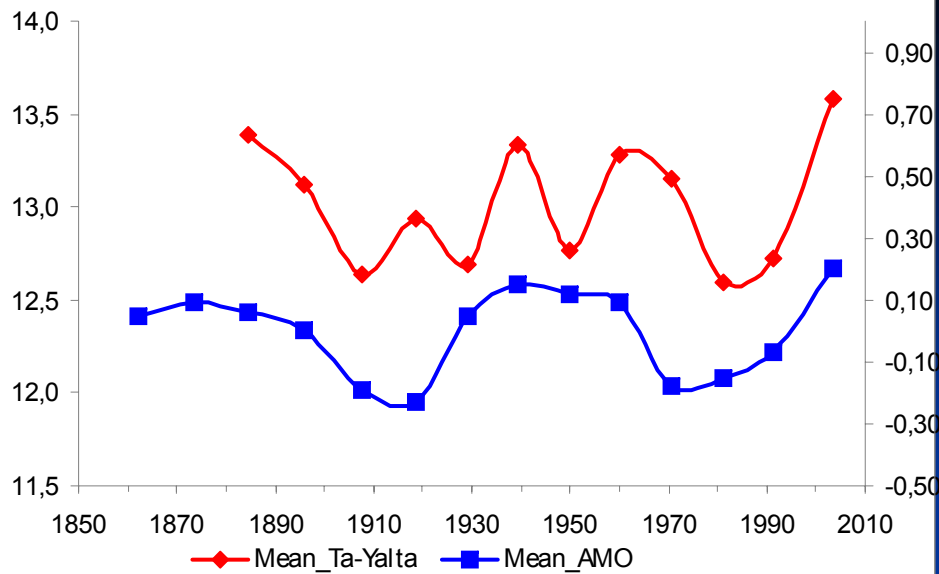
- 11 (8-14) лет – цикл Швабе – изменение числа Вольфа
- 22 года – цикл Хейла – изменение полярности ЭМ поля Солнца
- ~ 100 (80-120) лет – цикл Глайсберга - вековой цикл 11-летних максимумов
- ~ 180 лет – период вращения Солнца относит. центра масс Солнечной системы
- 34-36 лет – также связан с динамикой СС, ~ 1/5 от предыдущего (*Landscheidt, 1998*)



Средние по циклам Швабе числа Вольфа и индекс палео-САК демонстрируют совпадение в противофазе на масштабе ~ 200 лет

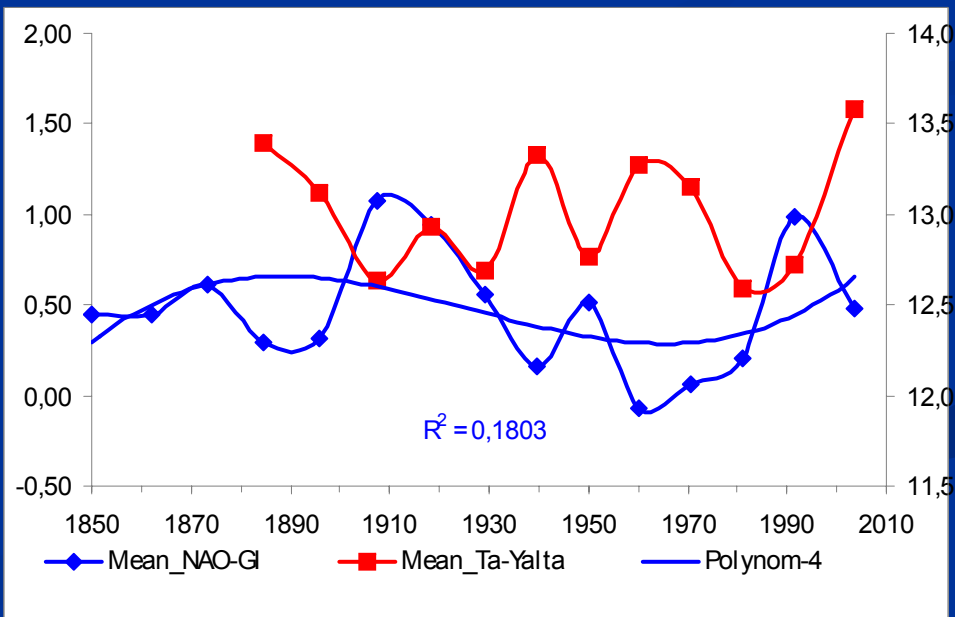
Вариации средних по циклам Швабе чисел Вольфа и индекса АМО не совпадают, что свидетельствует в пользу независимости изменений меридиональных потоков тепла в Атлантике от СА

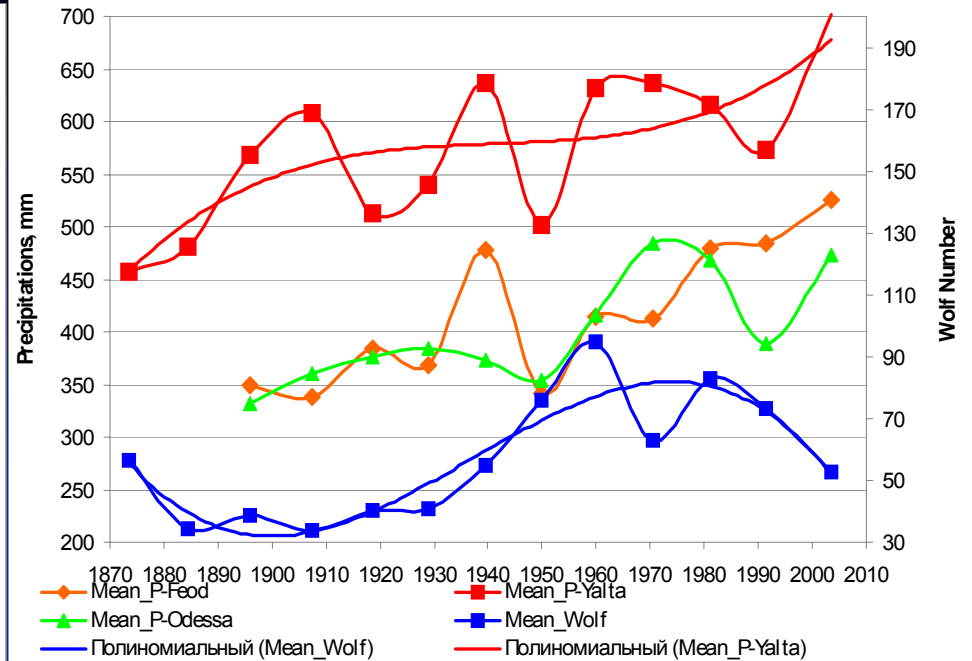
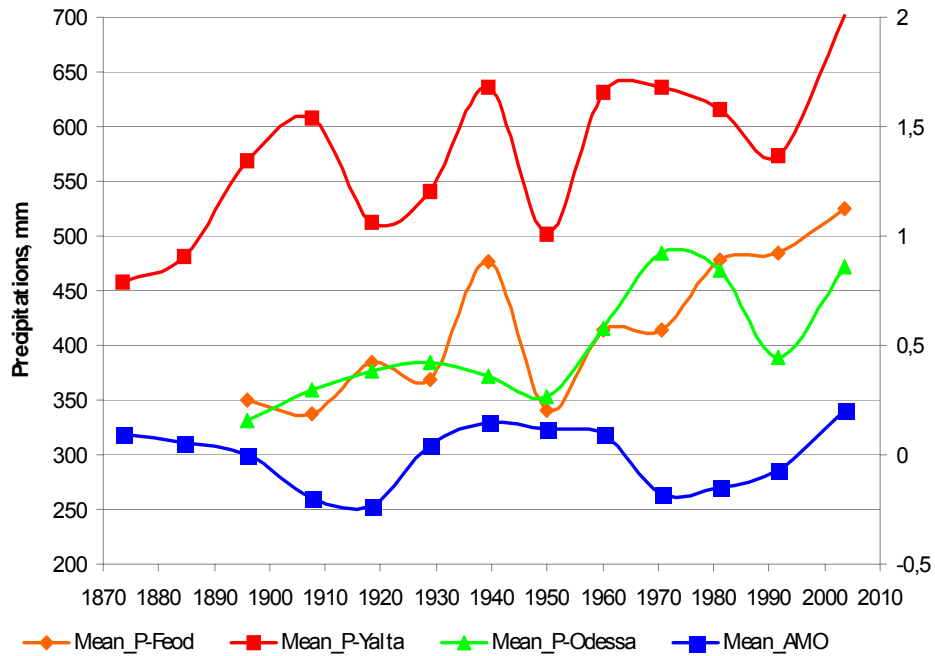




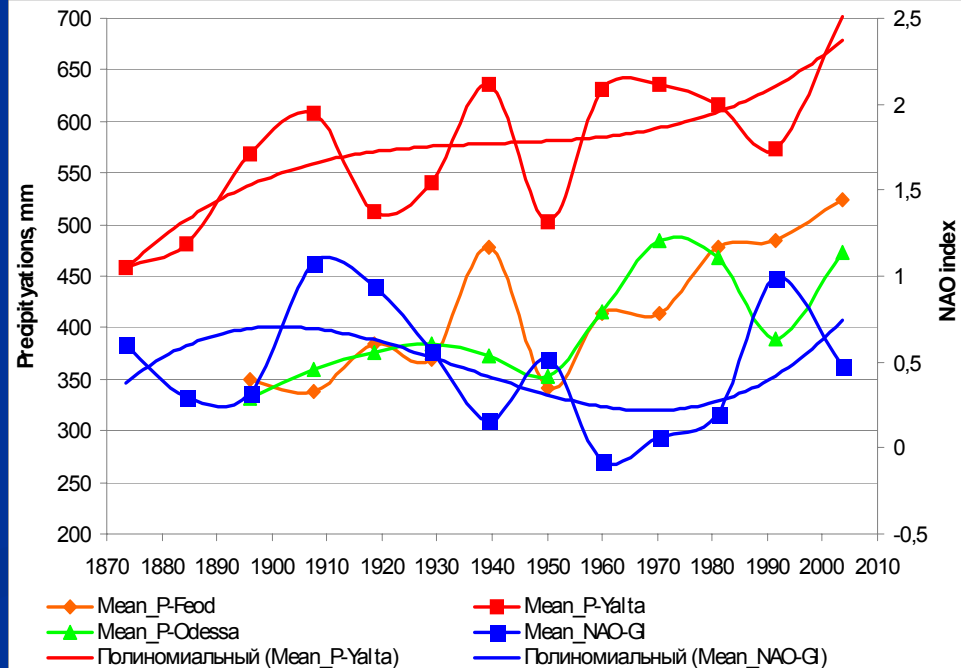
Колебания средних по циклам Швабе индексов АМО проявляются в долгопериодных колебаниях средних ТВ, (Ялта).

Средние по циклам Швабе числа Вольфа варьируют синхронно в противофазе с САК на масштабе цикла Глайсберга, а колебания САК на масштабах 2-3 циклов Швабе совпадают в противофазе с изменениями ТВ.





Колебания средних по циклам Швабе индексов АМО слабо проявляются в долгопериодных колебаниях средних сумм осадков на побережье Черного моря. Колебания средне-цикловых САК на масштабах 2-3 циклов Швабе совпадают в противофазе с изменениями сумм осадков.



Выводы (1)

- Климатические изменения в регионе Черного моря обусловлены не только антропогенным глобальным потеплением, но и естественными вариациями параметров климатической системы, которые описываются флуктуациями индексов АМО и САК на десятилетнем и вековом масштабах.
- Основным периодом десятилетней изменчивости последнего столетия является период около 70 лет, который проявляется в рядах индексов АМО и САК. Кроме того, значимые пики обнаружены в рядах САК на масштабах вековых (95, 173 лет) и более высокочастотных десятилетних колебаний (34, 22 лет). Близкие периоды существуют и в рядах показателей СА (чисел Вольфа).
- Суперпозиция гармонических функций с периодами 95, 67 и 34 лет удовлетворительно описывает многолетние флуктуации основных показателей гидрометеорологического режима Черного моря.
- В последние десятилетия в Черноморском регионе наблюдались особенно резкие тренды увеличения термического фона и ослабления ветровой активности. Увеличился приток пресных вод вследствие роста осадков и уменьшения испарения. Это обусловлено совпадением фазы роста квази-70-летней периодичности АМО-САК и вековых линейных трендов.

Выводы (2)

- 300-летние ряды средних по циклам Швабе чисел Вольфа и индекса палео–САК демонстрируют совпадение в противофазе на масштабе ~ 200 лет. При этом вариации средних чисел Вольфа и индекса АМО за последние 160 лет не совпадают, что свидетельствует в пользу независимости изменений меридиональных потоков тепла в Атлантике от СА.
- Колебания средних по циклам Швабе индексов АМО проявляются в долгопериодных колебаниях средних ТВ, но их проявление в изменчивости осадков маскируется более высокочастотными вариациями. В то же время, колебания индекса САК на масштабах 2-3 циклов Швабе совпадают в противофазе с изменениями ТВ и сумм осадков.
- Наиболее вероятно влияние глобальных климатических изменений на региональные (в Черноморском регионе) осуществляется посредством долгопериодных изменений атмосферной циркуляции, описываемых вариациями АМО и САК на масштабах междесятилетней и вековой изменчивости. Индекс САК отражает вековые колебания солнечной активности и определяет междесятилетние вариации показателей климата в регионе Черного моря.

Благодарю за внимание !

Thanks for your attention!