

УДК 551.582:551.577/.578:551.593.52

*к.т.н. Подлипенская Л. Е.*  
*(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, lida.podlipensky@gmail.com),*  
*Долгих Е. Д.*  
*(ЛГАУ, г. Луганск, ЛНР),*  
*Горельников С. А.*  
*(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

*В работе исследовались временные ряды климатических показателей по данным Центра гидрометеорологии города Луганска. Выполнен SSA анализ атмосферных осадков и показателя солнечной активности (СА) — чисел Вольфа. Определены структуры рядов и выявлены их взаимосвязи. Установлены закономерности изменения глобальных трендциклических компонент годовых осадков и чисел Вольфа. Выполнен прогноз атмосферных осадков.*

**Ключевые слова:** климатические показатели, атмосферные осадки, солнечная активность, Луганск, Центр гидрометеорологии, метод SSA, циклические компоненты, тренды.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Выявление и объяснение согласованных циклов в изменениях климатических, гидрологических показателей и факторов, их формирующих, представляет не только теоретический, но и практический интерес.

К внешним факторам, которые определяют многолетние колебания климата, относятся: солнечная (СА) и геомагнитная активности (ГА), скорость вращения Земли, земной магнетизм и их взаимосвязи и др. Степень влияния космофизических воздействий на климатические характеристики в региональном разрезе имеет свои особенности, которые необходимо учитывать при изучении экстремальных климатических ситуаций.

**Постановка задачи.** Луганская Народная Республика имеет значительный дефицит водных ресурсов, представленных поверхностными и подземными водами, количественное и качественное состояние которых в последнее время не удовлетворяет потребностям народного хозяйства и населения. Данные гидрологических наблюдений свидетельствуют о том, что отмечаемые за последние десятилетия климатические изменения значительно меня-

ют картину пространственно-временной изменчивости характеристик стока.

В связи с этим актуальным является изучение изменений климатических характеристик, формирующих поверхностный и подземный сток в Республике, и связь их с внешними для планеты факторами.

**Цель** настоящей работы заключается в исследовании временных рядов региональных климатических показателей гидрологического цикла и внешних влияющих факторов.

**Объект исследования** — гидрологический цикл и его проявление через климатические показатели в региональном аспекте. Особое место в исследовании занимает изучение динамики изменений осадков в регионе.

**Предмет исследования** — среднесрочные и долгосрочные тенденции изменения климатических характеристик гидрологического цикла.

**Задачи** исследования:

- поиск баз данных с многолетними рядами параметров солнечной активности и климатическими показателями гидрологического цикла;
- проведение совместного статистического анализа временных рядов парамет-

ров солнечной активности и климатических показателей и построение моделей, объясняющих их связь.

#### **Материалы и методы исследования.**

В работе использованы материалы наблюдений за среднемесячными и среднегодовыми значениями осадков и испарения, температур воздуха, показателями влаго-содержания атмосферы [1], полученные в Центре гидрометеорологии г. Луганска, а также показатели космогонических факторов с официальных геофизических сайтов [2]. Для оценки солнечной активности использовались среднегодовые и среднемесячные значения чисел Вольфа. Источник данных — WDC-SILSO, Королевская обсерватория Бельгии, Брюссель [2].

В качестве основного метода, позволяющего выделить во временных рядах данных трендовые и циклические компоненты, был использован метод сингулярного спектрального анализа (SSA) в сочетании с методами математической статистики, реализованными в пакете программ STATISTICA. Для выявления циклов и осуществления разложения временных показателей на компоненты в работе использовалась компьютерная программа, созданная в ДонГТИ [3] на основе алгоритма SSA [4, 5].

#### **Изложение материала и его результаты.**

**1. Статистический анализ.** Гидрологический цикл в природе включает процессы испарения воды с поверхности водоемов, конденсации водных паров в атмосфере, выпадения осадков, фильтрации через почву; проникновение в подземные водоносные пласты; всасывание, транспорт и транспирацию воды растениями, включение воды в биохимические процессы живых организмов. Движение воды в климатической системе важно для жизни на земле: осадки обеспечивают увлажнение почвы и речной сток.

Климатические факторы речного стока определяют средние характеристики стока, его пространственную изменчивость и тип водного режима. Для целей исследования взяты характеристики, которые определя-

ют многолетние ритмы стока. К ним относятся суммы осадков и испарения. Последняя характеристика зависит от температурного режима.

По данным наблюдений на Луганской метеостанции (синоптический индекс по классификации ВМО — 34523) собраны климатические данные за 183 года, начиная с 1838 г. В монографии [1] авторами выполнен обширный статистический анализ климатических данных (1838–2015 гг.) с выделением трендов по ряду показателей стандартными статистическими методами.

В настоящей работе рассматривается расширенный до настоящего времени ряд климатических показателей (1838–2020 гг.), которые составляют базу данных (БД). Результаты статистического анализа в целом подтверждают выявленные ранее в [1] закономерности. Нами поставлена задача продолжить исследования и применить современные методы для установления новых закономерностей и прогноза.

Для таких показателей, как осадки, температура приземного атмосферного слоя, испарение и др. в расширенном временном диапазоне установлено следующее:

А. На основании корреляционного анализа обнаружены значимые линейные тренды во времени (по годам) для годовых осадков (коэффициент корреляции  $r=0,36$ ), осадков для теплого времени года ( $r=0,36$ ) и холодного времени года ( $r=0,38$ ), годовой температуры ( $r=0,5$ ), температуры для теплого времени года ( $r=0,23$ ) и холодного времени года ( $r=0,47$ ), испарений за теплое время года ( $r=0,23$ ). Рассмотренные величины в большинстве случаев подчиняются логнормальному или гамма распределениям.

Б. Установлены статистически значимые корреляционные связи между осадками и температурой воздуха: в теплый период времени года  $r=-0,42$ ; в холодный период времени года  $r=0,47$ . Эта же закономерность наблюдается и для каждого из месяцев в теплый период ( $r$  отрицательно порядка 0,37) и в холодный период ( $r$  положительно порядка 0,33).

В. Автокорреляционный анализ годовых осадков показывает существование возможных низкочастотных циклов (периодов 80–90 лет; 26–27 лет) и высокочастотных менее выраженных циклов.

Для выяснения степени регионального сходства климатических показателей и выявления их уникальности были проанализированы годовые осадки по трем синоптическим станциям городов Луганск, Дебальцево и Чертково [6]. Географически Луганск расположен между Чертково (северо-восток) и Дебальцево (юго-запад). На рисунке 1 представлены графики временных рядов осадков, построенных по данным наблюдений соответствующих метеорологических станций с 1941 по 2005 гг.

Как показывает анализ рисунка 1, региональное сходство выражается большим числом совпадений пиков и в целом похожей направленностью графиков. Уникальная особенность данных по метеостанции г. Луганска заключается в том, что уровень осадков здесь всегда ниже, а температура воздуха — выше, чем на соседних станциях. Следовательно, климатическая компонента гидрологического цикла в Луганском регионе особенно неблагоприятна и способствует развитию засух, суховея и недостаточному увлажнению территории.

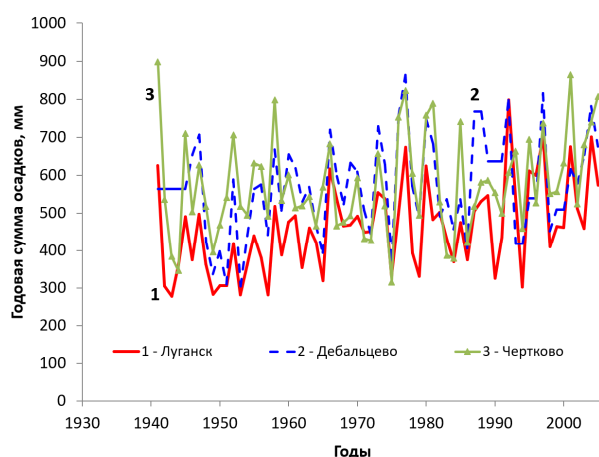


Рисунок 1 Графики годовых сумм осадков по данным наблюдений метеостанций городов Луганск (1), Дебальцево (2) и Чертково (3)

**2. Солнечная активность и климат.** Влияние активности солнца на глобальные, локальные и катастрофические изменения климата изучались многими учеными [7, 8]. Российский ученый А. Л. Чижевский указал главного виновника многих климатических бедствий — наше Солнце. Он предложил формулу «Дирижирует Солнце!» и ввел понятие «гелиотараксия» — воздействие солнечной активности на оболочки нашей планеты, включая биосферу и ноосферу [8].

Опираясь на частоту встречаемости парных проявлений «сильная засуха — величина солнечной активности», авторы [9] высказывают предположение о наличии положительной статистической связи в Европейской части России между появлением сильных засух и количеством пятен на Солнце. Исходя из исторически сложившейся цикличности солнечной активности и при её сохранении в будущем, дают вероятностный сверхдолгосрочный прогноз возможности возникновения катастрофических засух в этом субрегионе на стыке 24 и 25 циклов СА около 2019–2021 гг.

Поскольку воздействие солнечной активности на климатические характеристики носит региональный характер, усиливая атмосферные процессы в одних регионах и ослабляя в других, рассмотрим в условиях Луганщины влияние солнца на элементы гидрологического цикла планеты, в частности, на атмосферные осадки.

Наиболее часто используемым индексом солнечной активности является относительное число солнечных пятен или число Вольфа, определяемое для данного дня по формуле  $W = k(10g + f)$ , где  $W$  — число Вольфа;  $f$  — полное число солнечных пятен независимо от их размеров на видимой полусфере,  $g$  — число наблюдаемых групп пятен,  $k$  — нормировочный коэффициент [2].

С 1849 года числа Вольфа регулярно определялись в Цюрихской обсерватории (достоверный ряд). С 1981 г. сводка всех наблюдений солнечных пятен и определение значений чисел Вольфа производится в Ми-

ровом центре данных по наблюдениям, сохранению и распространению международных относительных чисел солнечных пятен Королевской обсерватории Бельгии в Брюсселе. Кроме того, ученые сумели восстановить значения данного индекса для периода с 1700 г., а затем на качественном уровне продлить ряд данных до 1611 г. (рис. 2).

11-летние циклы СА, четко выделяющиеся по графикам чисел Вольфа, принято нумеровать, начиная с 1755 года (цикл № 1). Разные циклы СА отличаются продолжительностью (от 9 до 13,7 лет), максимумами и минимумами. Наблюдение за ними и сопоставления с климатическими характеристиками показали, что для «слабых» циклов более вероятен в определенных регионах сценарий засушливого маловодного периода, который часто проявляется в период низкой СА. Также связывают такие периоды с глобальным похолоданием. Самый известный минимум — это минимум Маундера, который длился примерно с 1645 по 1715 год. Последний зафиксированный глобальный минимум относят к периоду 1790–1830 гг. (назван минимумом Дальтона [10]).

В настоящее время 24-й цикл завершен и начат следующий 25-й цикл (рис. 3).

По оценкам специалистов, 24-й цикл характеризуется слабой активностью, и по прогнозам следующий цикл ожидается тоже слабым. Установлены и другие циклы солнечной активности: 22 года, вековой цикл 80–100 лет, 200 лет и др., которые, по оценкам разных авторов, могут иметь некоторые отличия. В научной литературе [11] имеется много данных, связывающих влияние космогонических факторов, и в том числе СА, на гидрологический цикл планеты. Солнечная активность по масштабам влияния действует глобально, а проявляется регионально в различных географических условиях и подстилающей поверхности. Поэтому в настоящее время актуальны исследования пространственно-временной изменчивости климатических данных и их связей с глобальными и региональными характеристиками.

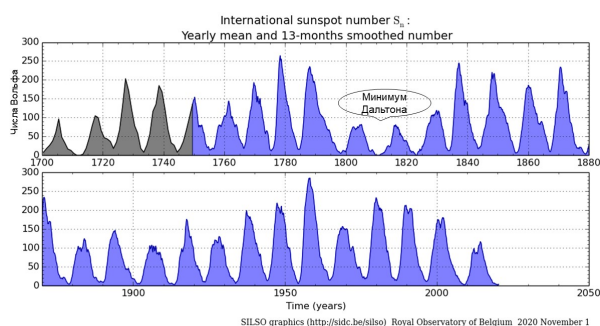


Рисунок 2 График солнечной активности на основании чисел Вольфа [2]

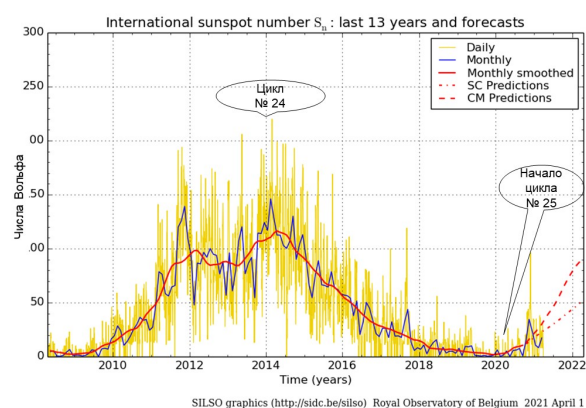


Рисунок 3 График СА на основании чисел в 24 цикле и начале 25 цикла [2]

Корреляционный анализ чисел Вольфа и климатических показателей из БД (по Луганской метеостанции) не выявил статистически значимых связей, в то время как кросс-спектральный анализ, выполненный в пакете программ STATISTICA, определил следующие периоды (ориентировочно) значимых гармоник при взаимном рассмотрении чисел Вольфа и осадков: 91; 30,3; 16,5; 10,7; 12,1 лет (по функциям когерентности и кросс-спектральной плотности). Следовательно, гармонические составляющие спектральных разложений чисел Вольфа и осадков с указанными периодами характеризуются тесной связью, что можно интерпретировать как свидетельство влияния солнечной активности на осадки в регионе.

**3. Разложение показателей на компоненты.** Кросс-спектральный анализ указывает на существование зависимостей кли-

матических и космогонических показателей для определенных частот (интервала частот), но эти зависимости скрыты шумовыми характеристиками, и поэтому классическим регрессионным анализом не находятся.

Выполним разложения временных рядов климатических показателей и чисел Вольфа на компоненты методом SSA (или «Гусеница») [4]. Алгоритм программы [3], реализующей данный метод, следующий:

– для исходного временного ряда показателя  $F_N = \{f_0, f_1, \dots, f_{N-1}\}$ , где  $N$  — длина ряда, задают длину окна («гусеницы») — величину  $L$ ;

– из ряда  $F_N$  путем сдвига скользящего окна величиной  $L$  заполняют матрицу  $X$ ;

– для матрицы  $S = X \cdot X^T$  определяют собственные числа  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_L$  (запись в порядке убывания) и собственные векторы  $U_1, U_2, \dots, U_L$ ;

– находят элементарные матрицы по формуле  $X_i = \sqrt{\lambda_i} U_i \cdot V_i^T$ , где  $V_i = X^T \cdot U_i / \sqrt{\lambda_i}$ ;

– записывают разложение матрицы  $X$  на элементарные:  $X = X_1 + X_2 + \dots + X_d$ ;

– путем диагонального усреднения переходят к компонентам исходного ряда:

$$F_N = F_N^1 + F_N^2 + \dots + F_N^d; \quad (1)$$

– для практического использования выделяют в полученном разложении значимые компоненты и объединяют их в полезный сигнал  $\tilde{F}_N$ , остальные относят к шуму  $\tilde{\tilde{F}}_N$ . Окончательно разложение имеет вид:

$$F_N = \tilde{F}_N + \tilde{\tilde{F}}_N. \quad (2)$$

На этом программная часть разложения заканчивается, и переходят к интерпретации полученных компонент, моделированию их в виде тренда, трендциклических, циклических и экспоненциально модулированных функций.

После разложения всех исследуемых показателей проводят сравнительный анализ полученных компонент между собой для выявления скрытых закономерностей.

Далее, при необходимости, осуществляют прогноз временных рядов на  $M$  шагов вперед в предположении, что ряд  $\tilde{F}_N$  допускает продолжение с помощью линейной рекуррентной формы (ЛРФ):

$$g_i = \begin{cases} \tilde{f}_i, & i = 0, \dots, N-1, \\ \sum_{j=1}^{L-1} a_j g_{i-j}, & i = N, \dots, N+M-1, \end{cases} \quad (3)$$

где коэффициенты разложения  $a_j$  равны:

$$R = (a_{L-1}, \dots, a_1)^T = \frac{1}{1-v^2} \sum_{i=1}^r \pi_i P_i^\Delta;$$

$P_1, \dots, P_r$  — некоторый ортонормированный базис пространства  $\aleph_r \subset R^L$ ;

$P_i^\Delta$  — вектор, состоящий из  $(L-1)$  компонент вектора  $P_i$ ;

$\pi_i$  — последняя компонента вектора  $P_i$ , а коэффициент вертикальности  $v$  удовлетворяет условию  $v^2 = \pi_1^2 + \dots + \pi_r^2 < 1$ .

Для более точной идентификации типа аппроксимации компоненты и определения периода цикла используют корни характеристического многочлена ЛРФ [5].

**4. Результаты применения метода SSA.** Разложению на компоненты были подвергнуты следующие временные ряды: числа Вольфа, осадки, температура воздуха. Основные результаты представлены в таблице 1.

На рисунках 4 и 5 показаны графики фактических, модельных по сумме компонент и отдельно трендциклических компонент, построенных для временных рядов чисел Вольфа и осадков.

Совместный анализ результатов разложения чисел Вольфа и суммы осадков показал, что наиболее тесная связь наблюдается между трендциклическим компонентами, которые представлены следующими комбинациями:

$$X_{T\omega} = X_1 + X_2 + X_3 \text{ — для осадков;}$$

$$F_{T\omega} = F_1 + F_6 + F_7 \text{ — для чисел Вольфа.}$$

Таблица 1

Основные компоненты разложения климатических и космогонических показателей

Показатель, общие данные	Компонента	Тип функции	Периоды циклов, лет	Вклад в сигнал, %
F — числа Вольфа, 1849–2019 гг., N = 171, L = 88	F1	Тренд		65,08
	F2–F5	Циклическая с раскачкой амплитуды	10–11	26,22
	F6–F7	Циклическая, низкочастотная	90–100	2,34
	F8–F9	Циклическая	11–12	1,28
X — осадки, мм, 1838–2019 гг., N = 182, L = 87	X1	Тренд, $X = 0,5349t + 391,18, R^2 = 0,9948$		95,06
	X2–X3	Циклическая, низкочастотная	91–92	0,73
	X4–X5	Циклическая со структурным сдвигом, модулированная высокими частотами	3–4 17–19	0,5
	X6–X7	Экспоненциально модулированные компоненты	4–5 22–26	0,33
	X10–X11	Циклическая с раскачкой амплитуды	7–9	0,26
У — температура воздуха, °С, 1838–2019 гг., N = 182, L = 89	У1	Тренд, растущий, линейный		98,74
	У2	Тренд структурного сдвига с переломной точкой в 1987 году		0,06
	У3–У4	Модулированные циклические компоненты	2–3 9–11	0,1
	У5–У6	Убывающие циклические компоненты	16–17	0,09
	У9–У10	Модулированные циклические компоненты	4–5 25–26	0,07
	У11–У13	Модулированные циклические компоненты	11–12	0,1

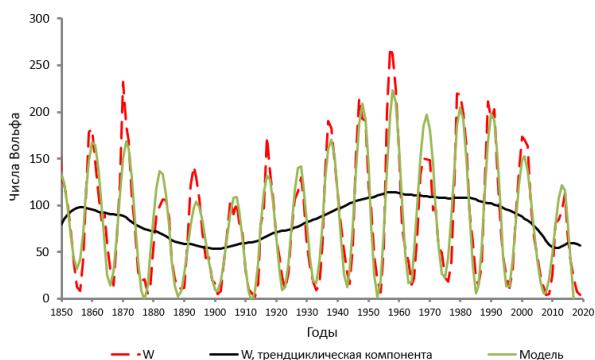


Рисунок 4 Графическое представление результатов разложения чисел Вольфа по SSA

Представление трендциклических компонент  $X_{Ti}$  и  $F_{Ti}$  в стандартизованном виде на рисунке 6 подтверждает обусловленность осадков (по метеостанции г. Луганска) солнечной активностью в глобальных масштабах, но со значительным запаздывающим сдвигом.

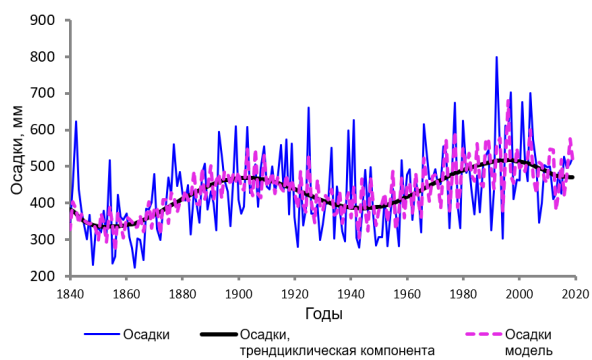


Рисунок 5 Графическое представление результатов разложения суммы осадков по SSA

Проверить выявленный на графике (рис. 6) эффект запаздывания трендовых изменений годовых осадков по отношению к тренду чисел Вольфа на данных других (соседних) метеостанций не удалось ввиду недостаточно длинных временных рядов климатических показателей. Уникальность ведущихся с 1838 г. наблю-



дений на Луганской метеостанции позволяет делать прогнозы глобальных изменений на больших временных масштабах.

На рисунке 7 показаны компоненты  $X_{T_i}$  и  $F_{T_i}$  в исходных размерностях на фазовой плоскости. Для анализа выделены поворотные точки А–К с временными отметками. Период В–Ж представляет собой полный цикл взаимного изменения показателей, а положение конечной точки К (2019 г.) отражает переход системы «солнечная активность — осадки» на новый цикл.

Для дальнейших выводов о том, будет ли новый глобальный «вековой» цикл повторением предыдущего или же пойдет по спирали, статистических данных пока недостаточно. Но в любом случае на ближайшие годы трендовая компонента осадков будет понижаться, в то время как глобальный тренд солнечной активности будет расти.

Использование метода SSA, кроме анализа компонент, позволяет сделать рекуррентный прогноз для годовых сумм осадков по формуле (3). Для прогноза взяты первые 13 компонент разложения осадков, доля вклада которых в общую дисперсию  $X$  составляет 97,5%. Прогнозирование выполнялось в 2 этапа:

а) по данным за период 1838–2019 гг. расхождение модельных и фактических данных составило в среднем 13,6%. Получен прогноз на 2020 г. — 367,46 мм с относительной погрешностью  $\epsilon=28\%$  (фактическое значение равно 287 мм).

б) по данным за период 1838–2020 гг. расхождение модельных и фактических данных составило в среднем 13,5%. Получен прогноз на период с 2021 по 2050 гг.

Модель проверялась на устойчивость при изменении длины ряда фактических данных. Наибольшую устойчивость при прогнозировании показала трендциклическая компонента (расхождение между расчетными данными не более 1% при уменьшении ряда на 13 последних лет).

На рисунке 8 показаны графики, построенные для годовых сумм осадков по временным рядам, представляющим

трендциклическую компоненту, фактические, модельные и прогнозные данные.

Результаты прогнозирования по методу SSA можно улучшить, заменив рекуррентный способ прогноза по формуле (3) на прогноз по модели в виде суммы аналитических функций отобранных компонент. Однако этот подход требует лучшей делимости компонент с предварительной подготовкой данных.

Кроме того, авторами выполнен анализ временных рядов  $F$  и  $X$  месячных данных ( $N=2184$  мес. для каждого показателя), что потребовало значительных вычислительных ресурсов. Выявлены соответствующие тренды по временной переменной, измеряемой в месяцах. После приведения результатов к годовым показателям уравнение линейного тренда совпало с найденным выше.

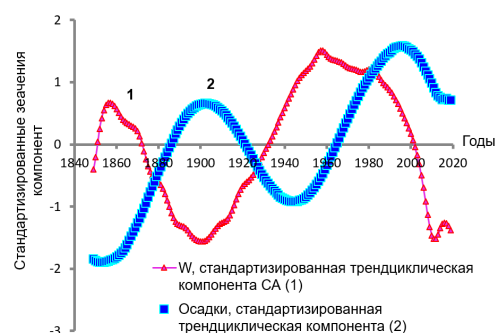


Рисунок 6 Трендциклические компоненты чисел Вольфа и осадков в динамике

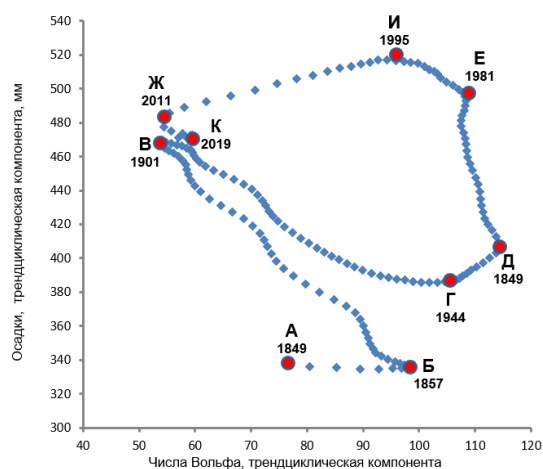


Рисунок 7 Трендциклические компоненты чисел Вольфа и осадков на фазовой плоскости

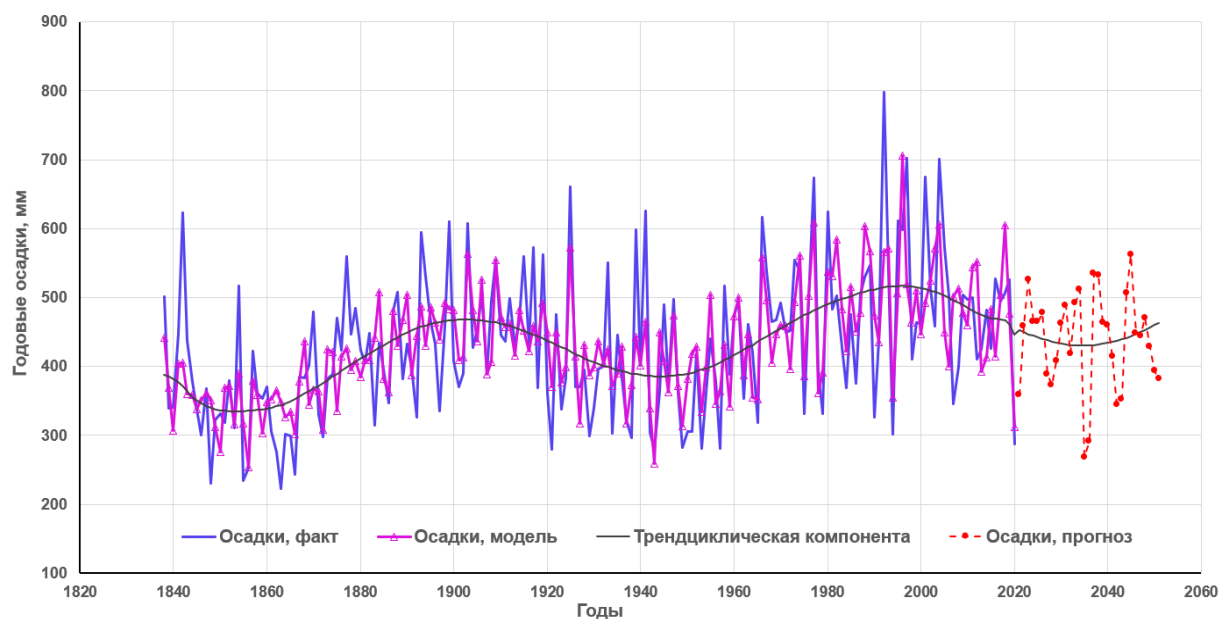


Рисунок 8 Прогноз суммарного количества осадков по рекуррентной формуле модели SSA

**Выводы и направление дальнейших исследований.** С помощью метода SSA было установлено влияние солнечной активности, оцениваемой числами Вольфа, на суммарные годовые осадки, которые наблюдались на Луганской метеостанции, начиная с 1838 г. Воздействие активности Солнца на осадки региона проявляется через влияние долгопериодического векового тренда SA на вековой тренд годовых осадков с запаздыванием последнего.

Прогнозирование годовых сумм осадков с помощью рекуррентной формулы метода SSA показывает, что тренд на уменьшение осадков в регионе будет продолжаться примерно до 2035 года. И хотя суммы

осадков на данной территории в разные годы прогнозируются как выше, так и ниже климатической нормы (за счет изменения других циклических компонент со значительной степенью случайной изменчивости), в целом нас ждет долгосрочный период маловодных лет, что, несомненно, отразится на уровнях поверхностных и подземных вод исследуемой территории.

Дальнейшие исследования будут направлены на уточнение моделей анализа и прогноза региональных климатических показателей за счет новых данных, проведения многомерного SSA с совместным рассмотрением изменений климатических и гидрологических показателей на территории ЛНР.

### Библиографический список

1. Изменения климата Луганщины и их прогнозирование. Основания для оптимизма [Текст] / И. Д. Соколов и др. — Луганск : ФЛП Пальчак А. В., 2017. — 200 с.
2. SILSO, Мировой центр данных. Число солнечных пятен и долгосрочные солнечные наблюдения [Электронный ресурс] : Королевская обсерватория Бельгии, онлайн-каталог номеров солнечных пятен. — Режим доступа: <http://sidc.be/silso/datafiles> (22.03.2021).
3. Компьютерное моделирование динамических рядов метановыделения выемочного участка [Текст] / Подлипенская Л. Е., Хмелева А. В., Бубунец Ю. В., Долгопятенко С. И. // Сб. научн. трудов ДонГТУ. — 2008. — № 27. — С. 153–160.
4. Голяндина, Н. Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов [Текст] : учеб. пособ. / Н. Э. Голяндина. — СПб. : Изд-во СПбГУ, 2004. — 76 с.



5. Голяндина, Н. Э. Метод «Гусеница»-SSA: прогноз временных рядов [Текст] : учеб. пособ. / Н. Э. Голяндина. — СПб. : Изд-во СПбГУ, 2004. — 52 с.
6. Сервер ВНИИГМИ-МЦД [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://meteo.ru/it/178-aisori> (23.03.2021).
7. Вительс, Л. А. Аномалии циклического хода солнечной активности и тенденция современных колебаний климата [Текст] / Л. А. Вительс // Труды Главной геофизической обсерватории. — 1962. — Вып.133. — С. 33–52.
8. Чижевский, А. Л. Космический пульс жизни: Земля в объятиях Солнца. Гелиотераксия [Текст] / А. Л. Чижевский. — М. : Мысль. 1995. — 768 с.
9. Кулик, К. Н. Катастрофические засухи в степной Европейской части России, их дендрохронологическая индикация и связь с циклическостью солнечной активности [Текст] / К. Н. Кулик, А. Т. Барабанов, В. И. Панов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2016. — Т. 18. — № 2-2. — С. 438–443.
10. Eddy, J. A. The Case of the Missing Sunspot [Text] // Scientific American. — 1977. — Vol. 236. — No. 5. — P.80–92.
11. Бубин, М. Н. Ритмичность многолетних колебаний стока как интегральный показатель изменчивости климата (на примере Урала) [Текст] : монография / М. Н. Бубин, Н. С. Рассказова. — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2013. — 279 с.

© Подлипенская Л. Е.

© Долгих Е. Д.

© Горельников С. А.

**Рекомендована к печати к.х.н., зав. КМНИЛ НЦМОС ДонГТИ Смирновой И. В.,  
д.с.-х.н., зав. каф. экологии и природопользования ЛГАУ Ладыш И. А.**

Статья поступила в редакцию 21.04.2021.

**PhD in Technical Sciences Podlipenskaya L. E. (DonSTI, Alchevsk, LPR), Dolgikh E. D. (LSAU, Lugansk, LPR), Gorelnikov S. A. (DonSTI, Alchevsk, LPR)**

#### **STUDYING TIME SERIES OF CLIMATIC INDICATORS USING THE SINGULAR SPECTRAL ANALYSIS METHOD**

*The work investigated the time series of climatic indicators according to the data of the Lugansk meteorological station. SSA analysis of atmospheric precipitation and solar activity index (SA) — Wolf numbers was carried out. The structures of the rows are determined and their correlations have been found out. The regularities of changes in the global trend-cyclical components of annual precipitation and Wolf numbers have been established. The forecast of atmospheric precipitation has been made.*

**Key words:** climatic indicators, atmospheric precipitation, solar activity, Lugansk meteorological station, SSA method, cyclic components, trends.