

УДК 551.46

АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ В КРЫМУ И ЭЛЬ-НИНЬО ЮЖНОЕ КОЛЕБАНИЕ НА ПРИМЕРЕ СЕВАСТОПОЛЯ

Холопцев А.В.¹, Николенко И.В.², Мельникова Н.С.²¹ Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова»,
kholoptsev@mail.ru² Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»,
295493 РК г. Симферополь, ул. Киевская, 181 e-mail: nikoshi@mail.ru

Аннотация. Изучены особенности изменений за 1882-2019 гг. средней интенсивности атмосферных осадков, выпадавших в различные месяцы и сезоны года в Крыму, основываясь на результатах наблюдений за этим процессом на репрезентативной Морской Гидрометеорологической станции Севастополь. Выявлены его современные тенденции и значимые статистические связи с вариациями показателей Эль-Ниньо Южное Колебание, на отрезках времени различной продолжительности. Оценена устойчивость упомянутых характеристик к сдвигам по времени этих отрезков.

Предмет исследования: оценка по результатам наблюдений на МГ Севастополь, современных тенденций многолетних изменений средней интенсивности атмосферных осадков, выпадавших в различные месяцы и сезоны года в Крыму, их статистических связей с вариациями индексов процесса ЭНЮК, а также устойчивости указанных характеристик к сдвигам отрезков времени, за которые они определены.

Материалы и методы исследования: Оценка показателей многолетних изменений средней интенсивности (сумм) атмосферных осадков, выпадавших на МГ Севастополь за 1882-2019 гг. в различные месяцы и сезоны года. Выявление на отрезках времени различной продолжительности современных тенденций изучаемых процессов и оценка значимости их статистических связей с вариациями показателей состояния ЭНЮК, а также устойчивости упомянутых характеристик к сдвигам отрезков времени, за которые они определены.

Ключевые слова: Атмосферные осадки, МГ Севастополь, ЭНЮК, многолетние изменения, тенденции, статистические связи, устойчивость.

ВВЕДЕНИЕ

Для эффективного и устойчивого управления водными ресурсами регионов, их оптимального использования решающее значение имеет понимание пространственно-временного распределения источников воды и ее движения, а также сотрудничество и согласованные действия между различными заинтересованными потребителями. В современной мировой практике на период 2020 – 2030 годов одним из эффективных методов решения проблем дефицита водных ресурсов является прогнозирование, сбор и распределение поверхностных, в том числе дождевых и талых вод с учетом оценки природных и антропогенных изменений, гидрометеорологических и климатических факторов, действующих в водосборных бассейнах. На полуострове Крым территориально, по сезонам года и по времени запасы пресной воды и атмосферные осадки распределены крайне неравномерно. Для гарантированного обеспечения водного баланса на обозримую перспективу, в рамках нормативных документов в области градостроительства и планирования хозяйственной деятельности региона, необходим обоснованный и качественный прогноз изменений гидрологического режима, в особенности режимов атмосферных осадков и паводковых стоков (сбросов), с учетом оценки климатических трендов в рядах имеющихся гидрометеорологических данных. Многолетние изменения оцененной за тот или иной отрезок времени средней интенсивности атмосферных осадков (их т.н. «сумм»), которые выпадают в любых регионах мира, является одним из основных

факторов динамики их климата и экологических условий. В регионах с засушливым климатом, к которым относится и Крым, тенденции этого процесса значимо влияют на безопасность жизнедеятельности их населения, а также устойчивость развития сельского, лесного, водного хозяйства и других «климатозависимых» секторов их экономики. Поэтому совершенствование методик его моделирования и прогнозирования является актуальной проблемой не только физической географии и климатологии, но также экологической и экономической безопасности.

Для эффективного управления водными ресурсами Крыма и их рационального использования решающее значение имеет понимание закономерностей, которые определяют их изменчивость. Главным источником пресной воды, потребляемой населением и экономикой Крыма, являются атмосферные осадки, которые выпадают на его территории. Несмотря на то, что пространственное распределение интенсивности атмосферных осадков по территории полуострова весьма неравномерно, особенности межгодовой изменчивости их интенсивности в различных районах во многом аналогичны. Это позволяет исследовать подобные особенности на примере подобного процесса в каком-либо его репрезентативном пункте. Наблюдения над многолетними изменениями режима выпадения атмосферных осадков на территории Крыма ныне осуществляют 24 метеорологические станции Росгидромета.

Впервые подобные наблюдения начали производиться в 1820 г. действительным членом Московского Общества испытателей природы и членом - корреспондентом статистического отдела Министерства внутренних дел России Ф.К. Мальгаузенем. Регулярные метеорологические наблюдения здесь были начаты в 1865 году [8]. Среди временных рядов результатов наблюдений над атмосферными осадками в Крыму, сохранившихся к настоящему времени, одним из наиболее продолжительных и практически непрерывных, является ряд, который получен на Морской Гидрометеорологической станции (далее – МГ) Севастополь. Он включает информацию, позволяющую оценить суммы атмосферных осадков, выпавших здесь в любом месяце и сезоне года, за период с мая 1881 г. Эта информация в современном периоде непрерывно пополняется результатами наблюдений, ежесуточно выполняемых сотрудниками МГ. Учитывая географическое положение МГ Севастополь, данный ряд может рассматриваться как репрезентативный для многих районов Крыма.

Согласно современным представлениям о подходах к совершенствованию математических моделей многолетних изменений интенсивности атмосферных осадков, одним из наиболее перспективных методов является расширение множества процессов, которые используются в качестве их предикторов. Для выявления эффективных предикторов данного процесса необходимо исследовать его связи с вариациями состояний других процессов в климатической системе нашей планеты. Модели изучаемых процессов, которые разработаны по их предыстории, могут быть применены и для их прогнозирования, если их тенденции, а также связи с учитываемыми предикторами обладают устойчивостью к сдвигам отрезков времени, за которые они оценены. Следовательно, существенный теоретический и практический интерес в плане решения проблем водоснабжения Крыма, представляет оценка современных тенденций изменения интенсивности атмосферных осадков на МГ Севастополь, их связей с другими процессами, а также упомянутой выше их устойчивости

Согласно современным представлениям о глобальной естественной климатической изменчивости, главной модой этого процесса является Эль-Ниньо – Южное Колебание (далее ЭНЮК), которое впервые было описано Г.Т. Уолкером в 1923 г. [25]. Первоначально ЭНЮК рассматривалось как процесс, который вызывает квазипериодические (с максимумом в спектре изменчивости на периоде около 4-х лет) колебания температуры поверхности (ТПО) и атмосферного давления (АД) в тропической зоне Тихого океана [25]. В дальнейшем было установлено, что ЭНЮК вызывает значимые отклики не только в этой зоне, но и далеко за ее пределами [12, 14, 15, 22]. В том числе оно способно оказывать то или иное влияние

и на режим выпадения атмосферных осадков во многих регионах умеренных широт [2, 11, 14, 21].

Несмотря на то, что значимость подобного влияния в том или ином регионе является предметом дискуссий [3], очевидно, что она во многом определяется географическим положением этого региона, а также отрезком времени, на котором она оценивается. Последнее, а также расположение Крымского полуострова, позволяет предположить, что **в современном периоде значимые отклики на изменения характеристик ЭНЮК способны проявляться и в многолетних изменениях интенсивности выпадающих атмосферных осадков в Крыму.**

Несмотря на то, что особенности изменчивости атмосферных осадков на МГ Севастополь за предыдущие годы описаны в многих авторов [4, 18], их тенденции, проявившиеся в современном периоде, а также связи с вариациями показателей Эль-Ниньо Южное Колебание изучены недостаточно. Наименее изучен вопрос об устойчивости упомянутых характеристик к сдвигам отрезков времени, по которым они определены, представляющий наибольший интерес при решении проблем их прогнозирования по соответствующим предысториям.

Решение указанных вопросов позволило бы использовать предысторию изменений средней интенсивности атмосферных осадков, выпавших в различные месяцы и сезоны на МГ Севастополь, а также результаты мониторинга соответствующих характеристик ЭНЮК, при моделировании и прогнозировании особенностей этих процессов. Следовательно, поиск их решений и проверка справедливости выдвинутой гипотезы представляет существенный теоретический и практический интерес.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При решении обеих рассматриваемых задач как фактический материал использованы временные ряды месячных сумм атмосферных осадков на МГ Севастополь в том или ином месяце 1882-2019 гг., которые получены из архива Севастопольского отделения ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова».

При решении второй задачи использованы также временные ряды, отражающие изменения некоторых глобальных климатических индексов, которые характеризуют состояние ЭНЮК и определяются особенностями распределений температуры водной поверхности в экваториальной зоне Тихого океана и атмосферного давления над ней (далее ТПО и АД) [2, 11, 12, 14,15,17]. Одним из таких индексов является Nino 3.4 [6], который определяется среднемесячным значением ТПО, осредненным по поверхности района упомянутой зоны Тихого океана (5°N,5°S; 170°W, 120°W). Рассматривались также индексы Nino 1+2, Nino 3 и Nino 4, которые определяются аналогично, но для

других районов той же зоны Тихого океана. Индекс Nino 1+2 характеризуется средним значением среднемесячной ТПО района (0, 10°S; 90°W, 80°W). Такая же характеристика для района (5°N, 5°S; 150°W, 90°W) рассматривается как индекс Nino 3. Аналогичная характеристика для района (5°N, 5°S; 160°E, 150°W) представляет собой индекс Nino 4. [16] В теплой фазе ЭНЮК значения этих индексов превышают соответствующие средние уровни. В фазе Ла-Нинья значения данных индексов ниже их [15].

Учитывался также индекс Южного колебания - SOI, который предложен Г.Т. Уолкером в 1924 году [26]. Он вычисляется как разность АД между островом Таити и пунктом Дарвин (Австралия). Отрицательные значения SOI соответствуют фазе Эль-Ниньо, а положительные – фазе Ла-Нинья.

Исследовались также комбинированные индексы, к которым относятся: ONI и MEI. Индекс ONI определяется как разность нормированных аномалий ТПО в регионах, для которых рассчитывают индексы Nino 4 и Nino1+2 [24]. Интегральный многомерный индекс (MEI) [27] рассчитывается как первый главный компонент в базисе 6-ти переменных (приповерхностное АД; зональный и меридиональный компоненты приповерхностного ветра; ТПО; температура приповерхностного воздуха; облачность), которые регистрируются над тропической зоной Тихого океана.

Информация об изменениях за период с января 1950 г. по декабрь 2019 г. всех перечисленных глобальных климатических индексов получена из базы данных [28]. При разработке методики исследования предполагалось, что изучаемый процесс $S(t)$ является нестационарным и представляет собой сложное колебание. Поэтому отрезок реализации рассматриваемого процесса, который представляет собой его предысторию, может быть описан математической моделью [5]:

$$S(t) = \tau(t) + \sum A_i(t) \sin((2\pi t/T_i) + \varphi_i(t)), \quad (1)$$

где $\tau(t)$ – линейный тренд процесса, с угловым коэффициентом – k_0 , который характеризует его истинную тенденцию; T_i – период i -составляющей процесса ($i=1, 2, 3 \dots N$) – неизвестная константа; при некоторых i его значения могут превышать продолжительность временного интервала, в течение которого осуществляются наблюдения; $A_i(t)$ – амплитуда i -составляющей процесса, которая на любом отрезке времени продолжительностью T_N является медленно меняющейся, гладкой и неизвестной функцией времени t ; $\varphi_i(t)$ – начальная фаза, которая также является медленно меняющейся, гладкой и также неизвестной функцией времени t .

При прогнозировании процесса $S(t)$ предполагается, что упомянутые свойства $A_i(t)$ и $\varphi_i(t)$ не изменяются, но дальнейшие вариации параметров этих характеристик, а также k_0 , являются случайными величинами. Из модели (1) следует, что оценка фактической тенденции процесса $S(t)$ на

отрезке времени (t_1 ; t_2), которую характеризует угловым коэффициентом его линейного тренда k_{t_1, t_2} , может отличаться от k_0 , так как некоторые T_i , превышают продолжительность этого отрезка. Значения этой оценки, а также коэффициента корреляции K_{t_1, t_2} процесса $S(t)$ с каким-либо его фактором, могут зависеть от выбора t_1 и t_2 .

При усреднении $S(t)$ в «скользящем окне» длиной D , которая равна T_i , результат определяется составляющими этого процесса с периодами не кратными T_i . К ним относятся все его составляющие с $T_i > D$. Его составляющие с периодами не кратными T_i , значения которых меньше D , при этом оказываются в той или иной мере нивелируются. Учитывая особенности рассматриваемой модели изучаемого процесса, методика его исследования предполагала решение первой задачи в два этапа.

На первом этапе изучалась его предыстория за период 1882-2019 гг. Рассматривалась зависимость от года начала «скользящего окна» длиной от 5 до 30 лет, усредненных по нему $S(t)$ – сумм атмосферных осадков на МГ Севастополь, которые соответствуют некоторому месяцу, сезону года или году в целом.

На втором этапе для различных значений t_1 и t_2 , выбранных так, что

$$t_2 - t_1 = D = 4 T_i,$$

изучались зависимости оценок A_i от t_1 и T_i . Рассматривались также периодограммы изучаемых процессов – зависимости оценок A_i , усредненных по всем t_1 , от T_i . При этом предполагалось, что T_i принадлежат интервалу 2 – 33 года.

Вторая задача также решалась в два этапа. На первом ее этапе оценивались тенденции каждого изучаемого процесса, для различных значений D и t_1 . Значение углового коэффициента линейного тренда каждого рассматриваемого временного ряда (k_{t_1, t_2}) определялось по методу наименьших квадратов. Значимость тренда оценивалась по критерию Фишера [1, 7]. Тренд признавался значимым, если достоверность этого вывода превышала 0,95.

Также выявлялись современные тенденции изменения сумм атмосферных осадков, выпадавших на МГ Севастополь за некоторый месяц, сезон или в целом год и оценивалась их устойчивость к сдвигам отрезков времени, по которым они определены. Для этого оценки k_{t_1, t_2} , которые получены для различных «скользящих окон», с D , из интервала 10 – 70 лет, сопоставлялись с оценками тех же показателей, вычисленными для «окон» с такими же D , при условии, что $t_2 = 2019$ г. Для того или иного изучаемого временного ряда сумм атмосферных осадков на МГ Севастополь, соответствующего каждому месяцу, определялось максимальное значение сдвига $\delta = 2019 - t_2$ «окна» длиной D , по отношению к такому же окну, завершающемуся 2019 г., при котором знаки вычисленных по этим «окнам» k_{t_1, t_2} , совпадают.

Выявленное, таким образом, значение δ определяет границу диапазона сдвигов по времени «скользящих окон» длиной D , при которых оценки знаков тенденций изучаемых процессов совпадают с современными (что нами трактуется как их устойчивость). Одним из вероятных является сценарий будущего, при котором допущения, заложенные в модель процесса (1) останутся справедливыми. При его осуществлении представляется вероятным, что знаки оценок его тенденций для «окон» такой же длины, завершающихся годом $t_2 < 2019 + \delta$, будут совпадать со знаком его тенденции, которая определена для «окна», завершающегося 2019 годом. Следовательно, при упреждениях, не превышающих δ , знак K_{t_1, t_2} , который оценен по отрезку предыстории изучаемого процесса длиной D , целесообразно рассматривать, как прогноз его дальнейшей тенденции. Учитывая это, на первом этапе решения второй задачи значения δ , соответствующие тем или иным D , как показатели устойчивости современной тенденции изучаемого процесса, определялись для каждого месяца и года в целом.

На втором этапе решения этой задачи изучались статистические связи многолетних изменений месячных сумм атмосферных осадков, выпадавших на МГ Севастополь, с совпадающим по времени фрагментом ряда того или иного глобального климатического индекса, который характеризует состояние процесса ЭНЮК. Как характеристика связи между рассматриваемыми процессами в некотором «скользящем окне» длиной D , рассматривалось значение коэффициента парной корреляции соответствующих отрезков их временных рядов – K_{t_1, t_2} . [9] При вычислении этой меры линейные тренды, присутствующие в сопоставляемых отрезках изучаемых временных рядов, были скомпенсированы.

Рассматриваемая связь признавалась значимой, если достоверность такого статистического вывода превосходила уровень 0,9. Для связей, которые признаны значимыми, также оценивалось

справедливость вывода о том, что его достоверность больше 0,95 и 0,99. Значение достоверности указанного вывода оценивалось с применением критерия Стьюдента. Пороговый уровень значимости K_{t_1, t_2} определялся с учетом числа степеней свободы сопоставляемых частей изучаемых временных рядов.

Исследовалась значимость K_{t_1, t_2} между отрезком временного ряда сумм атмосферных осадков на МГ Севастополь, для того или иного месяца, с D от 30 до 120 лет и $t_2 = 2019$, а также совпадающим с ними по времени отрезком ряда каждого рассматриваемого глобального климатического индекса.

Оценивалась также устойчивость оценок значимости K_{t_1, t_2} сопоставляемых рядов к временным сдвигам «скользящего окна» длиной D по отношению к их значениям, которые вычислены для «окна», завершающегося 2019 годом. При этом определялось максимальное значение сдвига $\delta_1 = 2019 - t_2$ «окна» длиной D , по отношению к «окну» той же длины, с $t_2 = 2019$ г., при котором, с достоверностью не ниже 95%, K_{t_1, t_2} , оцененные для последнего как значимые, признаются значимыми и для «окна», завершающегося в год t_2 . Для этого оценки значимости K_{t_1, t_2} между изучаемыми процессами, которые получены для различных «скользящих окон» с D из интервала (10 до 70 лет), сопоставлялись с оценками тех же показателей, которые вычислены для «окон» с такими же D , соответствующих $t_2 = 2019$ г.

Оценки δ_1 характеризуют предельные упреждения прогнозов значимости K_{t_1, t_2} между рассматриваемыми процессами, которые основаны на учете отрезков их предыстории длиной D , и могут быть признаны реалистичными при осуществлении упомянутого выше сценария будущего. Выявление связей каких-либо процессов, которые в некотором будущем окажутся значимыми, также представляет интерес для их прогнозирования. Поэтому значения δ_1 , при различных D , определены для всех рассматриваемых процессов.

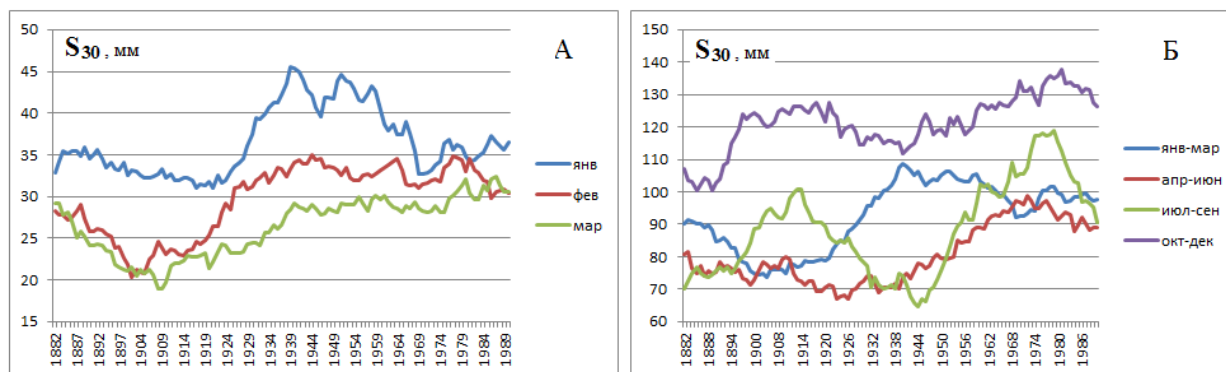


Рис. 1. Зависимости от t_1 для «скользящего окна» длиной $D = 30$ лет, осредненных в нем сумм S_D атмосферных осадков на МГ Севастополь: А) для зимних месяцев; Б) в среднем для климатических сезонов

Fig. 1. Dependences on t_1 for a "sliding window" of length $D = 30$ years, the average amounts of SD precipitation per MG Sevastopol: A) for winter months; B) on average for climatic seasons

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

В соответствии с изложенной методикой, на первом этапе решения первой задачи для всех месяцев и каждого скользящего окна длиной D от 5 до 35 лет, вычислены средние значения месячных сумм (S_D) атмосферных осадков на МГ Севастополь. Рассмотрены зависимости S_D от t_1 соответствующих «скользящих окон», которые соответствуют тому или иному месяцу и сезону года. На рисунке 1, в качестве примера упомянутые зависимости S_{30} представлены для зимних месяцев, и различных сезонов. случая, когда $D = 30$ лет.

Из анализа зависимостей на рисунке 1А следует, что для зимних месяцев многолетние изменения осредненных в скользящем окне длиной 30 лет, сумм S_{30} атмосферных осадков на МГ Севастополь представляют собой сложные колебания. В них присутствуют возрастающие тренды, а также квазигармонические составляющие, основная мода которых характеризуется периодом близким к 60 годам (январь) и 80 годам (февраль и март).

Представленные на рисунке 1Б зависимости показывают, что аналогичные особенности

свойственны многолетним изменениям S_{30} , которые усреднены за тот или иной климатический сезон. Существенной особенностью рассматриваемых зависимостей, соответствующих весеннему, летнему и осеннему сезону, является убывание значений отображаемых показателей в последние десятилетия. Указанная особенность весной проявилась в период с 1974 г., летом – с 1980 г. и осенью – с 1983 г. Аналогичные особенности проявляются и в таких же зависимостях, соответствующих скользящим окнам меньшей длительности. Это подтверждают представленные на рисунке 2 зависимости от t_1 значений S_8 , которые соответствуют всему летнему сезону, и году в целом, если $D = 8$ лет.

Из рисунка 2 следует, что и многолетние изменения S_8 для МГ Севастополь, которые соответствуют летнему сезону и году в целом также представляют собой сложные колебания в которых присутствуют возрастающие тренды, а также компоненты с периодом не только 65 лет, но и 22 года. При этом минимум последнего 22-летнего цикла пришелся на 2009 год, следовательно, его ближайший максимум (вероятно, не очень высокий) будет пройден в 2020 – 2021 году.

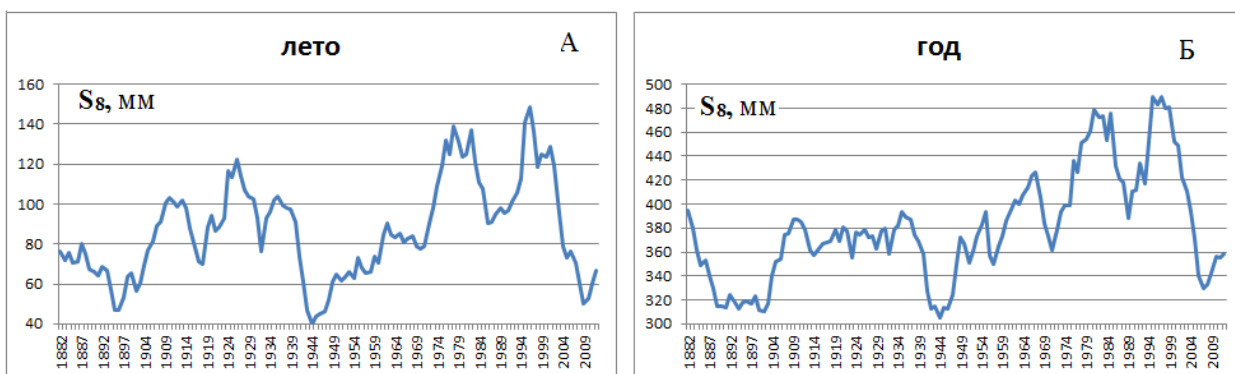


Рис. 2. Многолетние изменения S_8 на МГ Севастополь: А) для летнего сезона; Б) в среднем за год.
Fig. 2. Long-term changes of S_8 on MG Sevastopol: A) for the summer season; B) on average for the year.

Как видно из анализа графиков, представленных на рисунке 2, в период 2021 – 2032 годы в 22-летнем цикле изменений интенсивности атмосферных осадков в г. Севастополь (и, по-видимому, во многих районах Крыма) следует ожидать наступления нисходящей фазы. На эти же годы будет приходиться и нисходящая ветвь ранее упомянутого 60 – 80-летнего цикла. Поэтому представляется вероятным, что ближайшее десятилетие для сельского хозяйства в Крыму будет экстремально сложным.

На втором этапе решения первой задачи изучены зависимости от t_1 оценок амплитуд (A_i) составляющих изменчивости месячных, сезонных и годовых сумм атмосферных осадков на МГ Севастополь с периодами $T_i = 2 - 33$ года. Оценка A_i произведена для всех «скользящих окон» с $D = 4T_i$. В качестве примера, на рисунке 3 отображены упомянутые зависимости от t_1 скользящего окна с $D = 4T_i$ амплитуд (A_i) составляющих изменчивости сумм атмосферных осадков на МГ Севастополь за тот или иной сезон, для $T_i = 7$ лет и $T_i = 15$ лет.

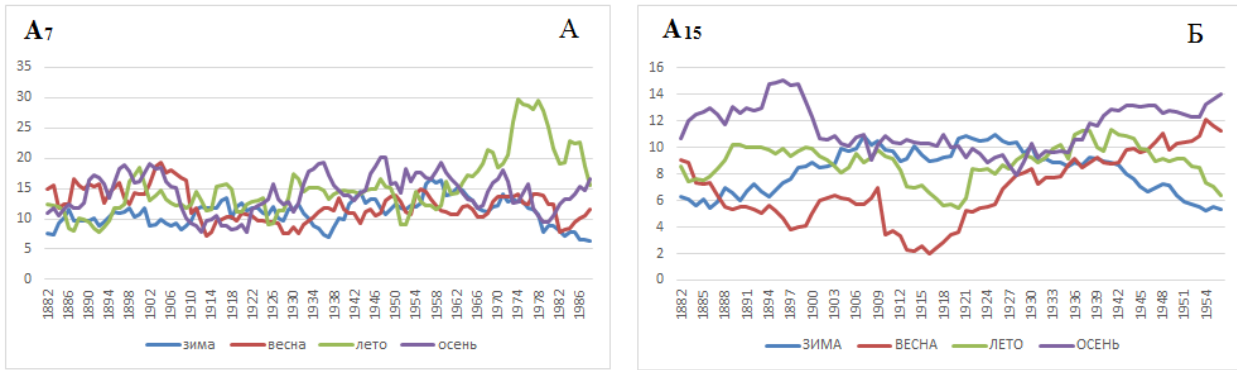


Рис. 3. Зависимости от t_1 «скользящего окна» с $D = 4T_i$ амплитуд (A_i) составляющих изменчивости сумм атмосферных осадков за тот или иной сезон на МГ Севастополь А) $T_i = 7$ лет; Б) $T_i = 15$ лет.
Fig. 3. Dependences on t_1 of the "sliding window" with $D = 4T_i$ of the amplitudes (A_i) of the components of the variability of precipitation amounts for a given season on the Sevastopol MG А) $T_i = 7$ years; Б) $T_i = 15$ years.

Из рис. 3 следует, что все представленные на нем процессы представляют собой сложные колебания.

Из рис. 3А понятно, что в изменениях A_7 для летнего и зимнего сезона в период с середины 70-х годов XX века и до современности преобладают тенденции к их уменьшению. Для весеннего и осеннего сезонов в этих процессах присутствуют возрастающие тренды. Рис. 3Б показывает, что аналогичные особенности характерны и для изменений A_{15} . Для летнего и зимнего сезона убывающие тренды выявлены в них для периодов 1940-2019 гг. и 1924-2019 гг. соответственно, а для весеннего и осеннего сезонов тренды данных

процессов являются возрастающими для интервалов 1917 – 2019 гг. и 1927 – 2019 гг. Следовательно, в современном периоде вклады рассматриваемых составляющих в $S(t)$ для весенних и осенних сезонов возрастают, а для летних и зимних сезонов уменьшаются.

Также проанализированы периодограммы $S(t)$, рассчитанные для того или иного месяца, сезона и в целом за год. В качестве примера, указанные характеристики для МГ Севастополь, соответствующие каждому сезону и в целом году, приведены на рис. 4.

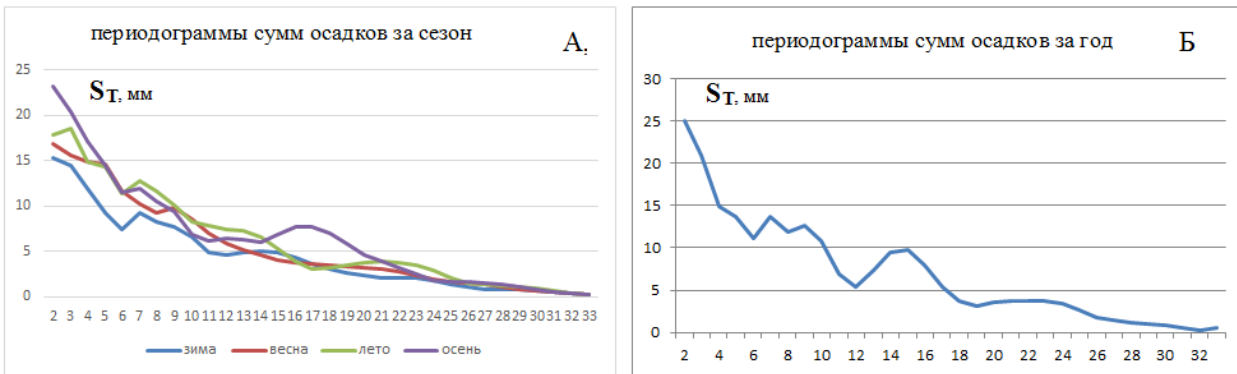


Рис. 4. Периодограммы $S(t)$ для на МГ Севастополь: А) для каждого сезона; Б) в среднем за год.
Fig. 4. Periodograms $S(t)$ for the Sevastopol mg: А) for each season; Б) on average for the year.

Как видно из рис. 4Б, в периодограммах многолетних изменений сумм атмосферных осадков МГ Севастополь и за год, присутствуют максимумы, соответствующие периодам 2, 7, 9, 15 и 22 года.

Рисунок 4А указывает на то, что максимум, соответствующий периоду 22 года, присутствует также на периодограмме для летнего сезона. На периодограммах, соответствующих осеннему и зимнему сезону, присутствуют максимумы для периодов 15-16 лет. Периодограммы, соответствующие лету, осени, зиме содержат максимумы с периодами 7 лет. В периодограмме для весеннего сезона присутствует максимум, приходящийся на период 9 лет. Кроме того, в

составе рассматриваемых процессов, соответствующих любому сезону, присутствуют составляющая с периодом 2 года. Аналогичные особенности характерны для периодограмм изучаемых процессов, которые соответствуют различным месяцам года.

На первом этапе решения второй задачи для каждого месяца, сезона года с использованием частей соответствующих временных рядов, которым соответствуют различные D , оценены проявившиеся на них тенденции. Как пример, в табл. 1 приведены полученные таким образом оценки значимых тенденций изменений средних интенсивностей атмосферных осадков, которые

выпадали за различные месяцы и за весь год, на МГ Севастополь, рассчитанных для «окон» с $t_2=2019$.

Таблица 1. Оценки современных тенденций многолетних изменений месячных сумм атмосферных осадков на МГ Севастополь за периоды времени различной продолжительности.

Table 1. Estimates of current trends in long-term changes in monthly amounts of atmospheric precipitation at MG Sevastopol for periods of different duration.

t1	1882	1950	1980	1990	2000	2010
D	138	70	40	30	20	10
Январь	0,0633	-0,1219	0,4134	0,8980	0,1572	-1,6795
Февраль	0,0495	-0,1131	-0,3269	-0,1782	-0,3170	2,6348
Март	0,0344	0,0619	0,1141	-0,0734	-0,2700	-2,5562
Апрель	-0,0221	0,0387	-0,4371	-0,9761	-0,5695	0,6134
Май	0,0231	-0,1177	-0,0297	-0,3201	0,4671	4,9759
Июнь	0,1434	0,2108	-0,5785	0,1516	1,0155	-0,1866
Июль	0,0626	-0,0438	-0,3969	0,0107	-0,9153	2,8785
Август	0,0597	0,0319	-0,9673	-1,0508	-2,5316	0,8795
Сентябрь	0,0695	0,3028	-0,4978	-0,9803	-2,9146	-2,2321
Октябрь	0,0436	0,4501	0,2738	0,1735	-1,1352	2,3411
Ноябрь	0,0927	-0,0652	-0,6301	-0,9267	-2,0837	3,0928
Декабрь	0,0507	-0,2335	-0,1727	0,2138	0,8949	1,2009
Год	0,0185	-0,0392	-0,0665	1,0647	0,9009	7,9906

Из табл. 1 следует, что знак современной тенденции многолетних изменений месячных сумм атмосферных осадков на МГ Севастополь существенно зависит от продолжительности интервала времени, за который она вычислена. Последнее свидетельствует о том, что оценка их устойчивости действительно является актуальной. Справедливость данного вывода подтверждают и зависимости от t_1 соответствующего «окна» оценок

современных тенденций изменений сумм атмосферных осадков, выпадавших в различные месяцы на МГ Севастополь, которые приведены на рис. 5.

Рис. 5 подтверждает, что зависимости от t_1 оценок тенденции изменения средней интенсивности атмосферных осадков на МГ Севастополь, рассчитанных для «окон» с $t_2=2019$, для любого месяца являются знакопеременными.

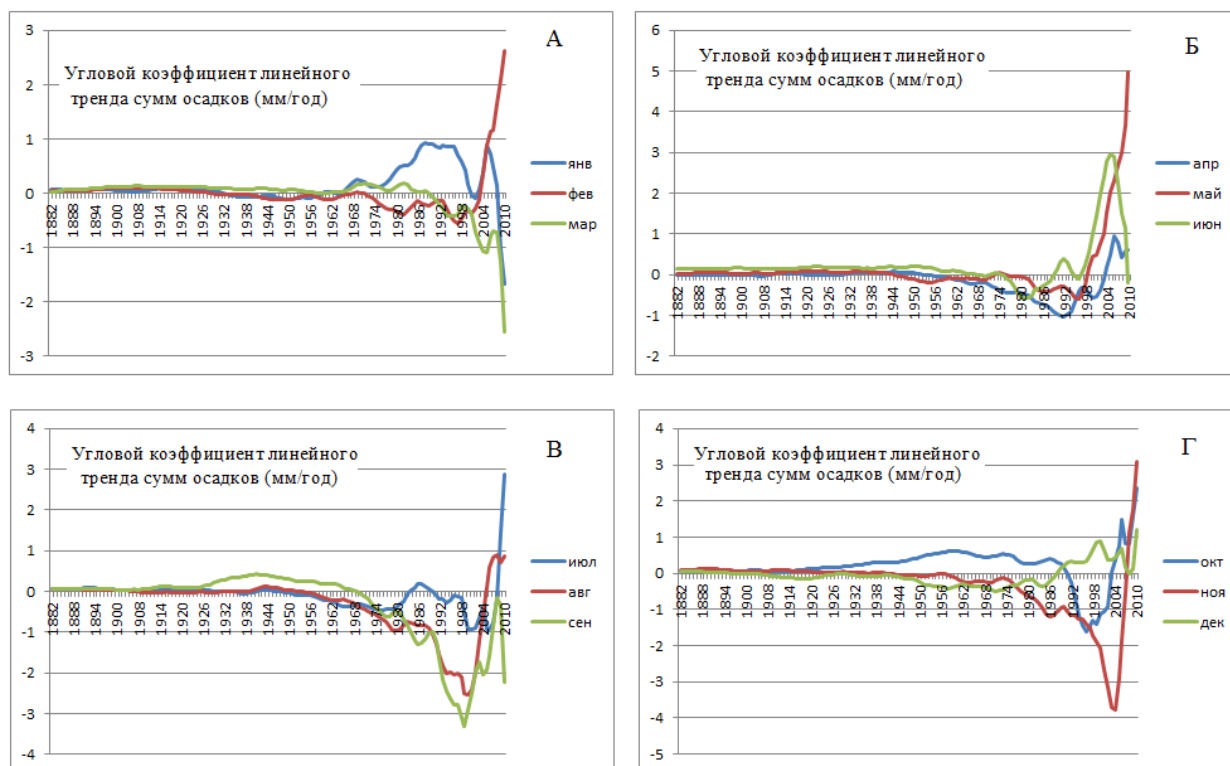


Рис. 5. Зависимости от t_1 оценок k_{t_1, t_2} на МГ Севастополь, вычисленных для «окон» с $t_2=2019$, для сезонов: А) зима; Б) весна; В) лето; Г) осень

Fig. 5. Dependences on t_1 estimates of k_{t_1, t_2} for MG Sevastopol, calculated for "Windows" with $t_2=2019$, for the seasons: a) winter; B) spring; C) summer; d) autumn

Минимальные значения t_1 «окон», для которых вычислено K_{t_1, t_2} , при условии, что знак этого показателя совпадает с его знаком для последнего изученного «окна» (2010 – 2019 гг.) зависят от месяца. Для июня, подобное совпадение имеет место лишь в окнах, с $t_1 = 2009$. Для января, июля и ноября аналогичное имеет место с $t_1=2007$, для февраля, апреля и октября – с 2003 г. Наименьшие значения t_1 соответствуют сентябрю (1970) и марту

(1990). Последнее позволяет предположить, что для сентября и марта современные тенденции к уменьшению месячных сумм атмосферных осадков могут обладать повышенной устойчивостью.

Для проверки справедливости данного предположения, в соответствии с изложенной методикой для каждого месяца и в среднем за год, для некоторых D рассчитаны значения показателя δ , которые приведены в табл. 2.

Таблица 2. Диапазоны устойчивости (δ , год) современных тенденций изменения средней интенсивности атмосферных осадков, выпадавших на МГ Севастополь в некотором месяце, которые оценены для «окон» с разными D .

Table 2. Ranges of stability (δ , year) of the current trends in the average intensity of atmospheric precipitation falling on the Sevastopol MG in a certain month, which are estimated for “windows” with different D .

D, год	10	15	23	33
Январь	5	8	12	7
Февраль	1	5	9	10
Март	0	2	4	19
Апрель	0	6	13	12
Май	1	6	11	7
Июнь	6	12	18	10
Июль	10	12	13	25
Август	1	4	7	9
Сентябрь	0	5	10	15
Октябрь	0	2	4	25
Ноябрь	0	2	5	6
Декабрь	2	4	6	25
Год	1	2	4	9

Из табл. 2 следует, что диапазоны устойчивости – δ современных тенденций изменения средней интенсивности атмосферных осадков, выпадавших на МГ Севастополь, зависят как от соответствующего месяца, так и от значения D . По мере увеличения D значения рассматриваемых показателей для любого месяца монотонно возрастают.

При любом фиксированном D , значения δ являются наибольшими для июля. Учитывая результаты, которые представлены в табл. 1, оценки, приведённые табл. 2, позволяют предположить, что в ближайшие 20-30 лет в апреле-сентябре средняя интенсивность атмосферных осадков в рассматриваемом районе будет снижаться.

На втором этапе решения второй задачи изучены статистические связи многолетних изменений месячных сумм атмосферных осадков, выпадавших на МГ Севастополь в любые месяцы года, с совпадающим по времени фрагментом временного ряда того или иного глобального климатического индекса, который характеризует состояние процесса ЭНЮК. Для этого для всех «скользящих окон» длиной D , в которых скомпенсированы линейные тренды, вычислены значения K_{t_1, t_2} .

Как пример, на рис. 6 представлены зависимости K_{t_1, t_2} от t_1 , для изменений средней интенсивности осадков на МГ Севастополь и всех рассматриваемых индексов ЭНЮК, и «окон», с $t_2 = 2019$, которые соответствуют месяцам декабрь и январь.

Из рисунка 6А следует, что при $t_1 < 1968$, существенного влияния на изменения K_{t_1, t_2} для связей изменений средней интенсивности осадков на МГ Севастополь со всеми индексами, увеличение t_1 не оказывало. В дальнейшем же, в изменениях K_{t_1, t_2} для связей изучаемого процесса с индексом SOI сформировался значимый убывающий тренд, а с прочими индексами – значимые возрастающие тренды.

Рисунок 6Б показывает, что характер зависимостей K_{t_1, t_2} от t_1 для тех же процессов, соответствующих декабрю, был практически противоположным.

Пороговые уровни коэффициента корреляции между рассматриваемыми процессами, которые соответствуют той или иной достоверности статистического вывода о значимости связи между ними (по критерию Стьюдента), которая оценена по отрезкам их рядов длиной D , представлены в табл. 3.

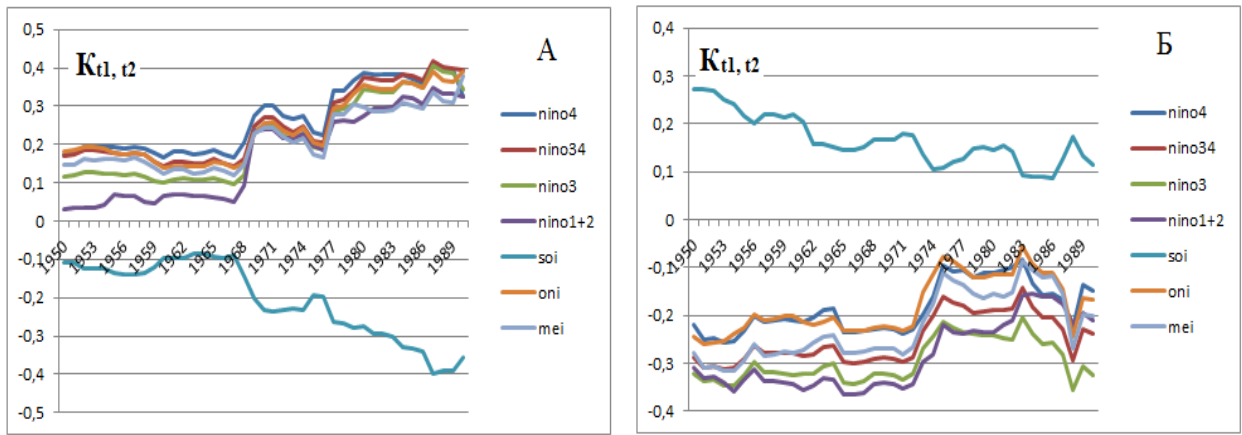


Рис. 6. Зависимости $K_{t1, t2}$ от $t1$, для изменений средней интенсивности осадков на МГ Севастополь и всех рассматриваемых индексов, и «окон», с $t2=2019$, которые соответствуют месяцам: А) Январь; Б) Декабрь
Fig. 6. Dependences of $K_{t1, t2}$ from $t1$, for changes in the average precipitation intensity on the Sevastopol mg AND all considered indices, and "Windows", with $t2=2019$, which correspond to the months: a) January; B) December

Таблица 3. Пороговые уровни (L) коэффициента корреляции между отрезками временных рядов рассматриваемых процессов длиной D

Table 3. Threshold levels (L) of the correlation coefficient between time series segments of the considered processes of length D

Достоверность	D	L	D	L	D	L
0,99	70	0,31	40	0,43	30	0,48
0,95	70	0,24	40	0,32	30	0,38
0,90	70	0,2	40	0,266	30	0,31

Из сравнения табл. 3 и рис. 6Б видно, что статистические связи изменений средней интенсивности осадков на МГ Севастополь со всеми индексами ЭНЮК, которые оценивались для декабря, за период 1950-2019 гг., могли быть признаны значимыми с достоверностью не менее 0,9. Аналогичный вывод с достоверностью 0,95 мог быть сделан в отношении связей для индексов NINO 3, NINO 34, NINO 1+2, ONI, MEI. Достоверность данного вывода превышала уровень 0,99 для индексов NINO 3 и NINO 1+2.

Вместе с тем при использовании для получения аналогичных оценок отрезков временных рядов тех же процессов за период 1980-2019 гг. все рассматриваемые связи значимыми признаны быть не могут даже с достоверностью 0,9.

При оценке достоверности того же вывода, основываясь на предысториях изучаемых процессов за последние 30 лет, установлено, что справедливым с достоверностью 0,9 он может быть признан лишь для индекса NINO 3.

Сопоставляя табл. 3 и рис. 6А понятно, что статистические связи изменений средней интенсивности осадков на МГ Севастополь для января, со всеми индексами ЭНЮК, оцененные за период 1950 – 2019 гг., значимыми не являлись. Если значимости тех же связей оцениваются за период 1980 – 2019 гг., то с достоверностью не ниже 0,9 рассматриваемый вывод может быть сделан в отношении связей изучаемого процесса с вариациями индексов NINO 4, NINO 34, NINO 3, SOI, ONI, MEI. С достоверностью не ниже 0,95 он может быть сделан в отношении связей с индексами NINO 4, NINO34 и ONI.

При выполнении аналогичных исследований за период 1990 – 2019 гг. установлено, что с достоверностью не менее 0,9 значимыми могут быть признаны связи со всеми индексами.

Как пример, значения $K_{t1, t2}$, которые соответствуют связям между рассматриваемыми процессами, оцениваемым за период 1980 – 2019 гг. приведены в табл. 4.

Таблица 4. Значения $K_{t1, t2}$, многолетних изменений средней интенсивности осадков на МГ Севастополь в различные месяцы 1980-2019 гг. и вариаций рассматриваемых индексов ЭНЮК ($L_{0,95}=0,32$).

Table 4. Values of $K_{t1, t2}$, long-term changes in the average precipitation intensity at the Sevastopol MG in different months of 1980-2019 and variations of the considered ENSO indices ($L_{0.95} = 0.32$).

Индекс	NINO4	NINO 34	NINO 3	NINO 1+2	SOI	ONI	MEI
Январь	0,3662	0,3396	0,3045	0,2574	-0,2796	0,3317	0,3056
Февраль	0,1179	0,1658	0,1072	-0,0848	-0,0841	0,1197	0,1625
Март	0,0286	-0,0406	-0,0907	-0,0453	0,0418	0,0040	-0,0018
Апрель	0,3397	0,2174	0,0069	-0,0260	-0,3363	0,2337	0,0960
Май	0,0331	-0,0003	0,1002	0,0672	-0,0048	0,0670	0,1096
Июнь	0,1117	0,1699	0,3539	0,4909	-0,0282	0,1621	0,3139
Июль	-0,0209	0,0696	0,1591	0,2349	-0,0853	0,1561	0,2574
Август	0,0679	0,2511	0,2629	0,2511	-0,2718	0,3654	0,3744
Сентябрь	-0,1743	-0,1735	-0,1958	-0,2339	0,1298	-0,1875	-0,2576
Октябрь	-0,1483	0,0007	0,0434	0,0774	0,1834	-0,0095	-0,0806
Ноябрь	-0,2988	-0,3556	-0,3497	-0,2606	0,2162	-0,3391	-0,2801
Декабрь	-0,1128	-0,1917	-0,2426	-0,2340	0,1526	-0,1200	-0,1645
Год	-0,0184	-0,0041	0,0014	0,0760	0,0955	0,0789	0,1075

Из табл. 4 следует, что месяц, для которого в рассмотренных примерах значения $K_{t1, t2}$, превышают по модулю уровень $L_{0,95}$, для связей между временными рядами средних интенсивностей осадков на МГ Севастополь и наибольшим количеством индексов ЭНЮК, является январь.

Аналогичные результаты получены и при расчете значений $K_{t1, t2}$, для других значений L и отрезков времени с другими D , но завершающихся 2019г.

При выполнении таких же вычислений с использованием отрезков времени, с $t1= 1950$ г. (и переменными $t2$), месяцем, для которого значения $K_{t1, t2}$, превышают по модулю уровень тот или иной пороговый уровень L для наибольшего количества индексов ЭНЮК и $D < 46$, является декабрь. Последнее объясняет усиление рассматриваемых связей между рассматриваемыми на рисунках 6А и 6Б процессами, которые соответствуют январю и их ослабление для декабря.

Учитывая указанные особенности, а также важность их учета при решении задач прогнозирования, исследование устойчивости оценок значимости $K_{t1, t2}$ осуществлено для «окон» с $t2 = 2019$, и случая, когда $S(t)$ и индексы ЭНЮК соответствовали январю.

В соответствии с изложенной методикой определены значения диапазона устойчивости $\delta 1$ оценок значимости $K_{t1, t2}$ связей между указанными процессами, которые рассматривались в

совпадающих по времени «окнах» с различными D . В качестве примера, в табл. 5 представлены значения $\delta 1$ для января, при определении которых полагалось $t2 = 2019$, $L = 0,9$, а D выбирались из интервала 24 – 40 лет.

Из табл. 5 видно, что диапазоны устойчивости корреляции $\delta 1$ (год) между изменениями средней интенсивности атмосферных осадков на МГ Севастополь, а также вариациями рассматриваемых индексов ЭНЮК для января, которые соответствуют достоверности вывода о значимости связи между ними 0,9, зависят от D . При увеличении D от 24 до 28 значения $\delta 1$ возрастают, а при дальнейшем увеличении D они снижаются.

Наибольшие значения $\delta 1$ при $D > 28$ соответствуют связям изучаемого процесса с индексами NINO4, NINO34, NINO3 и ONI. Тем не менее, при D , превышающих 47 лет, значения $\delta 1$ для всех, в том числе рассматриваемых индексов, снижаются до 0. Последнее означает, что изучаемые связи при указанных значениях D устойчивостью к сдвигам по времени не обладают.

Из табл. 5 следует, что значимость коэффициентов корреляции между изучаемыми процессами, как правило, наиболее устойчива к сдвигам отрезков времени, по которым они вычислены, при $28 < D < 30$. Поэтому ее прогнозы по предыстории наиболее адекватны, если значения этих коэффициентов вычислены для D , которые лежат в указанных пределах.

Таблица 5. Диапазон устойчивости оценок значимости $K_{t_1, t_2} - \delta 1$ (год) между рассматриваемыми процессами для января, который соответствует $t_2=2019$, $L=0,9$ и различным значениям D .**Table 5.** The range of stability of estimates of the significance of $K_{t_1, t_2} - \delta 1$ (year) between the processes under consideration for January, which corresponds to $t_2 = 2019$, $L = 0.9$ and different values of D .

D	NINO4	NINO 34	NINO 3	NINO 1+2	SOI	ONI	MEI
24	4	4	2	*	4	4	2
25	3	4	3	*	4	4	1
26	3	3	2	*	11	3	*
27	3	14	13	*	10	16	*
28	15	15	12	*	9	15	*
29	14	14	12	4	4	14	*
30	13	12	11	3	4	13	13
31	12	11	11	2	4	12	12
32	11	11	11	2	4	11	11
33	10	10	10	3	3	10	10
34	9	9	9	3	3	9	9
35	8	8	8	3	3	8	8
36	7	7	7	3	3	7	7
37	6	6	5	3	3	6	6
38	5	5	4	2	3	5	5
39	4	4	4	1	2	4	4
40	3	3	3	0	1	3	3

*- значимой корреляции в окне с $t_2=2019$ не выявлено.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как следует из изложенных результатов, выявленные особенности изменений средней интенсивности атмосферных осадков на МГ Севастополь в различные месяцы и сезоны, качественно соответствуют свойствам математической модели, предложенной для описания этих процессов. Присутствие в рассмотренных процессах их составляющих, с периодами, близкими к 60 годам, соответствует представлениям А.В. Шнитникова [19] о продолжительности циклов изменения увлажненности материков.

Интересным представляется наличие в изменениях средней интенсивности атмосферных осадков на МГ Севастополь компонентов с периодами 7, 15 и 22 года, которые близки к продолжительностям циклов в развитии Мировой экономики (циклы Жюгляра и Кузнецова [23]) и солнечной активности (цикл Хейла [13, 20]). Указанное совпадение позволяет предположить, что оно обусловлено действием глобальных факторов, которые влияют как на изменения средней интенсивности атмосферных осадков в различных регионах мира, так и на развитие Мировой экономики.

Выявленные тренды в изучаемых процессах соответствуют представлениям С. Манабе и Р.Т. Вазеролда о тенденциях изменения засушливости климата в регионах умеренных широт и субтропиков при его глобальном потеплении [10]. Как следует из полученных результатов, современные тенденции изменений средней интенсивности атмосферных осадков на МГ Севастополь для многих месяцев, сезонов, а также года в целом, в пределах сдвигов по времени отрезков предыстории этих процессов, на которых

они оценены, не превышающих δ , обладают устойчивостью к ним. Это позволяет допускать, что их оценки для современного периода могут рассматриваться и как их прогнозы с такими предупреждениями. Для уточнения подобных прогнозов, соответствующих январю, могут быть использованы связи изучаемых процессов с вариациями январских значений индексов ЭНЮК, которые являются статистически значимыми и также обладают аналогичной устойчивостью к временным сдвигам (в пределах $\delta 1$).

Важной особенностью полученных результатов является выявленное изменение месяца, на который приходится значимые связи вариаций индексов ЭНЮК с изменениями средней интенсивности атмосферных осадков на МГ Севастополь. Причина этого изменения нуждается в дополнительном изучении. Следует отметить, что в середине интервала времени 1950 – 2019 гг. и в декабре, и в январе влияние ЭНЮК на изучаемый процесс было минимальным, что соответствует выводам [3], которые вполне справедливы для периода времени, для которого они были получены. Важным практическим следствием полученных результатов является открываемая ими возможность прогнозирования тенденций изменения средней интенсивности атмосферных осадков, выпадающих в те или иные месяцы на МГ Севастополь, которые представляются вероятными на ближайшие годы. Как видно из рис. 1 и 2, а также табл. 1 и 2, засушливость местного климата в районе МГ в ближайшем десятилетии будет увеличиваться (в особенности в летние месяцы).

Как уже отмечалось выше, распределение по территории полуострова Крым атмосферных осадков является весьма неравномерным. Поэтому для гарантированного решения проблем обеспечения водой населения и экономики всех его районов аналогичные исследования целесообразно

произвести и для других его метеостанций. Технические аспекты потребления и эксплуатации водных ресурсов весьма существенны. Качественный прогноз величин атмосферных осадков, как на краткосрочную, так и среднесрочную перспективу позволяет планировать объемы водных ресурсов на коммунально-бытовое, сельскохозяйственное и промышленное использование с учетом возможных рисков нехватки воды, засухи, лесных пожаров либо подтоплений. Кроме технических аспектов потребления воды из атмосферных осадков, существуют экологические, экономические, социальные и другие особенности. Поэтому улучшение качества гидропрогнозов необходимо для повышения эффективности всех видов водопользования.

При гидравлических расчетах городских сетей водоотведения расходы поверхностных сточных вод согласно действующей нормативной базе определяются методом предельных интенсивностей с учетом параметров, которые характеризуют интенсивность и продолжительность дождя для конкретной местности. Эти параметры определяются по результатам обработки многолетних записей самопишущих дождемеров местных метеорологических станций или по данным территориальных управлений Гидрометеослужбы. При отсутствии обработанных многолетних наблюдений параметры для гидравлического расчета городских сетей поверхностных сточных вод могут определяться с помощью математического моделирования, либо иным расчетным путем. Поэтому актуальным вопросом проектирования и эксплуатации современных систем водоотведения также является разработка и эксплуатация систем поверхностного стока, содержащих их электронные модели. Применение современных компьютерных технологий управления водными ресурсами базируется на основе мощных геоинформационных систем (ГИС) MapInfo, Caddy+, Zulu, Ингео, CityCom, MIKE URBAN и других, которые объединяют традиционные операции работы с базами данными, такими как сбор и их статистический анализ, с обеспечением возможности использования результатов в широком спектре задач для создания и использования кадастров инженерных сетей и сооружений. Применение ГИС позволяет создавать расчетные математические модели гидравлического расчета систем дождевой канализации и водоотведения поверхностного стока. При математическом моделировании систем дождевой канализации с применением ГИС строится комплексная модель, включающая гидрологическую модель, которая выполняет трансформацию осадков в сток и в гидравлическая модель, транспортирующая и трансформирующая сток по коллекторной сети для сброса в аккумулирующие водные объекты.

ВЫВОДЫ

Особенности модели (1) качественно соответствуют выявленным особенностям предыстории $S(t)$ на МГ Севастополь и аналогичных процессов в различных районах Крыма, для которых данная МГ является репрезентативной.

В изучаемом процессе для любого месяца, сезона и в целом года присутствуют квазипериодические составляющие, изменения текущих фаз которых происходят так, что для месяцев с апреля по октябрь в $S(t)$ выявлены значимые убывающие тренды.

Выявленные тенденции, свойственные предыстории изучаемых процессов для большинства месяцев обладают некоторой устойчивостью δ к сдвигам отрезков времени, для которых они определены. Это позволяет предположить, что если в будущем выявленные закономерности не изменятся, то при упреждениях не более δ , знаки дальнейших тенденций изучаемых процессов сохранятся такими же как в современном периоде.

Статистические связи предысторий $S(t)$ и индексов процесса ЭНЮК в современном периоде являются значимыми и также обладают некоторой устойчивостью к сдвигам отрезков времени, для которых они определены, что обуславливает целесообразность их учета при прогнозировании.

Ближайшие годы и в особенности месяцы с апреля по октябрь и в районе Севастополя, и в Крыму, по-видимому, окажутся маловодными (экстремально засушливыми). Наименьшая средняя интенсивность атмосферных осадков здесь вероятна в четные годы (2022, 2024 и т.д.).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта № 20-45-920007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: ЮНИТИ. 1998. 1022 с.
2. Воскресенская Е.Н., Полонский А.Б. Северо-Атлантическое колебание и явления Эль-Ниньо // Морской гидрофизический журнал. 1992. №4. С. 23-30.
3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Клещенко Л.К., Аристов Л.Н. О связи климатических аномалий на территории России с явлением Эль-Ниньо-Южное колебание // Метеорология и гидрология. 1999. №5. С. 32-51.
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Гидрометеорологические условия/ под ред. Альтмана Э.Н., Симонова А.И. Гидрометеиздат, Санкт-Петербург, 1991 г., Т. 4, Вып.1, 429 с.
5. Гукенхеймер Дж., Холмс Ф. Нелинейные колебания, динамические системы и бифуркации векторных полей. М.: Гос. изд-во физико-математической литературы, 2002. 560 с.
6. Железнова И.В., Гущина Д.Ю. Отклик глобальной циркуляции атмосферы на два типа Эль-Ниньо // Метеорология и гидрология. 2015. №3. С. 36-50.

7. Закс Ш. Теория статистических выводов. /Пер. с англ. Е.В. Чепурина; под ред. Ю. К. Беляева. М.: Мир. 1985. 776 с.
8. История метеорологии в Крыму [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kfo.meteorf.ru/osluzhbe/istoriya-meteorologii-v-kryimu.html>
9. Крамер Г. Математические методы статистики. М. Мир. 1975. 648 с.
10. Манабе С., Вазеролд Р.Т. Долговременные изменения водных запасов вследствие глобального потепления по данным моделирования// Всемирная конференция по изменениям климата. М.: Паблик принт, 2004. С.47-56.
11. Мохов И.И., Смирнов Д.А. Исследование взаимного влияния процессов Эль-Ниньо – Южное колебание и Северо-Атлантического и Арктического колебаний нелинейными методами // Известия РАН, Физика атмосферы и океана. 2006. Т.42. №5. С. 650-667.
12. Мохов И.И., Тимажев А.В. Климатические аномалии в регионах Евразии: эффекты явлений Эль-Ниньо / Ла-Нинья // ДАН. 2013. Т.453. №2. С. 211-214.
13. Наговицын Ю.А. Глобальная активность Солнца на длительных временах // Астрофизический бюллетень. 2008. №1 С. 45-58.
14. Нестеров Е.С. Изменчивость характеристик атмосферы и океана в атлантико-европейском регионе в годы событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья // Метеорология и гидрология. 2000. №8. С. 74-83.
15. Петросянец М.А., Семенов Е.К., Гущина Д.Ю., Соколихина Е.В., Соколихина Н.Н. Циркуляция атмосферы в тропиках: климат и изменчивость // М.: Макс Пресс. 2005. 670 с.
16. Петросянец М.А., Гущина Д.Ю. Крупномасштабное взаимодействие глобальной циркуляции атмосферы с температурой поверхности экваториального Тихого океана // Метеорология и гидрология. 1998. №12. С. 5-22.
17. Полонский А.Б. Роль океана в изменениях климата. // Наукова думка. Киев. 2008. 184 с.
18. Трансформация структуры водного баланса в Крыму в XX веке-начале XXI века и ее оптимизация / Под ред. д.г.н., проф. Бокова В.А. – Симферополь: Крымский научный центр, 2011. -227с.
19. Шнитников А.В. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария. – Зап. Геогр. общества СССР. 1957. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, Т.16. 1-336.
20. Crowley, T.J., and Kim, K-Y, 1996, Comparison of proxy records of climate change and solar forcing: *Geophysical Research Letters*, v. 23, p. 359–362.
21. Held I.M.S., Lyons S.W. and Nigam S. Transients and the extratropical response to El Nino. // *J. Atmos. Sci.*, 1989, vol.46, pp. 163-174.
22. Horel. J.D., Wallace J. M. Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation // *Mon. Wea. Rev.* 1981, vol. 109, pp. 813-829.
23. Korotayev, Andrey V., & Tsirel, Sergey V. A Spectral Analysis of World GDP Dynamics: Kondratieff Waves, Kuznets Swings, Juglar and Kitchin Cycles in Global Economic Development, and the 2008-2009 Economic Crisis. Structure and Dynamics. 2010. Vol.4. #1. P.3-57
24. Trenberth K.E. and Stepaniak D.P. Indices of El Nino evolution. // *J. Clim.*, 2001, vol.14, pp. 1601-1624.
25. Walker, G.T., Correlation in seasonal variations of weather, VIII.A preliminary study of world weather. // *Memoirs of the India Meteorological Department*, 1923, 24, (4), pp.75-131.
26. Walker, G.T., Correlation in seasonal variations of weather, IX. A further study of world weather.//*Memoirs of the India Meteorological Department*, 1924, (9), pp.275-333.
27. Wolter K., Timlin M.S. El-Nino/Southern Oscillation behavior since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext) // *Intl. J. Climatology*, 2011. 31, pp. 1074-1087.
28. NOAA database on the values of global climatic indices. [Electronic resource]. Access mode: <http://www.esrl.noaa.gov/data/climateindices/list/forinfo>

REFERENCES

1. Aivazian S.A., Mhitarian V.S. *Prikladnaja statistika i osnovnyj ekonometriki (Applied Statistics and Econometrics fundamentals)*, Moscow, YUNITY, 1998, 1022 p. (In Russ.).
2. Voskresensky E.N., Polonsky A.B. North Atlantic Oscillation and El Niño. *Morskoy gidrofizichesky jurnal*, 1992, no 4, pp. 23-30 (in Russ.).
3. Gruza G.V. Rankova E.J., Kleschenko L.K., Sokolihina E.V., Sokolihina N.N. On the relationship between climate anomalies in Russia with El Niño-Southern Oscillation. *Meteorologija i gidrologija*, 1999, no 5, pp. 32-51 (in Russ.).
4. *Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR. Volume 4. The black sea. Issue 1. Hydrometeorological conditions / ed. Altman E. N., Simonova A. I. Hydrometeoizdat, Saint Petersburg, 1991, Volume 4, Issue 1, 429 p.*
5. Guckenheimer J., Holmes F. *Nonlinear oscillations, dynamical systems, and bifurcations of vector fields.* - M: State publishing house of physical and mathematical literature, 2002. - 560 p.
6. Jeleznova I.V., Guschina D.J. The response of the global atmospheric circulation in the two types of El Niño. *Meteorologija i gidrologija*, 2015, no 3, pp. 36-50 (in Russ.).
7. Zaks Sh. *Teorija statisticheskikh vivodov (The theory of statistical inference)*. John Wiley & Sons Inc., 1971. 626 p.
8. Kononova N.K. *Klassifikacija cirkulacionnyh mehanizmov Severnogo polusharija po B.L. Dzerdzeevskomu (Classification circulation mechanisms of the Northern Hemisphere according to B.L. Dzerdzeevskii)*. Ed. A.B. Shmakin; Moscow: IG RAS, Voentehinizdat, 2009, 372 p. (in Russ.).
9. Kramer G. *Matematicheskie metody statistiki (Mathematical Methods of Statistics)*. Moscow. Mir. 1975. 648 p. (in Russ.).
10. Mokhov I.I., Akbarov M.G., Prokofieva M.A. Blockings in the Northern Hemisphere and the Euro-Atlantic region: assessment of changes from reanalysis data and model calculations. *Doklady Rossijskoj Akademii nauk*, 2013, vol. 449 no 5, pp. 1-5 (in Russ.).

11. Mokhov I.I., Smirnov D.A. Study of mutual influence processes of the El Niño-Southern Oscillation and the North Atlantic and Arctic Oscillations of Nonlinear methods. *Doklady Rossijskoj Akademii nauk*, 2006, vol. 42, pp. 650–667 (in Russ.).
12. Mokhov I.I., Timazjev A.V. Climatic anomalies in the regions of Eurasia: the effects of El Niño / La Niña. *Doklady Rossijskoj Akademii nauk*, 2013, vol. 453, no 2, pp. 211-214 (in Russ.).
13. *Nastavlenie po sluzhbe prognozov. Razdel 3, chast' III. Sluzhba morskikh gidrologicheskikh prognozov (Manual on the Service forecasts. Step 3, part. III. Service Marine hydrological forecasts)*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1982, 143 p. (in Russ.).
14. Nesterov E.S. The variability of the characteristics of the atmosphere and ocean in the Atlantic-European region during the events of El Niño and La Niña. *Meteorologija i gidrologija*, 2000, no 8, pp. 74-83 (in Russ.).
15. Petrosjanc M.A., Semenov E.K., Guschina D.U. Sokolihina E.V. Sokolihina N.N. *Cirkuljacija atmosfery v tropikah: klimat i izmenchivost The circulation of the atmosphere in the tropics: the climate and variability*. Moscow: Max Press. 2005, 670 p (in Russ.).
16. Petrosjanc M.A., Guschina D.U. The Large-scale interaction of the global circulation of the atmosphere with the surface temperature of the equatorial Pacific Ocean. *Meteorologija i gidrologija*, 1998, no 12, pp. 5-22 (in Russ.).
17. Polonsky A.B. *Rol okeana v izmenenijah klimata (The ocean's role in climate change)*. Naukova Dumka. Kiev. 2008, 184 p. (in Russ.).
18. Shakina N.P., Ivanova A.R. Blocking anticyclones: the current state of research and forecasting. *Meteorologija i gidrologija*, 2010, no 11, pp. 5-18 (in Russ.).
19. Bjercknes J. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of Ocean temperature. *Tellus*, 1966, vol. 18, no 4, pp. 820-829.
20. Bjercknes J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, 1966, vol. 97, pp. 163-172.
21. Held I.M.S., Lyons S.W. and Nigam S. Transients and the extratropical response to El Nino. *J. Atmos. Sci.*, 1989, vol. 46, pp. 163-174.
22. Horel J.D., Wallace J. M. Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.* 1981, vol. 109, pp. 813-829.
23. Lau N.-C. Modeling the seasonal dependence of the atmospheric response to observed El-Ninos in 1962-76. *Mon. Wea. Rev.*, 1985, vol. 113, pp. 1970-1996.
24. Trenberth K. E. and Stepaniak D. P. Indices of El Nino evolution. *J. Clim.* 2001, vol. 14, pp. 1601-1624.
25. Walker, G.T. Correlation in seasonal variations of weather, VIII. A preliminary study of world weather. *Memoirs of the India Meteorological Department*, 1923, vol. 24, no 4, pp. 75-131.
26. Walker, G.T. Correlation in seasonal variations of weather, IX. A further study of world weather. *Memoirs of the India Meteorological Department*, vol. 24, no 9, pp. 275-333.
27. Wolter K., Timlin M.S. El-Nino/Southern Oscillation behavior since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *Intl. J. Climatology*, 2011. 31. P. 1074-1087.
28. NOAA database on the values of global climatic indices. [Electronic resource]. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/data/climateindices/list/forinfo>

PRECIPITATION IN THE CRIMEA AND THE EL NIÑO SOUTHERN OSCILLATION ON THE EXAMPLE OF SEVASTOPOL

Holoitsev¹ A., Nikolenko² I. V., Melnikova² N. S.

1 – Sevastopol branch of Federal state institution "State Oceanographic Institute named after N. N. Zubov", kholoitsev@mail.ru

2 - Academy of construction and architecture (structural unit) of V. I. Vernadsky Crimean Federal University, 295493

Simferopol, Kievskaya str., 181 e-mail: nikoshi@mail.ru

Abstract. The features of changes in the average intensity of atmospheric precipitation in different months and seasons in the Crimea in 1882-2019 were studied, based on the results of observations of this process at the representative Sea Hydrometeorological station Sevastopol. Its current trends and significant statistical relationships with variations in El Nino southern Oscillation indicators over time periods of different duration are revealed. The stability of these characteristics to time shifts of these segments is estimated.

Subject of research: assessment of current trends in long-term changes in the average intensity of precipitation that occurred in different months and seasons in the Crimea, their statistical relationships with variations in the enyuk process indices, as well as the stability of these characteristics to shifts in the time periods for which they were determined.

Materials and methods: Estimation of indicators of long-term changes in the average intensity (amounts) of atmospheric precipitation that fell on the city of Sevastopol IN 1882-2019 in various months and seasons of the year. Identification of current trends in the studied processes over time periods of different durations and assessment of the significance of their statistical relationships with variations in the state of enuk indicators, as well as the stability of these characteristics to shifts in the time periods for which they are determined.

Key words: Atmospheric precipitation, MG Sevastopol, ENSO, long-term changes, trends, statistical connections, stability.