

ВЫЯВЛЕНИЕ ДОЛГОСРОЧНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ЭРОЗИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ОСАДКОВ В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНОГО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА С ЖАРКИМ ЛЕТОМ

Н.Р. Крючков^{1,2*}, О.А. Макаров³, В.В. Демидов³, П.С. Шульга³

¹Университет МГУ-ППИ в Шэньчжэне, Китай, биологический факультет

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет

³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения
*nrkruychkov@gmail.com

Поступила в редакцию 12.03.2025

После доработки 28.09.2025

Принята к публикации 18.10.2025

Аннотация. В данной работе исследуются долгосрочные изменения эрозионного потенциала осадков (R-фактора) в условиях муссонного климата Приморского края с использованием современных методов анализа временных рядов. R-фактор является ключевым параметром для оценки водной эрозии почв, однако его временная динамика в муссонных регионах изучена недостаточно. На основе 62-летних данных об осадках (1960–2022 гг.) метеостанции Свиягино (44.7997, 133.0831) был рассчитан временной ряд R-фактора с суточным разрешением. Для выявления скрытых закономерностей применялись методы детрендированного флуктуационного анализа (DFA) и анализа спектральной плотности мощности (PSD) после удаления трендов и сезонных компонент.

Результаты показали слабую персистентность временного ряда (показатель DFA $\alpha = 0.534$), что означает умеренную предсказуемость эрозионных рисков на коротких временных интервалах. Высокое качество степенного соответствия ($R^2 = 0.983$) подтверждает устойчивость выявленных закономерностей. Обнаружен характерный временной цикл продолжительностью 15.8 месяца, который может быть связан с крупномасштабными климатическими осцилляциями типа ENSO.

Полученные результаты позволяют улучшить точность прогнозирования эрозионных процессов в муссонных регионах и оптимизировать планирование противоэрозионных мероприятий. Выявленные фрактальные свойства R-фактора могут быть использованы для совершенствования моделей эрозии почв семейства USLE/RUSLE в условиях изменяющегося климата.

Ключевые слова: долгосрочные климатические циклы, фракционная размерность, сезонные колебания осадков, спектральная плотность мощности, мультидекадные осцилляции, муссонный режим

DOI: <https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-2-3-19-32>

ВВЕДЕНИЕ

Водная эрозия почв представляет собой одну из наиболее серьезных экологических и экономических проблем современности, ежегодно приводящую к потере миллиардов тонн плодородного слоя и снижению продуктивности сельскохозяйственных земель по всему миру (Pimentel et al., 1995; Lal, 2001). Скорость эрозии почв во многих регионах значительно превышает скорость их естественного восстановления, что создает угрозу продовольственной безопасности для растущего населения планеты (Montgomery, 2007). В условиях изменяю-

щегося климата интенсивность эрозионных процессов возрастает, особенно в регионах с муссонным типом климата, где большая часть годовых осадков концентрируется в короткие периоды, создавая экстремальные условия для разрушения почвенного покрова (Nearing et al., 2004).

Для количественной оценки эрозионного воздействия атмосферных осадков в мировой практике широко используется показатель эрозионного потенциала осадков (R-фактор), который является ключевым компонентом универсального урав-

нения потерь почвы (USLE) и его модификаций (Wischmeier & Smith, 1978; Renard et al., 1997). R-фактор непосредственно отражает способность дождевых осадков вызывать отрыв почвенных частиц и их транспорт, что делает его незаменимым инструментом для прогнозирования и управления эрозионными процессами. Однако традиционные подходы к расчету R-фактора основаны на использовании среднесезонных значений, что не позволяет учесть его временную изменчивость и связь с долгосрочными климатическими циклами (Panagos et al., 2015; Nearing et al., 2017).

Понимание временной динамики R-фактора становится особенно важным в контексте выявления скрытых закономерностей и долговременных зависимостей в климатических данных. Современные методы анализа временных рядов, такие как детрендрованный флуктуационный анализ (DFA) и анализ спектральной плотности мощности (PSD), позволяют выявлять фрактальные свойства и корреляционную структуру климатических процессов, которые невозможно обнаружить традиционными статистическими методами (Kantelhardt et al., 2001; Maraun et al., 2004). Метод DFA особенно эффективен для исследования нестационарных временных рядов, поскольку позволяет отделить трендовые и сезонные компоненты от собственно флуктуаций процесса, делая возможным изучение его внутренних корреляционных свойств (Movahed et al., 2006; Varotsos et al., 2009). Дополнительное применение PSD-анализа обеспечивает независимую проверку результатов DFA и позволяет получить более полную картину спектральных характеристик изучаемого процесса (Hamed, 2008; Lovejoy & Schertzer, 2013).

Особый интерес представляет изучение временных характеристик R-фактора в регионах с влажным континентальным климатом с жарким летом (Dwa по классификации Кёппена), который характеризуется ярко выраженной сезонностью осадков и значительными контрастами между влажными и сухими периодами. Приморский край РФ является типичным представителем данного климатического типа, где муссонная циркуляция определяет концентрацию основной части годовых осадков в летне-осенний период, создавая уникальные условия для формирования эрозионного потенциала (Копопова, Лиро, 2020). Кроме того, данный регион подвержен влиянию крупномасштабных климатических осцилляций, таких как Эль-Ниньо—Южное колебание (ENSO), Тихоокеанское десятилетнее колебание (PDO) и Атлантическая мультideкадная осцилляция (AMO), которые могут модулировать режим осадков на межгодовых и

многолетних временных масштабах (Newman et al., 2016; Zhang & Delworth, 2007; Wang et al., 2000). Выявление связи между этими крупномасштабными процессами и локальной динамикой R-фактора может существенно улучшить понимание механизмов формирования эрозионного потенциала и повысить качество его прогнозирования.

Несмотря на важность проблемы, применение современных методов фрактального анализа к исследованию временной динамики R-фактора в муссонных регионах остается недостаточно изученным. Большинство существующих работ сосредоточено на анализе пространственного распределения R-фактора или его связи с изменением климата, в то время как вопросы выявления долговременных корреляций и характерных временных масштабов остаются открытыми. Применение методов DFA и PSD к анализу R-фактора в условиях климата Dwa представляет собой новый методологический подход, который может раскрыть ранее неизвестные закономерности в динамике эрозионного потенциала осадков.

Целью исследования является выявление временных закономерностей и фрактальных свойств эрозионного потенциала осадков (R-фактора) в климатических условиях Dwa с использованием методов детрендрованного флуктуационного анализа и анализа спектральной плотности мощности. Достижение поставленной цели позволит получить новые знания о долгосрочных и сезонных колебаниях эрозионного потенциала, определить характерные временные масштабы процесса и оценить перспективы применения фрактального анализа в региональных климато-гидрологических исследованиях для совершенствования методов прогнозирования и управления эрозионными процессами.

КРАТКИЙ ОБЗОР МЕТОДИК АНАЛИЗА ДЛИТЕЛЬНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ ВО ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ

Анализ длительных взаимосвязей во временных рядах климатических и гидрологических параметров считается ключевой задачей для того, чтобы лучше понять динамику природных процессов и предвидеть их дальнейшее поведение. За последние десятилетия для ее решения все шире применяются подходы, построенные на идеях фрактальности и масштабной инвариантности временных последовательностей. Наиболее часто среди этих методов используются детрендрованный флуктуационный анализ (Detrended Fluctuation Analysis, DFA) и оценка спектральной плотности мощности (Power Spectral Density, PSD).

Анализ детрендированных флуктуаций с помощью метода DFA

На практике зависимость $\log F(\Delta t) - \log \Delta t$ часто раскрывается в виде одной-двух областей масштабов, где локальный показатель α (наклон кривой) меняет свое значение. Это может говорить о различиях в динамике процессов на коротких и длинных временных отрезках, например, в суточных и межгодовых колебаниях климатических параметров. Такой подход не только дает возможность количественно оценить корреляцию, но и позволяет обнаружить переходы между различными режимами variability. Величина α фактически служит маркером, позволяющим отделять разные типы корреляционной структуры у временных рядов. При $\alpha = 0.5$ речь идет о чистом белом шуме — полностью некоррелированном случайном процессе, где каждое новое наблюдение статистически независимо от предыдущего. Значения α в диапазоне от 0.5 до 1.0 указывают на наличие длительных положительных корреляций, так называемой персистентности: если в прошлом фиксировались высокие (или низкие) показатели, то в дальнейшем они с большей вероятностью повторятся. При $\alpha > 1.0$ процесс уже считается нестационарным и характеризуется заметным трендом (Kantelhardt et al., 2002). Одним из ключевых моментов при работе с методом DFA считается проверка полученных результатов на их достоверность. В работе Maraun et al. (2004) предложен набор критериев, позволяющих оценить надежность коэффициента масштабирования α . В их число входят: 1) проверка линейности зависимости $\log [F(\Delta t)]$ от $\log (\Delta t)$ на разных временных масштабах — такая линейность свидетельствует о степенном законе; 2) анализ устойчивости локальных наклонов функции флуктуаций, позволяющий выделить диапазоны масштабов, где оценка α остается стабильной; 3) сопоставление результатов DFA с альтернативными подходами, например, с анализом спектральной плотности мощности. Метод DFA нашел широкое применение в климатологии и гидрологии. В исследовании Koscielny-Bunde et al. (1998) его использовали для анализа температурных рядов и обнаружили длительные корреляции с показателем $\alpha \approx 0.65$, что свидетельствует о персистентном характере температурных флуктуаций. Аналогично, Varotsos et al. (2009) применили DFA к глобальным температурным аномалиям, получив значения α в диапазоне 0.6–0.7 и подтвердив наличие долговременной памяти в климатической системе. Kantelhardt et al.: в 2006 г., применив модифицированную версию многофрактального DFA (MFDFA), ученые проанализировали временные ряды осадков и обнаружили сложную

мультифрактальную структуру, где показатели α варьировались от 0.5 до 0.9 в зависимости от региона и выбранного временного масштаба.

Пошаговый анализ спектральной плотности мощности (PSD)

При повышении β роль долгопериодных колебаний усиливается, а долговременная память системы проявляется все ярче. Это соотношение дает возможность использовать PSD-анализ в качестве дополнительного способа подтверждения результатов, получаемых методом DFA. При чистом белом шуме ($\alpha = 0.5$) спектр остается полностью плоским, то есть $\beta = 0$. А для персистентных процессов, когда $0.5 < \alpha < 1$, спектр приобретает степенной характер с показателем β , лежащим в диапазоне от 0 до 1, что соответствует так называемому розовому шуму, или фликершуму (Mandelbrot and Van Ness, 1968). Lovejoy и Schertzer (2013) провели всесторонний анализ климатических временных рядов разных параметров — температуры, осадков, давления — и обнаружили, что большинство из них характеризуется степенными спектрами, где коэффициент β находится в диапазоне от 0.2 до 0.8. Это, в свою очередь, соответствует персистентным процессам с α , варьирующимся от 0.6 до 0.9. Полученные данные подтверждают наличие масштабной инвариантности и долговременной памяти в климатической системе на временных масштабах от суток до десятилетий. Поскольку эрозионный потенциал осадков тесно связан с тем, насколько сильны, продолжительны и часты ливни, обнаруживаемые во времени корреляции между отдельными осадочными эпизодами могут указывать на наличие длительной памяти в процессах атмосферной циркуляции и в системе влагонакопления. Поэтому применение методов DFA и PSD при анализе R-фактора оправдано: они позволяют выйти за рамки простого описательного статистического подхода и выявить скрытые закономерности временной динамики. При этом осознание корреляционной структуры временного ряда R-фактора оказывается критически важным для оценки эрозионных рисков и разработки противоэрозионных стратегий. Персистентность выше 0.5 ($\alpha > 0.5$) указывает на то, что периоды с высоким эрозионным потенциалом склонны длиться, что требует своевременных и адекватных мер по защите почв. Наоборот, при α , приближенном к 0.5, корреляций практически нет, что свидетельствует о случайном характере колебаний и снижает предсказуемость процессов. В данном исследовании мы прибегаем к методам DFA и PSD, чтобы проанализировать временной ряд R-фактора, стремясь раскрыть его

длительные корреляционные свойства, измерить степень персистентности процесса и отыскать преобладающие периодические компоненты. Оцененные параметры сопоставляются с типичными значениями показателя α , характерного для климатических временных рядов, что позволяет детально охарактеризовать специфику корреляционной структуры эрозионного потенциала осадков. Таким образом, комбинированное использование DFA и PSD дает интегрированное представление как о временной устойчивости, так и о частотной организации эрозионного потенциала, закладывая фундамент для более точного прогноза и эффективного управления рисками деградации почв.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Район исследования и исходные данные

Исследование проводилось на основе данных метеорологической станции Свиягино, расположенной в Приморском крае (табл. 1). Данный регион характеризуется влажным континентальным климатом с жарким летом (Dwa по классификации Кёппена), для которого типичны муссонные дожди в летний период и сухая, холодная зима.

Для анализа использовались суточные данные об осадках за период с 1 января 1960 г. по 31 декабря 2022 г., полученные из архива Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — Мирового центра данных — ВНИИГМИ-МЦД (meteo.ru). На основе суточных данных рассчитывались годовые данные о количестве осадков. Если в течение месяца попадались пропуски, они заполнялись медианным значением для данного месяца. Такой подход позволил обеспечить более точное восстановление пропущенных значений, учитывающее характерные закономерности выпадения осадков, а также минимизировать искажения сезонных и временных трендов. Пропущенные значения составили менее 5% от всех значений.

Расчет R-фактора

На основе рассчитанных годовых значений количества осадков рассчитывалось годовое значение R-фактора.

Для расчета эрозионного потенциала осадков (R-фактора) был использован метод, предложенный (Naipal et al., 2015) для различных климатических зон. Данная методика основана на регрессионных зависимостях между годовыми суммами осадков и значениями R-фактора (зависимости получены для различных климатических условий по всему миру).

Для климата типа Dwa данная зависимость имеет следующий вид (формула (1)):

$$\log R = -0.572 + 1.238 \times \log P,$$
 (1)

где $\log R$ — десятичный логарифм среднегодового значения R-фактора;

$\log P$ — десятичный логарифм среднегодового количества осадков.

Все вычисления и операции с данными выполнялись в Python версии 3.13.2 (Python Software Foundation, 2025).

Предобработка временных рядов данных R-фактора

Обработка временных рядов рассчитанных значений R-фактора включала последовательное устранение трендов и сезонных эффектов.

Для удаления долгосрочных вариаций применялась полиномиальная регрессия, позволяющая выявить и вычесть тренды. Порядок полинома выбирался на основе максимального значения скорректированного коэффициента детерминации (R^2_{adj}), рассчитываемого для полиномов вплоть до пятнадцатого порядка.

Методы анализа временных рядов

Для исследования масштабных свойств временных рядов был применен метод анализа флуктуаций с устранением тренда (Detrended Fluctuation Analysis, DFA), широко используемый для оценки дальнедействующих корреляций в нестационарных

Таблица 1. Описание данных

Table 1. Data description

ID станции ВМО	Название	Координаты (WGS 84)		Климатическая зона	Период на- блюдений
		широта	долгота		
31931	Свиягино	44.7997	133.0831	Влажный континентальный климат с жарким летом (Dwa) по Кёппену	1960–2022 (62 года)

временных рядах (Peng et al., 1994; Kantelhardt et al., 2002).

Метод анализа флуктуаций с устранением тренда (DFA) включает следующие этапы:

Интеграция временного ряда

Исходный временной ряд $T(i)$ преобразуется в его накопленную сумму (формула (2)):

$$S(i) = \sum_{j=1}^i T(j), \quad (2)$$

где $S(i)$ — интегрированная (накопленная) версия исходного временного ряда на шаге i ;

$T(j)$ — значение исходного временного ряда в момент времени j .

Сегментация и полиномиальное приближение

Интегрированный временной ряд разбивается на непересекающиеся сегменты одинаковой длины Δt . В пределах каждого сегмента выполняется аппроксимация локального тренда с помощью полинома порядка l . Полученный полиномиальный тренд вычитается из данных с целью устранения нестационарных компонентов временного ряда.

Вычисление функции флуктуаций

Функция флуктуаций с устранением тренда рассчитывается по формуле (3):

$$F_k^2(\Delta t) = \frac{1}{\Delta t} \sum_{i=\Delta t+l}^{(k+1)\Delta t} (S(i) - Z_k(i))^2, \quad (3)$$

где $F_k(\Delta t)$ — функция флуктуаций в k -м сегменте для масштаба Δt ;

Δt — длина сегмента (размер окна анализа);

$S(i)$ — интегрированный временной ряд на шаге i ;

$Z_k(i)$ — полиномиальная аппроксимация (локальный тренд) внутри k -го сегмента;

k — индекс сегмента (нумерация сегментов начинается с нуля).

Итоговая функция флуктуаций вычисляется как среднее значение по всем сегментам (формула (4)):

$$F^2(\Delta t) = \frac{1}{N/\Delta t} \sum_{k=0}^{N/\Delta t - 1} F_k^2(\Delta t), \quad (4)$$

где $F^2(\Delta t)$ — итоговая функция флуктуаций;

N — общее количество точек во временном ряде;

Δt — длина сегмента;

$F_k^2(\Delta t)$ — функция флуктуаций в k -м сегменте.

Анализ масштабного поведения

Если временной ряд обладает свойством самоподобия (масштабной инвариантности), то согласно теории фрактального броуновского движения (Mandelbrot and Van Ness, 1968) и теории долговременно коррелированных процессов (Bergan, 1994), функция флуктуаций подчиняется степенному закону (формула (5)):

$$F(\Delta t) \sim \Delta t^\alpha, \quad (5)$$

где α (экспонента DFA) характеризует наличие дальнедействующих корреляций;

в частности:

- $\alpha = 0.5$ указывает на некоррелированный сигнал («белый шум»);
- $0 < \alpha < 0.5$ свидетельствует об антиперсистентном поведении;
- $0.5 < \alpha < 1.0$ указывает на наличие персистентных дальнедействующих корреляций.

Проверка наличия дальнедействующих зависимостей

В дополнение к расчету показателя DFA были проверены два ключевых условия, предложенных (Magaun et al., 2004), для подтверждения наличия дальнедействующих зависимостей:

Спад автокорреляционной функции (ACF)

Анализ ACF проводился для определения характера убывания: экспоненциального или степенного. Для подтверждения дальнедействующих корреляций требуется отклонение от экспоненциального спада.

Стабильность локального наклона

Анализировались локальные наклоны функции флуктуаций на логарифмическом графике (log-log plot) для оценки их устойчивости на различных временных масштабах. Значительные колебания локальных наклонов при больших значениях Δt свидетельствуют об отсутствии истинной дальнедействующей зависимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные характеристики временного ряда R-фактора

На рис. 1 представлены исходные данные и данные после обработки.

Представленные данные (рис. 1а, 1б и 1в) демонстрируют практически полное отсутствие выраженного полиномиального тренда (скорректированный коэффициент детерминации составляет всего 0.0059), указывая на то, что эрозионный индекс осадков в основном формируется под влиянием сезонных и случайных колебаний. Низкое значение скорректированного R^2 свидетельствует об отсутствии значимого систематического изменения данного показателя во времени, тогда как выраженная сезонная компонента подчеркивает периодический характер осадков. После устранения тренда и удаления сезонности (рис. 1в) итоговый ряд отражает уже не регулярную, а более хаотичную динамику, позволяя лучше выявлять экстремальные флуктуации и оценивать факторы, не связанные с годовыми циклами.

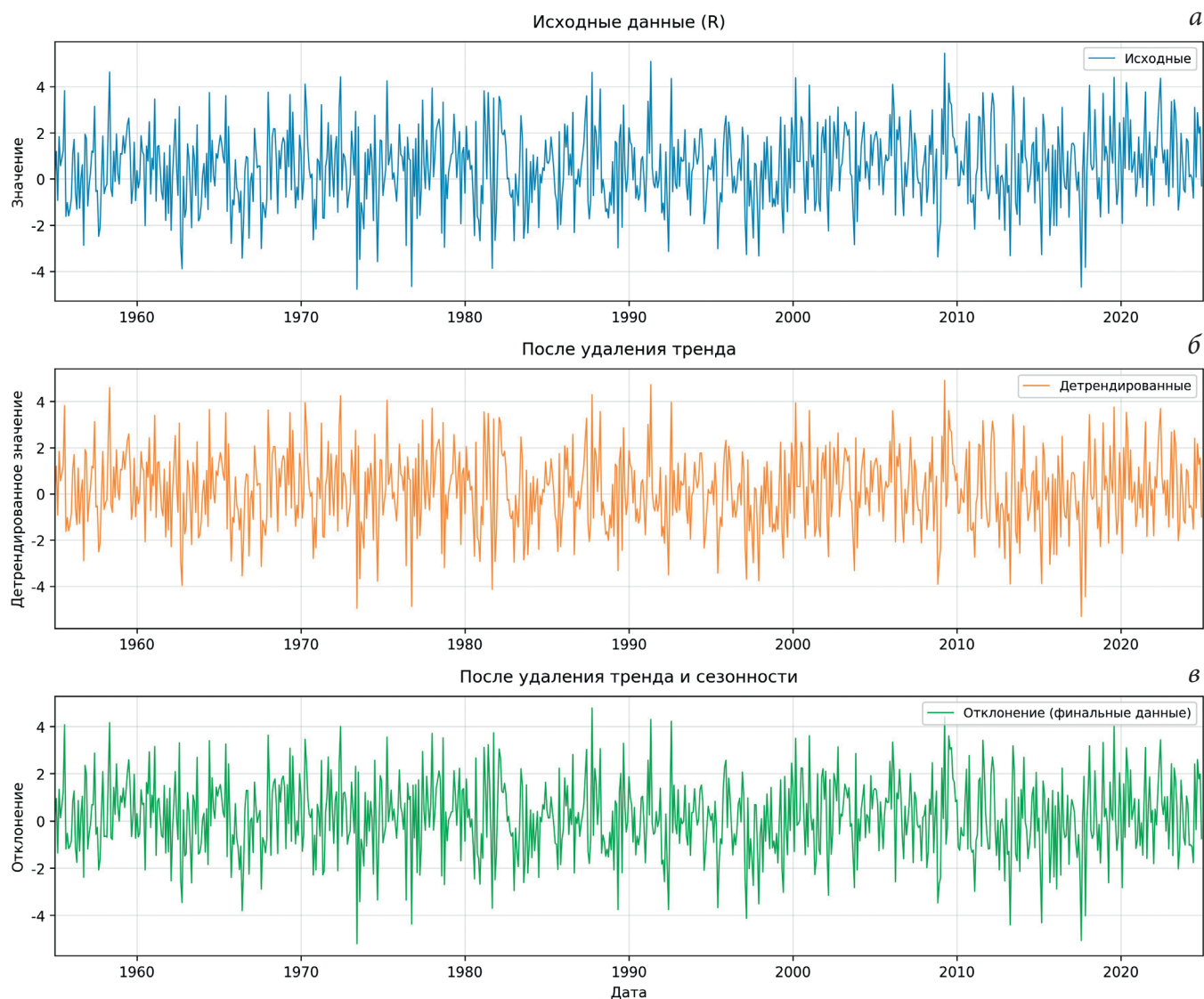


Рис. 1. Оригинальные данные (1а), после удаления тренда (1б), после удаления сезонности (1в)

Fig. 1. Original data (1a), after trend removal (1б), after seasonality removal (1в)

Результаты DFA приведены на рис. 2.

Применение DFA к временному ряду R-фактора показало высокую степень линейного соответствия зависимости функции флуктуаций $F(\Delta t)$ от временного масштаба Δt в логарифмическом масштабе с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.983$.

Полученное значение показателя α находится в диапазоне $0.5 < \alpha < 1.0$, что соответствует слабо персистентному поведению временного ряда. Высокое значение коэффициента детерминации подтверждает устойчивость степенного закона масштабирования в исследуемом диапазоне временных масштабов.

После выполнения анализа DFA мы переходим к проверке данных на соответствие критериям Maraun (Maraun et al., 2004). Для дополнительной

проверки результатов DFA был проведен анализ спектральной плотности мощности временного ряда R-фактора. Спектральная плотность мощности показывает, как энергия (дисперсия) временного ряда распределена по различным частотам — от быстрых (краткосрочных) до медленных (долгосрочных) колебаний. Этот метод позволяет выявить доминирующие периодичности в данных и оценить характер временной изменчивости независимо от DFA. Рассмотрим спектральную плотность мощности (рис. 3).

Спектральный анализ временного ряда R-фактора выявил низкую степень соответствия как степенной, так и экспоненциальной моделям. Аппроксимация степенной функцией дала показатель $b = 0.05 \pm 0.12$ при коэффициенте детерминации

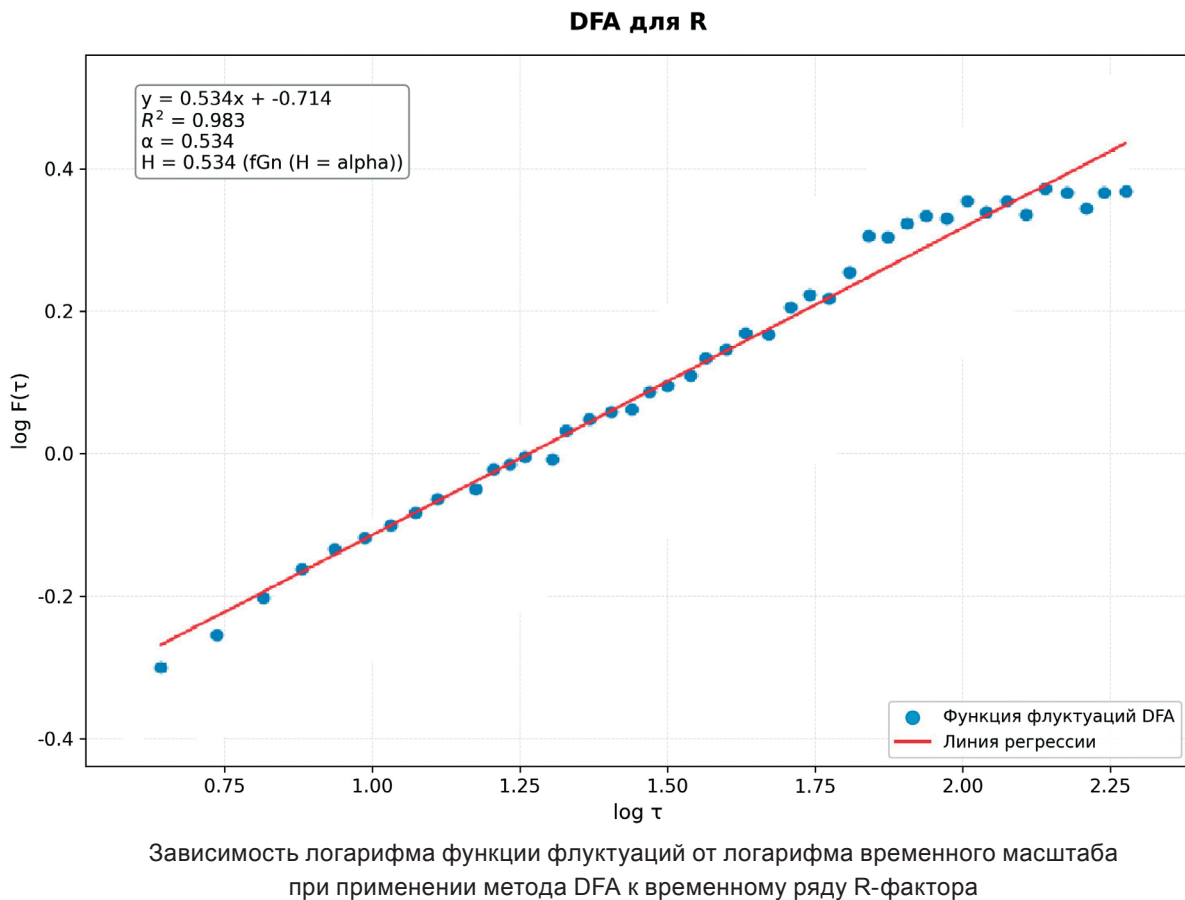


Рис. 2. Результаты применения DFA

Fig. 2. Results of DFA application

$R^2 = 0.045$. Экспоненциальная аппроксимация показала еще более низкое соответствие с $R^2 = 0.026$.

В исследуемом диапазоне частот от 0.004 до 0.25 цикл/месяц значимые спектральные пики не обнаружены. Спектральная плотность мощности демонстрирует относительно равномерное распределение дисперсии (вариабельности) временного ряда по частотам без выраженных доминирующих периодичностей. Согласно второму критерию Магауи, рассмотрим локальные наклоны функций флуктуаций, оценивая их стабильность и соответствие ожидаемым значениям (рис. 4).

График локальных наклонов DFA демонстрирует характерный переход от области высокой вариабельности к стабильной области. При малых временных масштабах ($\tau < 15.8$ месяца) наблюдается высокая изменчивость локальных наклонов со стандартным отклонением $\sigma = 0.12$. Начало стабильной области соответствует логарифмическому масштабу $\log \tau = 1.200$, что эквивалентно временному масштабу $\tau = 15.8$ месяца.

В стабильной области ($\tau \geq 15.8$ месяца) локальные наклоны демонстрируют устойчивые значения

0.531 ± 0.021 , близкие к **общей (интегральной) оценке показателя α** , полученной для всего временного ряда. Стандартное отклонение в этой области составляет ± 0.045 , а коэффициент вариации не превышает 4.0%. Максимальное отклонение от **общего значения α** составляет ± 0.08 .

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Интерпретация фрактальных характеристик R-фактора

Полученное значение показателя DFA $\alpha \approx 0.534$ указывает на слабую персистентность временного ряда R-фактора, что означает наличие умеренных положительных корреляций **между значениями R-фактора в различные моменты времени**. Для сравнения, при изучении климатических временных рядов типичные значения α составляют: 0.5 для «белого шума» (отсутствие корреляций), 0.5–0.7 для слабо персистентных процессов, 0.7–1.0 для сильно персистентных процессов, и $\alpha > 1.0$ для нестационарных процессов с трендом (Kantelhardt et al., 2002; Varotsos et al., 2009; Lovejoy and Schertzer, 2013).



Рис. 3. График мощности спектральной плотности

Fig. 3. Power spectral density plot

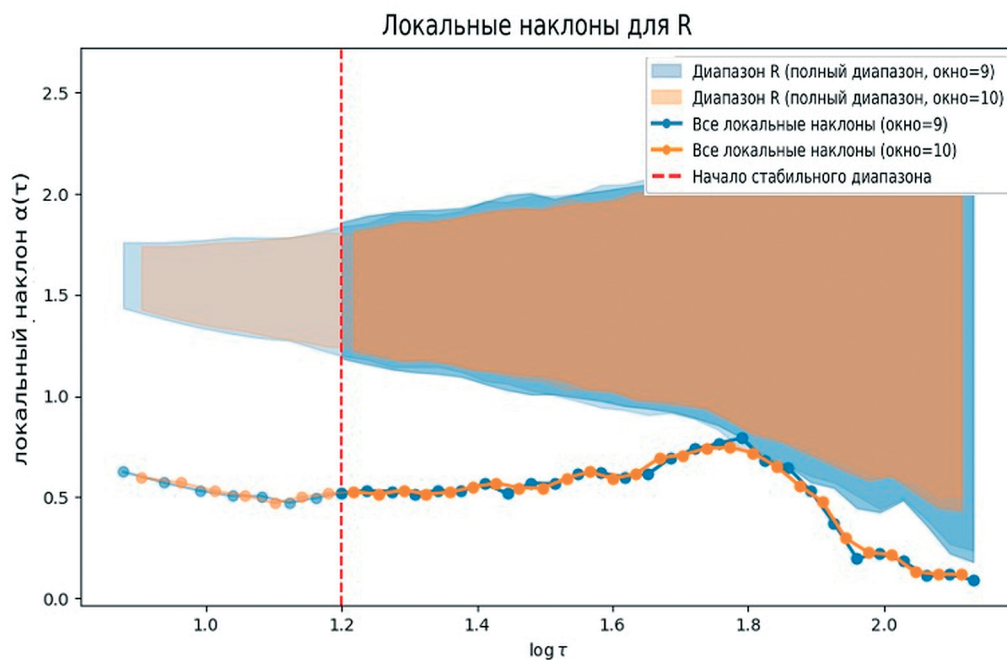


Рис. 4. График локальных наклонов

Fig. 4. Local slope plot

Полученное нами значение $\alpha = 0.534$ близко к границе между случайными и слабо персистентными процессами, что характерно для климатических переменных, формируемых под влиянием

множественных факторов различных временных масштабов (Kantelhardt et al., 2001). Высокое качество степенного соответствия ($R^2 = 0.983$) в DFA-анализе свидетельствует об устойчивости

масштабных свойств временного ряда R-фактора в широком диапазоне временных масштабов (от нескольких дней до нескольких лет). Отсутствие существенных долгосрочных изменений указывает в целом на стабильность эрозионного потенциала осадков за исследуемый интервал времени, что свидетельствует об относительном постоянстве климатических условий, формирующих эрозионные процессы в данном регионе.

Климатические механизмы формирования характерного масштаба

Выявленная стабильная область локальных наклонов на масштабе ~15.8 месяца представляет особый интерес для понимания климатических механизмов формирования эрозионного потенциала осадков. Этот период может отражать взаимодействие нескольких климатических процессов различных временных масштабов (Baldwin et al., 2001).

Одним из возможных объяснений является взаимодействие годового цикла с междугодичными вариациями ENSO (глобального климатического явления, возникающего в результате изменений ветров и температуры поверхности моря в тропической зоне Тихого океана), средний период которого составляет 3–7 лет. «Биения» между годовым циклом и 3–4-летними компонентами ENSO могут формировать период около 15–18 месяцев (Trenberth, 1997), что согласуется с наблюдаемыми результатами (Wang et al., 2000).

Альтернативным механизмом может служить влияние Тихоокеанской декадной осцилляции (PDO) на региональном уровне (Zhang and Delworth, 2007). Newman и соавт. (Newman et al., 2016) показали, что PDO может модулировать интенсивность восточноазиатского муссона с характерными периодами 12–20 месяцев, что соответствует выявленной закономерности.

Для более точной идентификации природы этого цикла необходимы дополнительные исследования с привлечением данных о крупномасштабных климатических индексах.

Практическое значение для управления эрозионными процессами

Выявленная слабая персистентность R-фактора ($\alpha = 0.534$) приводит к важным практическим выводам. В отличие от сильно персистентных процессов, где экстремальные события имеют тенденцию к кластеризации во времени, слабая персистентность означает, что периоды высокого эрозионного потенциала не имеют выраженной тенденции следовать друг за другом. Это упрощает краткосрочное (сезонное) прогнозирование

эрозионных рисков, но затрудняет долгосрочное планирование.

Характерный масштаб 15.8 месяца также может использоваться для планирования ротации противоэрозионных мероприятий. Например, интенсивность обработки почвы и применения почвозащитных технологий может корректироваться с учетом этого цикла. Дополнительно, в условиях изменяющегося климата понимание фрактальных свойств R-фактора становится особенно важным. Если климатические изменения приведут к увеличению α (усилению персистентности), это будет означать возрастание рисков кластеризации экстремальных эрозионных событий, что потребует пересмотра стратегий управления земельными ресурсами.

Связь с моделями эрозии почв

Полученные результаты имеют прямое отношение к применению моделей семейства USLE/RUSLE в условиях муссонного климата. Традиционно R-фактор в этих моделях рассчитывается как среднеегодовое значение, что не учитывает его временную изменчивость. Наши результаты показывают, что учет фрактальных свойств R-фактора может улучшить точность моделирования эрозии.

В частности, слабая персистентность R-фактора означает, что для точного моделирования эрозии в муссонных условиях необходимо использовать временные ряды R-фактора с высоким разрешением, а не среднеегодовые значения. Это особенно важно для моделирования экстремальных эрозионных событий, которые часто определяют суммарные потери почвы за относительно длительные интервалы времени.

Ограничения исследования и направления дальнейших работ

Основным ограничением данного исследования является использование данных одной метеорологической станции, что не позволяет оценить пространственную изменчивость фрактальных свойств R-фактора. Дальнейшие исследования должны включать анализ сети станций для построения региональных карт масштабных параметров.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются:

1. Анализ мультифрактальных свойств R-фактора с использованием MF-DFA.
2. Исследование связи фрактальных характеристик с крупномасштабными климатическими индексами.
3. Разработка стохастических моделей генерации R-фактора на основе фрактальных свойств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для изучения долгосрочных закономерностей эрозионного потенциала осадков в Приморском крае Российской Федерации, характеризующемся влажным континентальным климатом с жарким летом, впервые использовались методы детрен-дированного флуктуационного анализа. Было установлено, что фрактальные свойства R-фактора характеризуются слабой персистентностью ($\alpha = 0.534 \pm 0.018$), указывающей на доминирование краткосрочных стохастических процессов над долгосрочными зависимостями. Отсутствие долговременной памяти подтверждается низкими значениями показателя спектральной плотности мощности ($b \approx 0.05$).

Выявленный характерный масштаб 15.8 месяца в изменчивости R-фактора отражает переход от нестабильного к устойчивому режиму масштабирования и может быть связан с взаимодействием годовых циклов с междугодовичными климатическими осцилляциями. Методологические преимущества DFA позволили выявить тонкие масштабные закономерности в нестационарных климатических рядах, недоступные традиционным методам анализа.

Практическая значимость результатов заключается в возможности совершенствования моделей USLE/RUSLE через учет фрактальных свойств R-фактора и в оптимизации стратегий управления эрозионными процессами на основе выявленных временных масштабов. Полученные результаты расширяют понимание фрактальных свойств климатических процессов в муссонных регионах и создают методологическую основу для анализа эрозионного потенциала в условиях изменяющегося климата.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке грантов Фонда строительства высокоуровневых университетов Шэньчжэня и Департамента образования провинции Гуандун (№ 023KQNCX095).

ЛИТЕРАТУРА

ВНИИГМИ-МЦД. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных. URL: <http://meteo.ru/> (Дата обращения: 10.04.2025).

Angulo-Martínez M., Beguería S. Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: A comparison among methods using data from the Ebro Basin (NE Spain) // *Journal of Hydrology*. 2009. Vol. 379. No. 1–2. P. 111–121.

DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.09.051.

Beran, J. *Statistics for Long-Memory Processes*. Chapman and Hall, New York. 1994.

Hamed K.H. Trend detection in hydrologic data: The Mann–Kendall trend test under the scaling hypothesis // *Journal of Hydrology*. 2008. Vol. 349. No. 3–4. P. 350–363. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2007.11.009.

Kantelhardt J.W., Koscielny-Bunde E., Rego H.H.A., Havlin S., Bunde A. Detecting long-range correlations with detrended fluctuation analysis // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2001. Vol. 295. No. 3–4. P. 441–454. DOI: 10.1016/S0378-4371(01)00144-3.

Kantelhardt, J.W., Zschiegner, S.A., Koscielny-Bunde, E., Havlin, S., Bunde, A., & Stanley, H.E. Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series. *Physica A*, 2002. 316(1-4), 87–114.

Kantelhardt, J.W., Rybski, D., Zschiegner, S.A., Braun, P., Koscielny-Bunde, E., Livina, V., Havlin, S., Bunde, A. Multifractality of river runoff and precipitation: Comparison of fluctuation analysis and wavelet methods. *Physica A*, 2006. 330(1-2), 240–245.

Knudsen M.F., Seidenkrantz M.S., Jacobsen B.H., Kuijpers A. Tracking the Atlantic Multidecadal Oscillation through the last 8,000 years // *Nature Communications*. 2011. Vol. 2. P. 178. DOI: 10.1038/ncomms1186.

Kononova N.K., Lupo A.R. An investigation of circulation regime variability and dangerous weather phenomena in Russia in the 21st century // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 606. 012023. DOI: 10.1088/1755-1315/606/1/012023

Koscielny-Bunde, E., Bunde, A., Havlin, S., Roman, H.E., Goldreich, Y., Schellnhuber, H.J. Indication of a universal persistence law governing atmospheric variability. *Physical Review Letters*, 1998. 81(3), 729–732.

Lal, R. Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 2001. 12(6), 519–539.

Lovejoy S., Schertzer D. *The Weather and Climate: Emergent Laws and Multifractal Cascades*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 496 p.

Mandelbrot, B.B., Van Ness, J.W. Fractional Brownian motions, fractional noises and applications. *SIAM Review*, 1968. 10(4), 422–437.

Maraun D., Rust H.W., Timmer J. Tempting long-memory — on the interpretation of DFA results // *Nonlinear Processes in Geophysics*. 2004. Vol. 11. No. 4. P. 495–503. DOI: 10.5194/npg-11-495-2004.

Montgomery, D.R. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2007. 104(33), 13268–13272.

Movahed M.S., Jafari G.R., Ghasemi F., Rahvar S., Tabar M.R.R. Multifractal detrended fluctuation analysis of sunspot time series // *Journal of Statistical*

Mechanics: Theory and Experiment. 2006. P. 02003. DOI: 10.1088/1742-5468/2006/02/P02003.

Naipal V., Reick C., Pongratz J., Van Oost K. Improving the global applicability of the RUSLE model – adjustment of the topographical and rainfall erosivity factors // *Geoscientific Model Development*. 2015. Vol. 8. P. 2893–2913. DOI: 10.5194/gmd-8-2893-2015.

Nearing M.A., Yin S., Borrelli P., Polyakov V.O. Rainfall erosivity: An historical review // *CATENA*. 2017. Vol. 157. P. 357–362. DOI: 10.1016/j.catena.2017.06.004.

Nearing, M.A., Pruski, F.F., & O’Neal, M.R. Expected climate change impacts on soil erosion rates: a review. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004. 59(1), 43–50.

Newman M., Alexander M.A., Ault T.R., Cobb K.M., Deser C., Di Lorenzo E., Mantua N.J., Miller A.J., Minobe S., Nakamura H., Schneider N. The Pacific decadal oscillation, revisited // *Journal of Climate*. 2016. Vol. 29. No. 12. P. 4399–4427. DOI: 10.1175/JCLI-D-15-0508.1.

Panagos P., Ballabio C., Borrelli P., Meusburger K., Klik A., Rousseva S., Alewell C. Rainfall erosivity in Europe // *Science of the Total Environment*. 2015. Vol. 511. P. 801–814. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.01.008.

Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2007. Vol. 11. No. 5. P. 1633–1644.

Peng, C.K., Buldyrev, S.V., Havlin, S., Simons, M., Stanley, H.E., Goldberger, A.L. Mosaic organization of DNA nucleotides. *Physical Review E*, 1994. 49(2), 1685–1689.

Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., ... & Blair, R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 1995. 267(5201), 1117–1123.

Python Software Foundation. Python Language Reference, version 3.13.2. URL: <https://www.python.org/downloads/release/python-3132/> (Дата обращения: 10.04.2025).

Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., Yoder D.C. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook No. 703. USDA, Washington, DC, USA, 1997. 384 p.

Rust, H.W., Mestre, O., Venema, V.K.C. Fewer jumps, less memory: Homogenized temperature records and long memory. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2008. 113(D19), D19110.

Taqqu, M.S., Teverovsky, V., Willinger, W. Estimators for long-range dependence: An empirical study. *Fractals*, 1995. 3(4), 785–798.

Trenberth K.E. The definition of El Niño // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1997. Vol. 78. No. 12. P. 2771–2777.

Varotsos C., Ondov J., Efstathiou M. Scaling properties of air pollution in Athens, Greece and Baltimore, Maryland // *Atmospheric Environment*. 2009. Vol. 43. No. 25. P. 4015–4023. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.05.001.

Varotsos, C.A., Efstathiou, M.N., Cracknell, A.P. On the scaling effect in global surface air temperature anomalies. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009. 9(14), 4985–4992.

Wang, B., Wu, R., & Fu, X. Pacific–East Asian teleconnection: how does ENSO affect East Asian climate? *Journal of Climate*, 2000. 13(9), 1517–1536.

Wischmeier W.H., Smith D.D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. USDA, Washington, DC, USA, 1978. 58 p.

Yin S., Xie Y., Liu B., Nearing M.A. Rainfall erosivity estimation based on rainfall data of various temporal resolutions // *CATENA*. 2020. Vol. 193. 104635. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104635.

Zhang R., Delworth T.L. Impact of the Atlantic Multidecadal Oscillation on North Pacific climate variability // *Geophysical Research Letters*. 2007. Vol. 34. No. 23. L23708. DOI: 10.1029/2007GL031601.

ОБ АВТОРАХ

Никита Романович Крючков, кандидат биологических наук, преподаватель биологического факультета Университета МГУ-ППИ в Шэньчжэне и научный сотрудник кафедры общей экологии и гидробиологии биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Шэньчжэнь, КНР.

Олег Анатольевич Макаров, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. Москва.

Валерий Витальевич Демидов, доктор биологических наук, профессор кафедры эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. Москва.

Павел Станиславович Шульга, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. Москва.

IDENTIFICATION OF LONG-TERM PATTERNS IN RAINFALL EROSIVITY UNDER A HUMID CONTINENTAL CLIMATE WITH HOT SUMMERS

N.R. Kriuchkov^{1,2*}, O.A. Makarov³, V.V. Demidov³, P.S. Shulga³

¹Shenzhen MSU-BIT University, China, Faculty of Biology

²Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology

³Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science

*nrkrychkov@gmail.com

Abstract. The long-term patterns of the erosional potential of precipitation (R-factor) in the monsoon climate of Primorsky Krai are investigated using modern time series analysis methods.

This study presents an analysis of the rainfall erosivity potential (R-factor) under a humid continental climate with hot summers (Dwa in the Köppen climate classification) using Detrended Fluctuation Analysis (DFA) and Power Spectral Density (PSD) methods. The original data, covering the period from 1960 to 2022, were pre-processed by removing trends and seasonal components, which allowed for identifying the dominant role of seasonal and random fluctuations in shaping temporal variations of the R-factor. The DFA results demonstrated a high degree of linear conformity in logarithmic scale ($R^2 = 0.983$) with a scaling parameter $\alpha \approx 0.534$, indicating weak persistence and moderate correlations typical for processes dominated by short-term episodic precipitation events. The analysis of local DFA slopes revealed a stable region at a scale of approximately 15.8 months, reflecting the influence of annual seasonal cycles and potential interannual climate oscillations, such as the Pacific Decadal Oscillation (PDO) or the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO). Meanwhile, PSD analysis confirmed the absence of pronounced long-term memory and fractal structure in the spectrum, consistent with DFA findings. These results emphasize the importance of a comprehensive approach to studying rainfall erosivity potential and highlight the promising application of fractal analysis methods for identifying climatic and hydrological patterns in regions with pronounced seasonality and high rainfall variability.

Keywords: long-term climate cycles, fractional dimension, seasonal rainfall fluctuations, power spectral density, multidecadal oscillations, monsoon regime

ACKNOWLEDGMENTS

The work was supported by the Shenzhen High-level University Construction Funding, the Department of Education of Guangdong Province (No. 023KQNCX095)

REFERENCES

VNIIGMI-MCD. Vserossiyskiy Nauchno-Issledovatel'skiy Institut Gidrometeorologicheskoy Informat-sii – Mirovoy Tsentr Dannya. URL: <http://meteo.ru/> (accessed: April 10, 2025).

Angulo-Martínez M., Beguería S. Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: A comparison among methods using data from the Ebro Basin (NE Spain) // *Journal of Hydrology*. 2009. Vol. 379. No. 1–2. P. 111–121.

DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.09.051.

Beran, J. *Statistics for Long-Memory Processes*. Chapman and Hall, New York. 1994.

Hamed K.H. Trend detection in hydrologic data: The Mann–Kendall trend test under the scaling hypothesis // *Journal of Hydrology*. 2008. Vol. 349. No. 3–4. P. 350–363. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2007.11.009.

Kantelhardt J.W., Koscielny-Bunde E., Rego H.H.A., Havlin S., Bunde A. Detecting long-range correlations with detrended fluctuation analysis // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2001. Vol. 295. No. 3–4. P. 441–454. DOI: 10.1016/S0378-4371(01)00144-3.

Kantelhardt, J.W., Zschiegner, S.A., Koscielny-Bunde, E., Havlin, S., Bunde, A., & Stanley, H.E. Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series. *Physica A*, 2002. 316(1-4), 87–114.

Kantelhardt, J.W., Rybski, D., Zschiegner, S.A., Braun, P., Koscielny-Bunde, E., Livina, V., Havlin, S., Bunde, A. Multifractality of river runoff and precipitation: Comparison of fluctuation analysis and wavelet methods. *Physica A*, 2006. 330(1-2), 240–245.

Knudsen M.F., Seidenkrantz M.S., Jacobsen B.H., Kuijpers A. Tracking the Atlantic Multidecadal Oscillation through the last 8,000 years // *Nature Communications*. 2011. Vol. 2. P. 178. DOI: 10.1038/ncomms1186.

Kononova N.K., Lupo A.R. An investigation of circulation regime variability and dangerous weather phenomena in Russia in the 21st century // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.

2020. Vol. 606. 012023.

DOI: 10.1088/1755-1315/606/1/012023

Koscielny-Bunde, E., Bunde, A., Havlin, S., Roman, H.E., Goldreich, Y., Schellnhuber, H.J. Indication of a universal persistence law governing atmospheric variability. *Physical Review Letters*, 1998. 81(3), 729–732.

Lal, R. Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 2001. 12(6), 519–539.

Lovejoy S., Schertzer D. *The Weather and Climate: Emergent Laws and Multifractal Cascades*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 496 p.

Mandelbrot, B.B., Van Ness, J.W. Fractional Brownian motions, fractional noises and applications. *SIAM Review*, 1968. 10(4), 422–437.

Maraun D., Rust H.W., Timmer J. Tempting long-memory – on the interpretation of DFA results // *Nonlinear Processes in Geophysics*. 2004. Vol. 11. No. 4. P. 495–503. DOI: 10.5194/npg-11-495-2004.

Montgomery, D.R. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2007. 104(33), 13268–13272.

Movahed M.S., Jafari G.R., Ghasemi F., Rahvar S., Tabar M.R.R. Multifractal detrended fluctuation analysis of sunspot time series // *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*. 2006. P. 02003. DOI: 10.1088/1742-5468/2006/02/P02003.

Naipal V., Reick C., Pongratz J., Van Oost K. Improving the global applicability of the RUSLE model – adjustment of the topographical and rainfall erosivity factors // *Geoscientific Model Development*. 2015. Vol. 8. P. 2893–2913. DOI: 10.5194/gmd-8-2893-2015.

Nearing M.A., Yin S., Borrelli P., Polyakov V.O. Rainfall erosivity: An historical review // *CATENA*. 2017. Vol. 157. P. 357–362.

DOI: 10.1016/j.catena.2017.06.004.

Nearing, M.A., Pruski, F.F., & O'Neal, M.R. Expected climate change impacts on soil erosion rates: a review. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004. 59(1), 43–50.

Newman M., Alexander M.A., Ault T.R., Cobb K.M., Deser C., Di Lorenzo E., Mantua N.J., Miller A.J., Minobe S., Nakamura H., Schneider N. The Pacific decadal oscillation, revisited // *Journal of Climate*. 2016. Vol. 29. No. 12. P. 4399–4427.

DOI: 10.1175/JCLI-D-15-0508.1.

Panagos P., Ballabio C., Borrelli P., Meusburger K., Klik A., Rousseva S., Alewell C. Rainfall erosivity in Europe // *Science of the Total Environment*. 2015. Vol. 511. P. 801–814.

DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.01.008.

Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2007. Vol. 11. No. 5. P. 1633–1644.

Peng, C.K., Buldyrev, S.V., Havlin, S., Simons, M., Stanley, H.E., Goldberger, A.L. Mosaic organization of DNA nucleotides. *Physical Review E*, 1994. 49(2), 1685–1689.

Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., ... & Blair, R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 1995. 267(5201), 1117–1123.

Python Software Foundation. *Python Language Reference*, version 3.13.2. URL: <https://www.python.org/downloads/release/python-3132/> (Дата обращения: 10.04.2025).

Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., Yoder D.C. *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agriculture Handbook No. 703. USDA, Washington, DC, USA, 1997. 384 p.

Rust, H.W., Mestre, O., Venema, V.K.C. Fewer jumps, less memory: Homogenized temperature records and long memory. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2008. 113(D19), D19110.

Taqqu, M.S., Teverovsky, V., Willinger, W. Estimators for long-range dependence: An empirical study. *Fractals*, 1995. 3(4), 785–798.

Trenberth K.E. The definition of El Niño // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1997. Vol. 78. No. 12. P. 2771–2777.

Varotsos C., Ondov J., Efstathiou M. Scaling properties of air pollution in Athens, Greece and Baltimore, Maryland // *Atmospheric Environment*. 2009. Vol. 43. No. 25. P. 4015–4023.

DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.05.001.

Varotsos, C.A., Efstathiou, M.N., Cracknell, A.P. On the scaling effect in global surface air temperature anomalies. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009. 9(14), 4985–4992.

Wang, B., Wu, R., & Fu, X. Pacific–East Asian teleconnection: how does ENSO affect East Asian climate? *Journal of Climate*, 2000. 13(9), 1517–1536.

Wischmeier W.H., Smith D.D. *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. Agriculture Handbook No. 537. USDA, Washington, DC, USA, 1978. 58 p.

Yin S., Xie Y., Liu B., Nearing M.A. Rainfall erosivity estimation based on rainfall data of various temporal resolutions // *CATENA*. 2020. Vol. 193. 104635.

DOI: 10.1016/j.catena.2020.104635.

Zhang R., Delworth T.L. Impact of the Atlantic Multidecadal Oscillation on North Pacific climate variability // *Geophysical Research Letters*. 2007. Vol. 34. No. 23. L23708.

DOI: 10.1029/2007GL031601.

ABOUT THE AUTHORS

Nikita Romanovich Kriuchkov, PhD in Biology, Lecturer at the Department of Biology at the Shenzhen MSU-BIT University, and Research Fellow at the Department of General Ecology and Hydrobiology at the Faculty of Biology at Lomonosov Moscow State University. Shenzhen, China.

Oleg Anatolyevich Makarov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Soil Erosion and Protection at the Faculty of Soil Science at Lomonosov Moscow State University. Moscow.

Valery Vitalievich Demidov, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Soil Erosion and Protection at the Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University. Moscow.

Pavel Stanislavovich Shulga, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Soil Erosion and Protection at the Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University. Moscow.