

## ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЭКСТРЕМУМОВ ВО ВЬЕТНАМЕ В НАЧАЛЕ ХХI ВЕКА \*

Вышкваркова Е. В.<sup>1</sup>, Линева Н. П.<sup>1</sup>, Горбунов Р. В.<sup>1</sup>, Кузнецов А. Н.<sup>2</sup>,  
Кузнецова С. П.<sup>2</sup>, Нгуен Д. Х.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,  
г. Севастополь, Российская Федерация,

<sup>2</sup>Совместный Российско-Вьетнамский научно-исследовательский и технологический центр,  
г. Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам,  
e-mail: [gorbunov@ibss-ras.ru](mailto:gorbunov@ibss-ras.ru)

**Аннотация:** В статье представлен комплексный анализ пространственно-временной изменчивости температурного режима и режима осадков на территории Вьетнама за период 1991–2024 гг. с использованием ряда климатических индексов. Установлено, что среднегодовые температуры демонстрируют статистически значимый рост с максимальной интенсивностью потепления до 0,6 °C/10 лет в центральных регионах. Выявлен рост минимальных температур (до 0,4 °C/10 лет) и значительное увеличение количества тропических ночей (индекс TR), особенно в горных районах (до +30 дней/10 лет). Индекс абсолютных годовых максимумов (TXx) показывает резкое повышение (до +1,5 °C/10 лет) в центральных и северных регионах. Наибольший рост количества жарких дней (SU35, Tmax > 35 °C) обнаружен в северной и центральной частях Вьетнама (до +25 дней/10 лет). Анализ осадков выявил положительные и статистически значимые тренды годовых сумм осадков, особенно на наветренных склонах хребта Чыонгшон (до 70 мм/год). Наблюдаются увеличение числа дней с сильными (R10mm) и очень сильными (R20mm) осадками, а также рост индекса интенсивности осадков (SDII) в центральной части страны. Это указывает на интенсификацию экстремальных ливневых явлений. Результаты свидетельствуют о значительной трансформации климата Вьетнама, характеризующейся усилением гидрологического цикла и потеплением, что создает новые риски, связанные с тепловым стрессом и экстремальными осадками.

**Ключевые слова:** изменение климата, Вьетнам, температурные индексы, экстремальные осадки, тренды, потепление, климатические индексы, муссон

### Введение

Климатическая система Земли претерпевает значительные изменения, обусловленные антропогенным усилением парникового эффекта [IPCC, 2021]. Глобальное повышение приземной температуры воздуха сопровождается ростом частоты и интенсивности экстремальных погодных и климатических явлений, что представляет серьёзную угрозу для устойчивого развития общества и стабильности природных экосистем [IPCC, 2021]. Особую уязвимость к воздействию изменчивости и изменения климата проявляют страны Юго-Восточной Азии, экономика и благополучие населения которых в значительной степени зависят от сельского хозяйства, водных ресурсов и хозяйственной деятельности на прибрежных территориях [MONRE, 2021]. Известно, что для тропической зоны, где находятся центры мирового биоразнообразия и вместе с тем

\*Работа выполнена в рамках темы «Изучение особенностей функционирования и динамики ландшафтов Центрального и Южного Вьетнама в условиях антропогенной нагрузки и изменения климата для создания научных основ их рационального использования» Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра и государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Изучение особенностей функционирования и динамики субтропических и тропических прибрежных экосистем в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки с использованием методов дистанционных исследований, технологий облачной обработки информации и машинного обучения для создания научных основ их рационального использования», регистрационный номер: 124030100030-0.

проживает около 40 % населения Земли, темпы потепления в целом ниже, чем в более высоких широтах [Mahlstein et al., 2011; Post et al., 2019], но последствия антропогенных изменений проявляются раньше, учитывая более слабую межгодовую изменчивость в тропиках.

Вьетнам, расположенный в области муссонного климата тропиков, характеризуется сложным рельефом и протяжённой береговой линией, что обуславливает высокое пространственное разнообразие климатических условий. Климатический режим страны формируется под влиянием северо-восточного и юго-западного муссонов, что приводит к выраженной сезонности с чередованием влажного и сухого сезонов [Nguyen, Renwick, McGregor, 2014]. Территория Вьетнама традиционно подвержена таким опасным явлениям, как наводнения, засухи и тропические циклоны, ущерб от которых может усугубляться на фоне наблюдаемых климатических изменений [Huong, Pathirana, 2013; Hallegatte et al., 2013; Trinh, 2018; Ha et al., 2024; Sun et al., 2024]. Вьетнам входит в число стран, серьёзно пострадавших от изменения климата [Phan, Ngo-Duc, Ho, 2009].

В последние десятилетия во Вьетнаме, как и во всем мире, отмечается тенденция к потеплению. Однако региональные проявления глобального изменения климата имеют свои особенности, обусловленные местными физико-географическими факторами [Nguyen, Renwick, McGregor, 2014]. Для Вьетнама, по прогнозам, изменение климата приведёт к увеличению частоты стихийных бедствий и периодов экстремальной жары, из-за повышения уровня моря может пострадать значительная доля населения прибрежных провинций и дельт рек [Wassmann et al., 2004; Tran et al., 2016; Vu, Yamada, Ishidaira, 2018; Espagne et al., 2021].

Для разработки эффективных стратегий адаптации и планирования устойчивого развития критически важно иметь детальную оценку не только изменений средних климатических характеристик, но и, в первую очередь, динамики климатических экстремумов, которые наносят наибольший социально-экономический ущерб. Несмотря на ряд исследований, посвящённых климату Вьетнама [Nguyen et al., 2017; Do et al., 2020; Bui, Awange, Vu, 2022], сохраняется потребность в актуальном комплексном анализе, охватывающем как термический режим, так и режим осадков, с акцентом на экстремальные индексы за максимально возможный период наблюдений.

Цель данной работы — оценка пространственно-временной изменчивости средней, максимальной и минимальной температуры воздуха, а также количества и интенсивности осадков на территории Вьетнама за период 1991–2024 гг.

## Материал и методы

**Территория исследований.** Вьетнам расположен в восточной части полуострова Индокитай. Граничит с Китаем, Лаосом и Камбоджей. Большую часть (свыше 80 %) территории страны, главным образом на севере, северо-западе и в центральных районах, занимают низкие и средневысотные горы (рис. 1а). На севере преобладают параллельные глыбово-складчатые хребты юго-восточного простирания, в том числе хребет Хоангльеншон (высота до 3143 м, гора Фаншипан — высшая точка Вьетнама), разделённые узкими и глубокими продольными долинами. Вдоль западной границы на расстояние около 1200 км простирается горный массив Чыонгшон (высота до 2598 м, вершина Нгоклинь). В центральной и южной частях страны сформировались цокольные и базальтовые плато — Плейку, Даклак, Ламвьен, Зилинь, Центральное плато. Вдоль низменных слабоизрезанных берегов залива Бакбо (Тонкинский залив) и Южно-Китайского (Восточного) моря узкой полосой протягиваются аккумулятивные приморские равнины [Nguyen, 1995; Le, 1997].

Вытянутость в меридиональном направлении, расположение в Юго-Восточной Азии и сложная топография обуславливают ярко выраженные различия в режиме осадков. Для Вьетнама характерен тропический муссонный климат с сезонным изменением атмосферной циркуляции и количества осадков, связанным с температурным контрастом между востоком и западом или сушей и морем [Nguyen, Renwick, McGregor, 2014]. С учётом продолжительности сезонов дождей (трёх месяцев с наибольшим количеством осадков), температуры и разницы в интенсивности солнечной радиации [Nguyen D., Nguyen T., 2004], на территории Вьетнама выделено семь субрегионов: Северо-Западный (S1), Северо-Восточный (S2), Северная Дельта (S3), Северо-Центральный (S4), Южно-Центральный (S5), Центрально-Нагорный (S6) и Юго-Восточный (S7) (рис. 1б).

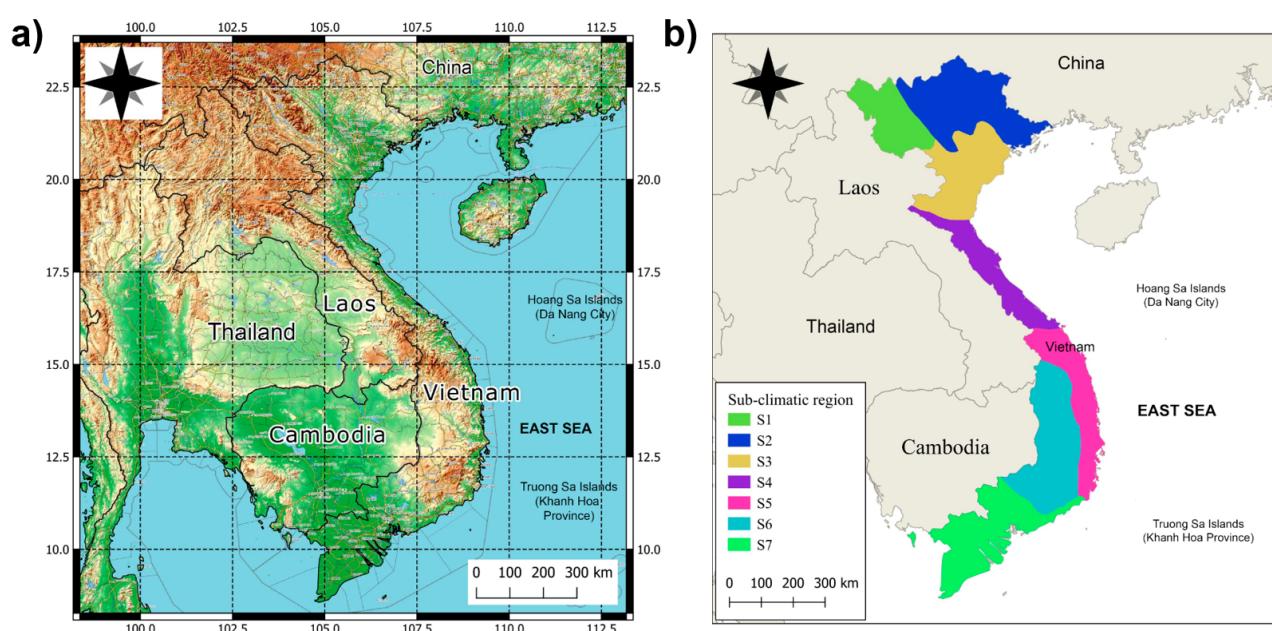


Рис. 1. Исследуемый регион (а) и карта субрегионов (б)

**Данные и методы.** Анализ температурного режима проведён с использованием данных реанализа ERA5 [Hersbach et al., 2020], а именно средней, минимальной и максимальной температуры воздуха за период 1991–2024 гг., с пространственным разрешением  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ . ERA5 представляет собой продукт пятого поколения для атмосферного реанализа, разработанный Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), с временным охватом с 1940 г. по настоящее время (восемь десятилетий непрерывных данных). Реанализ ERA5 использует усовершенствованную схему усвоения данных (IFS Cycle 41r2) с улучшенной параметризацией конвективных процессов и микрофизики облаков. Свободный доступ к данным обеспечивает хранилище климатических данных Copernicus [Climate reanalysis].

Тенденции динамики выпадения осадков и их экстремумов рассчитаны по спутниковым данным CHIRPS (Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Stations version 2) за период 1991–2024 гг. CHIRPS представляет собой квазиглобальный (от  $50^\circ$  ю. ш. до  $50^\circ$  с. ш. и всех долгот) источник данных об осадках с сеткой и пространственным разрешением 0,05 (5 км) в ежедневных и ежемесячных временных масштабах [Funk et al., 2015]. Данные CHIRPS используются для Азиатского региона, включая территорию Вьетнама [например, Bui, Awange, Vu, 2022; Tran T. N. D. et al., 2023].

Температурные экстремумы оценены с помощью индексов TXx (максимальные величины максимальной температуры воздуха) и TNn (минимальные значения минимальной температуры воздуха). Эти индексы позволяют оценить диапазон и экстремальность ночных и дневных температур. По минимальной температуре оценены тенденции «тропических ночей» (TR — tropical nights), рассчитывающиеся как количество дней с минимальной температурой воздуха выше 20 °C. Количество жарких дней (индекс SU35) оценивается по максимальной температуре воздуха: годовое количество осадков с максимальной температурой воздуха выше 35 °C. Температурный порог в 35 °C выбран в соответствии с его влиянием на здоровье человека [Ho et al., 2011].

Оценки режима осадков проведены на основе динамики среднегодовых сумм осадков за исследуемый период, а также среднемесячных значений. Экстремальные осадки анализировались по количеству дней с осадками выше 1 мм (индекс R1), числу дней с сильными и очень сильными осадками (выше 10 и 20 мм в сутки, индексы R10mm и R20mm), а также оценена интенсивность осадков (отношение общего количества осадков к количеству дождливых дней, индекс SDII).

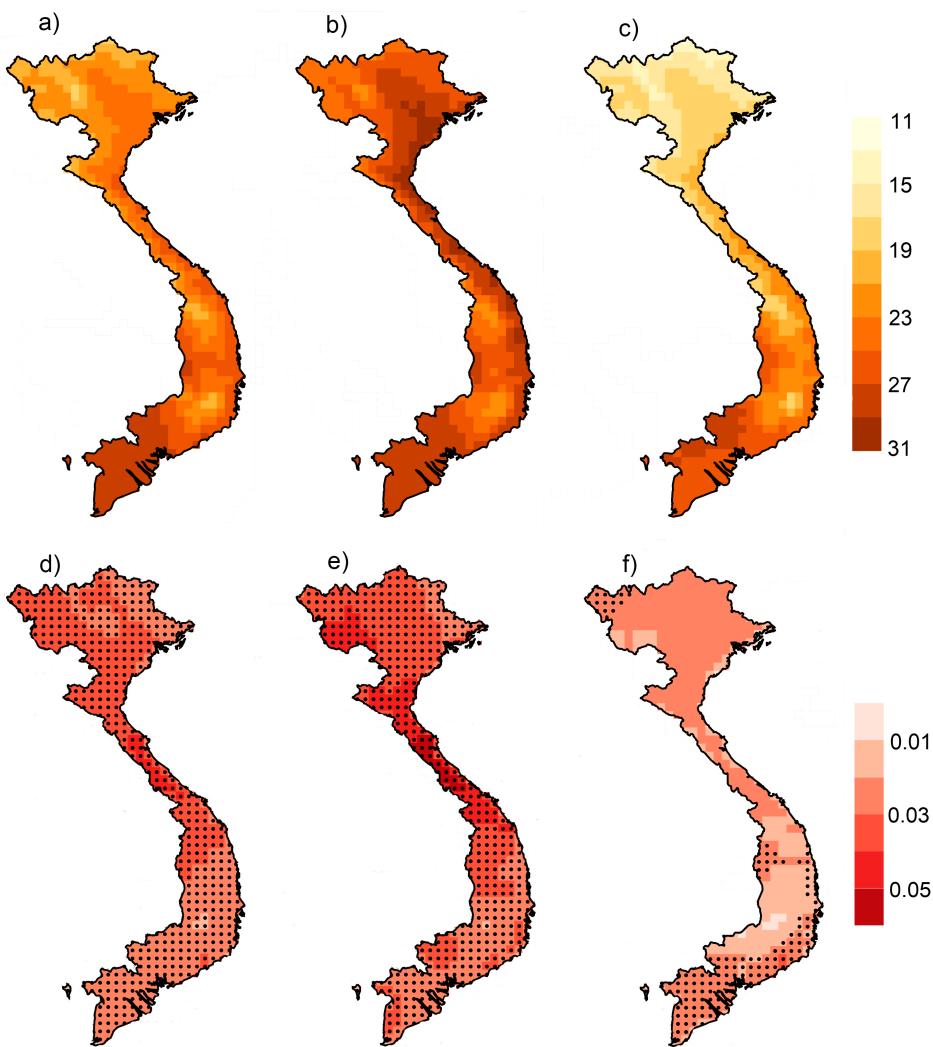
Описанные индексы экстремальных температур и осадков взяты из перечня индексов экспертной группы CCI/CLIVAR Expert Team for Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) for climate change assessment [Peterson et al., 2001; Zhang et al., 2011]. Линейные тренды рассчитаны по методу наименьших квадратов, статистическая значимость оценена по t-критерию ( $p < 0,05$ ).

## Результаты исследований

**Анализ средней температуры воздуха.** Средняя температура воздуха за период 1991–2024 гг. на территории Вьетнама изменяется от 18 до 30 °C (рис. 2). Наименьшие значения приурочены к высокогорным районам, в частности к хребту Хоангльеншон на северо-западе, массиву Нгоклинь и горам Чыонгшон в центральной части страны. Максимальные значения средней температуры воздуха (до 30 °C) обнаружены на юге Вьетнама, в дельте реки Меконг. Для летнего периода использованы месяцы с мая по август (MJJA), а для зимнего — с декабря по март (DJFM) [как показано в работе Nguyen, Renwick, McGregor, 2014]. В летний период температура воздуха варьируется в пределах 21–31 °C. Наибольшая температура (свыше 30 °C) наблюдается в дельте реки Хонгха, на побережье залива Бакбо и вдоль восточного побережья. В зимние месяцы средняя температура воздуха изменяется в более широких пределах: от 12–13 °C на севере Вьетнама до 28–29 °C на юге. В среднем для года (для летнего и зимнего периодов) характерна положительная тенденция температуры воздуха. Для среднегодовых и летних температур тренды статистически значимы на всей территории Вьетнама с максимальной величиной потепления до 0,6 °C/10 лет в центральной части страны (Северо-Центральный субрегион). В зимний период тренд также положительный, однако статистически значимые области приурочены к южным районам (скорость роста температуры не превышает 0,4 °C/10 лет).

**Изменение минимальных температур воздуха.** Минимальные температуры воздуха на территории Вьетнама за период 1991–2024 гг. варьируются в пределах 15–27 °C (рис. 3). Наибольшие значения минимальных температур отмечены на побережье и на юге страны, в то время как минимальные — приурочены к высокогорным районам на севере и в центральном районе. На всей территории Вьетнама выявлен рост минимальных температур и при этом с наибольшей скоростью (до 0,4 °C за 10 лет) — на восточном побережье центральной части страны (Северо-Центральный субрегион). Оценка минимальных температур воздуха проведена с использованием индекса TNn, показывающего экстремальность ночных температур, и индекса TR, который

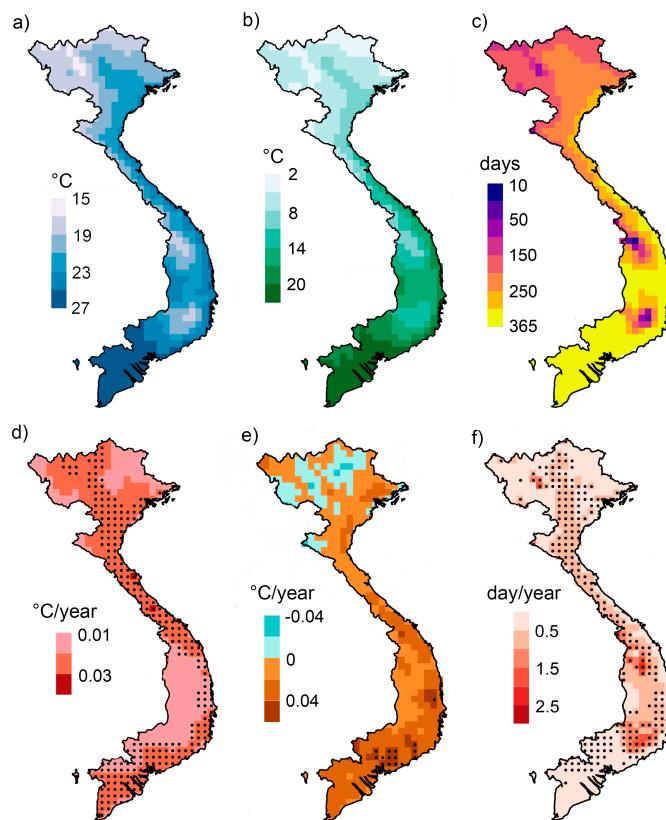
отражает количество тропических ночей, когда минимальная температура воздуха не опускается ниже +20 °C. Индекс TNn изменяется в пределах от 2 до 23 °C с ростом в южном направлении. Индекс TNn характеризуется ростом практически на всей территории Вьетнама, за исключением северных районов, что свидетельствует об исчезновении даже условно «прохладных» ночей. Индекс TR имеет наибольшие значения на юге страны (до 365 дней в году), а наименьшие значения (около 10 дней за год) — в районах, примыкающих к вершинам гор.



**Рис. 2.** Среднегодовая температура воздуха (а), средняя температура воздуха в летний (MJJA) (б) и зимний периоды (DJFM) (с) и тренды в °C/год (д–ф соответственно). Чёрные точки соответствуют статистически значимым трендам ( $p < 0.05$ )

Именно на этих участках обнаружен наибольший и статистически значимый тренд (до +30 дней/10 лет). При этом территория Вьетнама демонстрирует положительный и преимущественно статистически значимый тренд тропических ночей за период 1991–2024 гг.

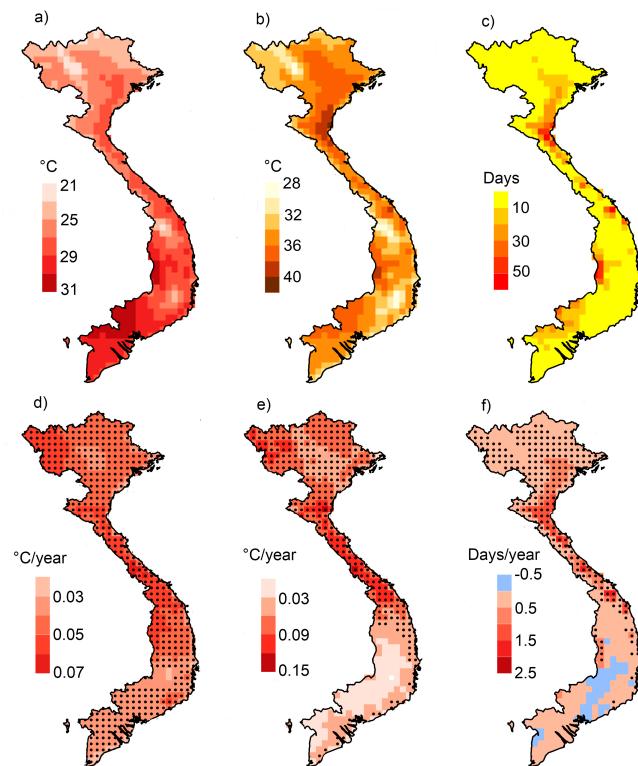
**Тенденции максимальных температур воздуха.** Максимальные температуры воздуха, аналогично средним и минимальным температурам, за 1991–2024 гг. демонстрируют положительный тренд на всей территории Вьетнама (рис. 4). Значения максимальных температур изменяются от 21 до 31 °C с максимальными величинами на юге страны (Юго-Восточный субрегион). Наименьшие значения отмечаются в высокогорных районах.



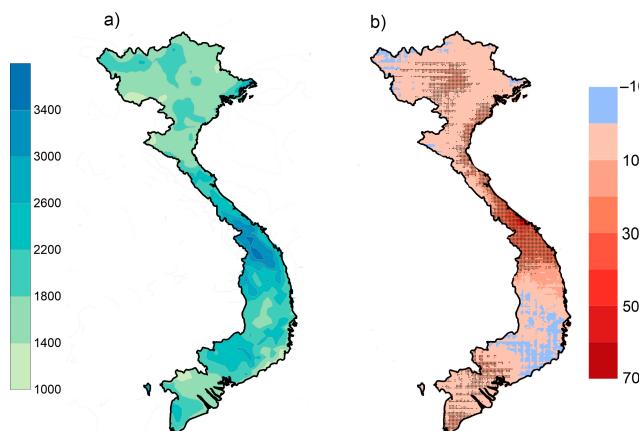
**Рис. 3.** Пространственные карты минимальной температуры воздуха (а), индекса TNn (минимум минимальной температуры) (б), индекса TR (тропические ночи) (с) и их тренды (д–ф соответственно) за 1991–2024 гг.

Индекс TXx, который отражает абсолютные экстремумы дневных температур за год и является маркером усиления жары, также демонстрирует положительные тенденции, особенно выраженные в центральных и северных районах страны (рост до  $+1,5^{\circ}\text{C}/10$  лет). По значениям максимальной температуры воздуха оценено количество жарких дней (SU35), то есть количество дней с температурой воздуха выше  $35^{\circ}\text{C}$ . Для большинства районов Вьетнама количество жарких дней не превышает 10 в год, на побережье залива Бакбо, а также в южных районах, на границе с Камбоджей, количество дней с температурой выше  $35^{\circ}\text{C}$  достигает 60 в год. Тренды индекса SU35 преимущественно положительные, за исключением южных регионов. Статистически значимый рост количества жарких дней обнаружен в северной и центральной частях страны (до  $+25$  дней/10 лет).

**Изменение режима осадков.** Годовое количество осадков на территории Вьетнама варьируется в пределах 1000–3500 мм за период 1991–2024 гг. (рис. 5а). Наибольшее количество осадков выпадает на склонах хребта Чыонгшон (свыше 3500 мм в год). На севере страны, в районе дельты Красной реки, осадков выпадает немногим более 2000 мм. Для годовых сумм осадков характерен положительный тренд практически на всей территории страны, особенно выраженный в областях максимальных сумм осадков (склоны хребтов массива Чыонгшон), где рост осадков достигает 70 мм/год (рис. 5б). Области со статистически значимым ростом осадков обнаружены на побережье залива Бакбо, в долине Красной реки, и на юге Вьетнама. В центральной части, на территории цокольных и базальтовых плато (Центральное плато, Ламвьен, Зилинь), за период 1991–2024 гг. получены слабые отрицательные тенденции осадков (до  $-10$  мм/год), однако статистически незначимые.



**Рис. 4.** Пространственные карты максимальной температуры воздуха (а), индекса TXx (максимум максимальной температуры) (б), индекса SU35 (жаркие ночи) (с) и их тренды (д–ф соответственно) за 1991–2024 гг.



**Рис. 5.** Среднегодовое количество осадков (а) и тренды (б). Чёрные точки соответствуют статистически значимым трендам ( $p < 0.05$ )

Режим выпадения осадков значительно изменяется по территории. Так, с января по март на всей территории Вьетнама выпадает незначительное количество осадков — не более 100 мм (рис. 6). В апреле в Северо-Западном и Центрально-Нагорном субрегионах появляются очаги с количеством осадков до 200 мм. С мая на всей территории страны начинается сезон дождей, особенно выраженный в Центрально-Нагорном субрегионе и в Северной Дельте. В июне усиливается контраст между субрегионами: Северо-Центральный субрегион получает меньше осадков, тогда как среднее количество осадков в Северо-Восточном, Центрально-Нагорном и Юго-Восточном

субрегионах достигает 400 мм. В июле и августе наблюдается пик осадков на севере страны и склонах горного массива Чыонгшон (до 750 мм). С сентября на севере Вьетнама начинается завершение сезона дождей. В центральной части и на юге в это время сезон дождей продолжается. В октябре на побережье Южно-Китайского моря, на границе Северо-Центрального и Южно-Центрального субрегионов, выпадает максимальное количество осадков — до 850 мм. На юге также продолжается сезон дождей. В ноябре сохраняется область высокого количества осадков в центральной части, но уже с меньшими величинами. Северные районы страны в ноябре — декабре находятся в сухих условиях. В декабре только центральные прибрежные районы Вьетнама получают свыше 300 мм осадков. Полученные результаты подтверждают различия в длительности сезона дождей для северных и южных регионов и времени (в месяце) его начала и окончания. На севере сезон дождей начинается раньше (в апреле/мае) и заканчивается в сентябре — начале октября. Юго-западный муссон обуславливает наибольшее количество осадков по всей стране в июле — августе [Dippner et al., 2007]. Межмуссонный период (с декабря по март) является самым сухим в году.

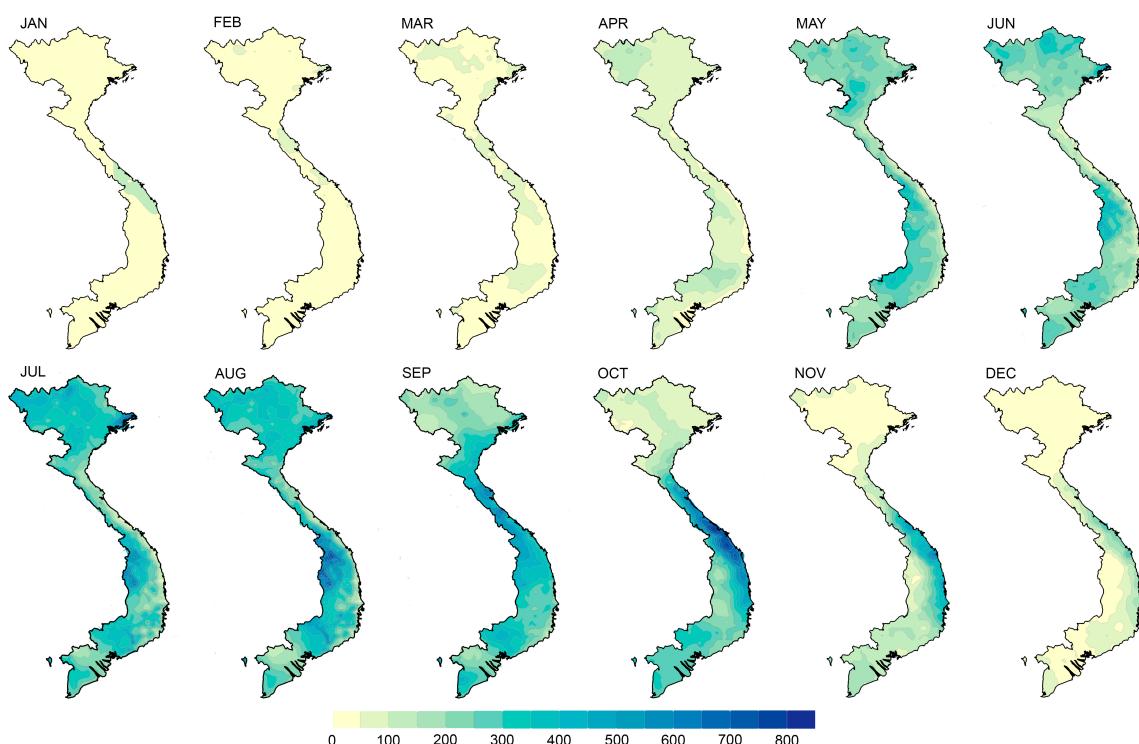
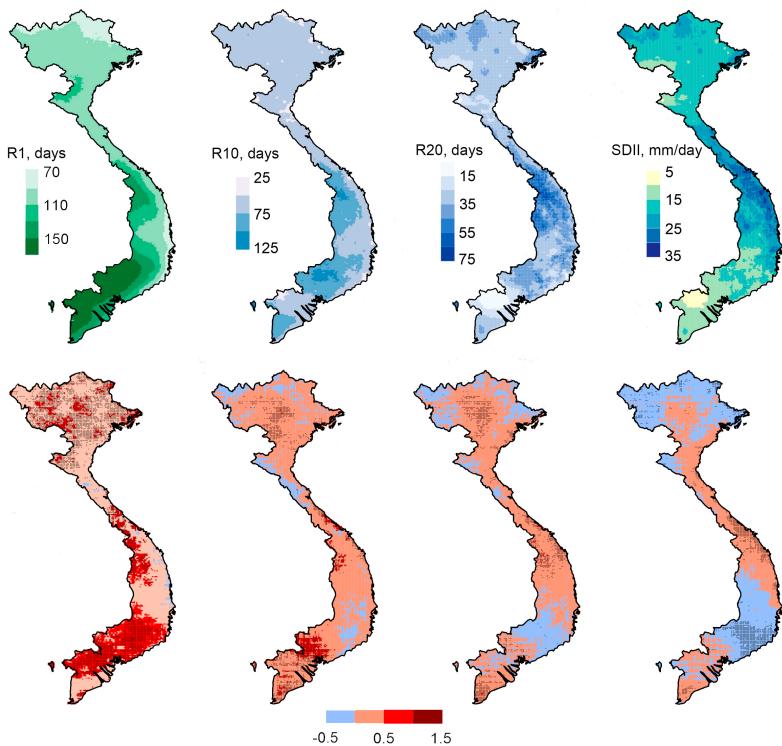


Рис. 6. Среднемесячные суммы осадков за 1991–2024 гг.

Пространственные карты индексов экстремальных осадков приведены на рисунке 7. Количество дождливых дней (R1) увеличивается в южном направлении от 70 дней в году до 170. Для всей территории Вьетнама характерен рост количества дождливых дней, особенно выраженный на севере и на юге, рост составил 15 дней/10 лет. Количество дней с сильными и очень сильными осадками (R10mm и R20mm) имеют схожее пространственное распределение по территории Вьетнама — наибольшее количество дней с осадками выше 10 и 20 мм отмечено в центральных и южных районах. Рост (до 15 дней за 10 лет) количества дней с сильными и очень сильными осадками наблюдается почти по всей территории страны. Интенсивность осадков (индекс SDII) изменяется от 5 до 35 мм/день. Наибольшие значения интенсивности осадков зафиксированы на склонах хребтов массива Чыонгшон в центральной части Вьетнама и на севере, в высокогорном районе. Минимальные значения интенсивности осадков приурочены к областям с наибольшим

количеством дождливых дней, а именно к району дельты реки Меконг на границе с Камбоджей. Это свидетельствует о достаточно равномерном распределении осадков в этой части страны. Интенсивность осадков характеризуется положительными и статистически значимыми трендами в центре Вьетнама. Однако в районах плато Ламвьен, Зилинь и Центрального плато отмечается уменьшение интенсивности осадков.



**Рис. 7.** Пространственное распределение индексов R1, R10m, R20mm и SDII (верхний ряд) и их тренды (нижний ряд) за 1991–2024 гг.

## Обсуждение результатов

Проведённый анализ климатических данных за период 1991–2024 гг. выявил комплексные и пространственно-неоднородные изменения температурного режима и режима осадков на территории Вьетнама, что согласуется с глобальными тенденциями изменения климата, но с выраженным региональными особенностями.

Анализ выявил устойчивую и статистически значимую тенденцию к потеплению, которая проявляется в средних, максимальных и минимальных температурах. Основным результатом исследования является подтверждение повсеместного повышения температур на территории Вьетнама. Однако скорость и статистическая значимость этого потепления варьируются в зависимости от сезона (летний или зимний периоды) и районов. Наибольшая скорость роста среднегодовых и летних температур (до 0,6 °C/10 лет) в центральной части страны указывает на формирование здесь «горячей точки» потепления. Менее выраженные, но все же значимые тренды зимних температур на юге подчёркивают, что потепление затрагивает и традиционно более прохладные периоды и сезоны, хотя и в разной степени.

Особую тревогу вызывает не собственно рост средних значений, а значительное изменение экстремальных температурных показателей. Это имеет серьёзные последствия для населения, экосистем и экономики. Увеличение минимальных температур и индекса TNn (абсолютный

минимум) свидетельствует о «размывании» прохладных ночей, особенно на севере страны. Это нарушает естественные циклы охлаждения, что увеличивает тепловой стресс у людей и животных и может негативно сказываться на сельском хозяйстве [Dao et al., 2025; Tung et al., 2025].

Распространение положительного тренда индекса TR (количество тропических ночей) является одним из наиболее ярких индикаторов изменения климата. Тот факт, что в горных районах наблюдается наибольший рост этого показателя (до +30 дней/10 лет), говорит о глубоких трансформациях даже в традиционно более прохладных климатических зонах страны.

Резкий рост индекса TXx (абсолютный максимум) в центральных и северных районах (до +1,5 °C/10 лет) указывает на увеличение интенсивности и, вероятно, продолжительности волн жары. Ещё более показательным является стремительное увеличение количества жарких дней (SU35) на Севере и в Центре (до +25 дней/10 лет). Это создаёт прямую угрозу для здоровья людей, увеличивает риск тепловых ударов, нагрузку на системы энергоснабжения (пиковое потребление на кондиционирование) и ведёт к снижению продуктивности труда [Tran N. Q. L. et al., 2023].

Результаты анализа указывают на значительную интенсификацию гидрологического цикла над Вьетнамом. Положительные и статистически значимые тренды годовых сумм осадков, особенно в районах их традиционного максимума (наветренные склоны хребтов массива Чыонгшон), а также рост числа дней с сильными осадками (R10mm, R20mm) и индекса SDII в центральных районах чётко свидетельствуют об учащении экстремальных ливневых явлений. Приведённые результаты подтверждаются ранее полученными по другим типам данных (станционные, спутниковые и реанализы), но за более ранний период [Vu, Mishra, 2016; Espagne et al., 2021; Nguyen et al., 2017; Do et al., 2020; Le et al., 2020].

Пространственное распределение тенденций осадков также подчёркивает роль орографии и муссонной циркуляции в модуляции климатических изменений. Усиление осадков на наветренных склонах и побережье и слабая отрицательная тенденция на подветренных плато (Ламвьен, Зилинь) указывают на возможное усиление муссонного потока или его изменение, что требует дальнейшего изучения с привлечением данных атмосферной циркуляции. Межсезонный анализ осадков подтверждает традиционную муссонную динамику, но выявленные тренды предполагают, что изменения могут затрагивать интенсивность осадков в пределах сезона, а не его календарные сроки [Sterling, Hurley, Le, 2006; Vu, Mishra, 2016]. Например, пиковые значения в октябре на центральном побережье могут становиться ещё более экстремальными.

Прогнозируемый рост в 21 веке рост экстремальных температурных явлений и осадков требует разработки стратегий адаптаций к изменениям климата [Khiem et al., 2014; Nguyen et al., 2017; Quan et al., 2022; Tran et al., 2025].

## Выводы

В целом климат Вьетнама за последние три десятилетия становится более тёплым и более влажным с увеличением частоты и интенсивности экстремальных осадков. Наиболее уязвимыми оказываются центральные и северные районы страны, где скорость изменений температурных показателей максимальна. Одновременно рост рисков, связанных с наводнениями, оползнями и разрушением инфраструктуры из-за экстремальных ливней, становится одним из самых серьёзных вызовов для устойчивого развития страны. Для углублённого понимания движущих механизмов этих изменений необходимы дальнейшие исследования с применением климатического моделирования, учитывающего взаимодействие между глобальным потеплением, региональной циркуляцией атмосферы и сложным рельефом Вьетнама.

Проведённое исследование предоставляет количественную оценку темпов современной климатической трансформации во Вьетнаме и может служить научной основой для разработки мер по адаптации к изменению климата на национальном и региональном уровнях.

### Список литературы

1. *Bui L. K., Awange J., Vu D. T.* Precipitation and soil moisture spatio-temporal variability and extremes over Vietnam (1981–2019): understanding their links to rice yield // Sensors. – 2022. – Vol. 22. – Art. 1906. – <https://doi.org/10.3390/s22051906>
2. *Tran T., Nguyen V. T., Huynh T. L. H., Mai V. K., Nguyen X. H., Doan H. P.* Climate change and sea level rise scenarios for Viet Nam. Summary for policymakers. – HÀ NỘI : Ministry of Natural Resources & Environment, 2016. – 39 p.
3. Climate reanalysis // Copernicus : Climate Change Service / Europ. Commis. – URL: <https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis> (accessed: 20.08.2025).
4. *Dao L. T. A., Huy P., Pham T. T. T., Dinh T. N.* Global climate risks and agricultural firm performance in Vietnam // Agribusiness. – 2025. – Art. 70007. – <https://doi.org/10.1002/agr.70007>. – Publ. date: 02.07.2025.
5. *Dippner J. W., Nguyen K. V., Hein H., Ohde T., Loick N.* Monsoon-induced upwelling off the Vietnamese coast // Ocean Dynamics. – 2007. – Vol. 57, iss. 1. – P. 46–62. – <https://doi.org/10.1007/s10236-006-0091-0>
6. *Do Q. V., Do H. X., Do N. C., Ngo A. L.* Changes in precipitation extremes across Vietnam and its relationships with teleconnection patterns of the northern hemisphere // Water. – 2020. – Vol. 12. – Art. 1646. – <https://doi.org/10.3390/w12061646>
7. *Espagne E. (Ed.), Ngo-Duc T., Nguyen M.-H., Pannier E., Woillez M.-N., Drogoul A., Linh H. T. P.* Climate Change in Viet Nam. Impacts and Adaptation. A COP26 assessment report of the GEMMES Viet Nam project. – Paris : Agence française de développement (AFD), 2021. – 612 p.
8. *Funk C., Peterson P., Landsfeld M., Pedreros D., Verdin J., Shukla S., Husak G., Rowland J., Harrison L., Hoell A., Michaelsen J.* The climate hazards infrared precipitation with stations – a new environmental record for monitoring extremes // Scientific Data. – 2015. – Vol. 2. – Art. 150066. – <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
9. *Ha D. H., Duc P. N., Luong T. H., Duc T. T., Ngoc T. T., Minh T. N., Minh T. N.* Application of artificial intelligence to forecast drought index for the Mekong Delta // Applied Science. – 2024. – Vol. 14. – Art. 6763. – <https://doi.org/10.3390/app14156763>
10. *Hallegatte S., Green C., Nicholls R. J., Corfee-Morlot J.* Future flood losses in major coastal cities // Nature Climate Change. – 2013. – Vol. 3. – P. 802–806. – <https://doi.org/10.1038/nclimate1979>
11. *Hersbach H., Bell B., Berrisford P. [et al.]* The ERA5 global reanalysis // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 2020. – Vol. 146, iss. 730. – P. 1999–2049. – <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
12. *Ho T. M. H., Phan V. T., Le N. Q., Nguyen Q. T.* Extreme climatic events over Vietnam from observational data and RegCM3 projections // Climate Research. – 2011. – Vol. 49. – P. 87–100. – <https://doi.org/10.3354/cr01021>
13. *Huong H. T. L., Pathirana A.* Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam // Hydrology and Earth System Sciences. – 2013. – Vol. 17, iss. 1. – P. 379–394. – <https://doi.org/10.5194/hess-17-379-2013>
14. *IPCC*, 2021 : Climate Change 2021 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel

- on Climate Change / ed. by Masson-Delmotte V. [et al.]. – Cambridge, UK [et al.]: Cambridge Univ. Press, 2021. – 2391 p. – <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
15. *Khiem V. M., Redmond G., McSweeney C., Thuc T.* Evaluation of dynamically downscaled ensemble climate simulations for Vietnam // International Journal of Climatology. – 2014. – Vol. 34, iss. 7. – P. 2450–2463. – <https://doi.org/10.1002/joc.3851>
16. *Le B. T.* Vietnam, the Country and its Geographical Regions. – Hanoi : Thế Giới, 1997. – 620 p.
17. *Tung L. T., Bentzen J., Mai Tram N. H., Thang P. N., Hoang D. V.* Climate change and rice production: Empirical evidence from Vietnam // Studies in Agricultural Economics. – 2025. – Vol. 127, iss. 1. – P. 67–79. – <https://doi.org/10.7896/j.2977>
18. *Le M. H., Kim H., Moon H., Zhang R., Lakshmi V., Nguyen L. B.* Assessment of drought conditions over Vietnam using standardized precipitation evapotranspiration index, MERRA-2 re-analysis, and dynamic land cover // Journal of Hydrology: Regional Studies. – 2020. – Vol. 32. – Art. 100767. – <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100767>
19. *Tran N. Q. L., Le H. T. C. H., Pham C. T. [et al.]* Climate change and human health in Vietnam: a systematic review and additional analyses on current impacts, future risk, and adaptation // The Lancet Regional Health – Western Pacific. – 2023. – Vol. 40. – Art. 100943. – <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2023.100943>
20. *Mahlstein I., Knutti R., Solomon S., Portmann R. W.* Early onset of significant local warming in low latitude countries // Environmental Research Letters. – 2011. – Vol. 6, no 3. – Art. 034009. – <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/3/034009>
21. MONRE. Climate Change, Sea Level Rise Scenarios for Viet Nam / Ministry of Natural Resources and Environment, Vietnam Natural Resources. – Hanoi : Environment and Mapping Publ. House, 2021. – 144 p.
22. *Nguyen D.-Q., Renwick J., McGregor J.* Variations of surface temperature and rainfall in Vietnam from 1971 to 2010 // International Journal of Climatology. – 2014. – Vol. 34, iss. 1. – P. 249–264. – <https://doi.org/10.1002/joc.3684>
23. *Nguyen D. N., Nguyen T. H.* Climate and Climate Resources in Vietnam. – Hanoi : Agr. Publ. House, 2004. – 296 p. (in Vietnamese).
24. *Nguyen T. D.* Geography of Vietnam: Natural, Human, Economic. – 2nd ed. – Hanoi : Thế Giới Publ., 1995. – 191 p.
25. *Nguyen V. T., Mai V. K., Vu V. T., Nguyen D. M., Nguyen N. B. P., Le D. D., Truong M. H., Luu N. L.* Changes in climate extremes in Vietnam // Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering. – 2017. – Vol. 59, nr 1. – P. 79–87. – [https://doi.org/10.31276/vjste.59\(1\).79](https://doi.org/10.31276/vjste.59(1).79)
26. *Peterson T. C., Folland C., Gruza G., Hogg W., Mokssit A., Plummer N.* Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs 1998–2001. – Southampton, UK : Intern. CLIVAR Project Office, 2001. – 144 p. – (ICPO Publication Series ; nr 48).
27. *Post E., Alley R. B., Christensen T. R., Macias-Fauria M., Forbes B. C., Gooseff M. N., Iler A., Kerby J. T., Laidre K. L., Mann M. E., Olofsson J., Stroeve J. C., Ulmer F., Virginia R. A., Wang M.* The polar regions in a 2 °C warmer world // Science Advances. – 2019. – Vol. 5, iss. 12. – Art. eaaw9883. – <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw9883>
28. *Phan V.-T., Ngo-Duc T., Ho T.-M.-H.* Seasonal and interannual variations of surface climate elements over Vietnam // Climate Research. – 2009. – Vol. 40, iss. 1. – P. 49–60. – <https://doi.org/10.3354/cr00824>
29. *Quan T. A., Thanh N. D., Espagne E., Long T. T.* A high-resolution projected climate dataset for Vietnam: Construction and preliminary application in assessing future change // Journal of Water and Climate Change. – 2022. – Vol. 13, iss. 9. – P. 3379–3399. – <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.144>

30. *Sterling E. J., Hurley M. M., Le D. M.* Vietnam: A Natural History. – New Haven (USA) [et al.]: Yale Univ. Press, 2006. – 423 p.
31. *Sun Q., Song W., Han Z., Song W., Wang Z.* Assessment of flood disaster risk in the Lancang–Mekong Region // Water. – 2024. – Vol. 16. – Art. 3112. – <https://doi.org/10.3390/w16213112>
32. *Tran T. N. D., Le M.-H., Zhang R., Nguyen B. Q., Bolten J. D., Lakshmi V.* Robustness of gridded precipitation products for Vietnam basins using the comprehensive assessment framework of rainfall // Atmospheric Research. – 2023. – Vol. 293. – Art. 106923. – <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106923>
33. *Tran T. C., Tang Q., Zhao G., Wright N.* Projected changes in average and extreme precipitation under global warming in Vietnam // Natural Hazards. – 2025. – Vol. 121. – P. 15135–15161. – <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07386-x>
34. *Trinh T. A.* The impact of climate change on agriculture: Findings from households in Vietnam // Environmental and Resource Economics. – 2018. – Vol. 71, iss. 4. – P. 897–921. – <https://doi.org/10.1007/s10640-017-0189-5>
35. *Vu D. T., Yamada T., Ishidaira H.* Assessing the impact of sea level rise due to climate change on seawater intrusion in Mekong Delta, Vietnam // Water Science and Technology. – 2018. – Vol. 77, iss. 6. – P. 1632–1639. – <https://doi.org/10.2166/wst.2018.038>
36. *Vu T. M., Mishra A. K.* Spatial and temporal variability of standardized precipitation index over Indochina Peninsula // Cuadernos de Investigación Geográfica. – 2016. – Vol. 42, no 1. – P. 221–232. – <https://doi.org/10.18172/cig.2928>
37. *Wassmann R., Hien N. X., Hoanh C. T., Tuong T. P.* Sea level rise affecting the Vietnamese Mekong Delta: water elevation in the flood season and implications for rice production // Climatic Change. – 2004. – Vol. 66, iss. 1/2. – P. 89–107. – <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000043144.69736.b7>
38. *Zhang X., Alexander L., Hegerl G. C., Jones P., Klein T. A., Peterson T. C., Trewin B., Zwiers F. W.* Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data // Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. – 2011. – Vol. 2, iss. 6. – P. 851–870. – <https://doi.org/10.1002/wcc.147>

## ASSESSMENT OF CHANGES IN CLIMATE EXTREMES IN VIETNAM AT THE BEGINNING OF THE 21<sup>st</sup> CENTURY

**Vyshkvarkova E. V.<sup>1</sup>, Lineva N. P.<sup>1</sup>, Gorbunov R. V.<sup>1</sup>, Kuznetsov A. N.<sup>2</sup>,  
Kuznetsova S. P.<sup>2</sup>, Nguyen D. H.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,*

<sup>2</sup>*Joint Russian-Vietnamese Tropical Research and Technology Center, Hanoi, Vietnam,*

*e-mail: [gorbunov@ibss-ras.ru](mailto:gorbunov@ibss-ras.ru)*

**Abstract:** The article presents a comprehensive analysis of the spatiotemporal variability of temperature and precipitation in Vietnam for the period 1991–2024 using a number of climate indices. It was found that average annual temperatures demonstrate a statistically significant increase with a maximum warming intensity of up to 0.6 °C/10 years in the central regions. An increase in minimum temperatures (up to 0.4 °C/10 years) and a significant increase in the number of tropical nights (TR index) were detected, especially in mountainous areas (up to +30 days/10 years). The absolute annual maximum index (TXx) shows a sharp increase (up to +1.5 °C/10 years) in the central and northern regions. The greatest increase in the number of hot days (SU35, Tmax > 35 °C) was detected in the northern and central parts of Vietnam (up to +25 days/10 years). Precipitation analysis revealed positive and statistically significant trends in annual precipitation totals, particularly on the windward slopes of the Truong Son Range (up to 70 mm/year). An increase in the number of days

with heavy (R10 mm) and very heavy (R20 mm) precipitation was observed, as well as an increase in the precipitation intensity index (SDII) in the central part of the country, indicating an intensification of extreme rainfall events. The results indicate a significant transformation of Vietnam's climate, characterized by an intensification of the hydrological cycle and warming, creating new risks associated with heat stress and extreme precipitation.

**Keywords:** climate change, Vietnam, temperature indices, extreme precipitation, trends, warming, climate indices, monsoon

#### Сведения об авторах

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Вышкваркова<br>Елена<br>Васильевна | кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории ландшафтной экологии и геоматики ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: <a href="mailto:vyshkvarkova@ibss-ras.ru">vyshkvarkova@ibss-ras.ru</a>                        |
| Линева<br>Настасья<br>Павловна     | младший научный сотрудник лаборатории ландшафтной экологии и геоматики ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: <a href="mailto:n.lineva@ibss-ras.ru">n.lineva@ibss-ras.ru</a>  |
| Горбунов<br>Роман<br>Вячеславович  | доктор географических наук, директор, главный научный сотрудник лаборатории ландшафтной экологии и геоматики ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: <a href="mailto:gorbunov@ibss-ras.ru">gorbunov@ibss-ras.ru</a>                        |
| Кузнецов<br>Андрей<br>Николаевич   | доктор биологических наук, генеральный директор российской части Совместного Российско-Вьетнамского научно-исследовательского и технологического центра, ул. Нгуен Ван Хуен, Нгия До, Кай Зай, г. Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам, e-mail: <a href="mailto:forestkuz@mail.ru">forestkuz@mail.ru</a>                                    |
| Кузнецова<br>Светлана<br>Павловна  | старший инженер Института тропической экологии Совместного Российско-Вьетнамского научно-исследовательского и технологического центра, ул. Нгуен Ван Хуен, Нгия До, Кай Зай, г. Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам, e-mail: <a href="mailto:forestkuz@mail.ru">forestkuz@mail.ru</a>  |
| Нгуен Данг Хой                     | кандидат географических наук, профессор, директор Института тропической экологии Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, ул. Нгуен Ван Хуен, Нгия До, Кай Зай, г. Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам, e-mail: <a href="mailto:danghoi110@gmail.com">danghoi110@gmail.com</a> |

Поступила в редакцию 01.10.2025

Принята к публикации 03.12.2025