

**МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА/MELIORATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS**DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.74.15> EDN: KFENRK**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОЦЕНКА АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ПРИГОДНОСТИ ТЕРРИТОРИИ
ПРОВИНЦИИ ХЭНАНЬ ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИЙ И РЕАНАЛИЗА ERA5**

Научная статья

Го Ю.¹, Станис Е.В.^{2,*}¹ ORCID : 0000-0001-9932-3317;^{1, 2} Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (stanis-ev[at]rudn.ru)

Предложена: 02.09.2026; Принята: 16.10.2026; Опубликовано: 19.10.2026

Аннотация

Цель исследования — количественная оценка пространственной дифференциации агроклиматической пригодности территории провинции Хэнань. Использованы суточные наблюдения 68 метеорологических станций за 1995–2024 гг.; после контроля полноты и качества в анализ включены 42 станции. Непрерывные поля построены методом обычного кригинга, сведения реанализа ERA5 применены для дополнения пространственной характеристики климатических ресурсов. Комплексный индекс пригодности CSI рассчитан как среднее балльных оценок тепловых ресурсов, продолжительности солнечного сияния и коэффициента увлажнения. Установлено, что сумма средней суточной температуры изменяется от 4891,6 до 6497,7 °C·сут (амплитуда 1606,1 °C·сут), средняя продолжительность солнечного сияния — от 4,82 до 5,83 ч/сут (амплитуда 1,01 ч/сут), а коэффициент увлажнения — от 1,15 до 3,39 (амплитуда 2,24). Наиболее благоприятное сочетание факторов характерно для западной и центральной частей провинции, наименее благоприятное — для восточных и северо-восточных районов. Для горного запада результаты ERA5 интерпретируются как относительная пространственная характеристика: сглаживание рельефа и расхождение высоты сеточной ячейки с высотой станции могут вызывать систематические смещения температуры и ослаблять локальные орографические контрасты. Полученная схема пригодна для регионального планирования при условии локальной верификации в районах сложного рельефа.

Ключевые слова: агроклиматическая пригодность, метеорологические ресурсы, кригинг, ГИС, провинция Хэнань.

**SPATIAL EVALUATION OF THE AGROCLIMATIC SUITABILITY OF THE HENAN PROVINCE BASED ON
DATA FROM WEATHER STATIONS AND THE ERA5 REANALYSIS**

Research article

Guo Y.¹, Stanis E.V.^{2,*}¹ ORCID : 0000-0001-9932-3317;^{1, 2} Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (stanis-ev[at]rudn.ru)

Suggested: 02.09.2026; Accepted: 16.10.2026; Published: 19.10.2026

Abstract

The aim of the study is to quantitatively assess the spatial variation in the agroclimatic suitability of Henan Province. Daily observations from 68 meteorological stations covering the period 1995–2024 were used; following a check for completion and quality, 42 stations were included in the analysis. Continuous fields were constructed using the ordinary kriging method, and ERA5 reanalysis data were applied to supplement the spatial traits of climatic resources. The Comprehensive Suitability Index (CSI) was calculated as the average of the scores for thermal resources, duration of sunshine and the moisture coefficient. It was established that the sum of the mean daily temperature ranges from 4,891.6 to 6,497.7 °C·day (amplitude 1,606.1 °C·day), the average duration of sunshine ranges from 4.82 to 5.83 h/day (range 1.01 h/day), and the humidity coefficient ranges from 1.15 to 3.39 (range 2.24). The most favourable combination of factors is characteristic of the western and central parts of the province, while the least favourable is found in the eastern and northeastern regions. For the mountainous west, the ERA5 results are interpreted as a relative spatial characteristic: the smoothing of the relief and the discrepancy between the grid cell elevation and the station elevation may cause systematic temperature shifts and weaken local orographic contrasts. The resulting scheme is suitable for regional planning, provided it is verified locally in areas with complex terrain.

Keywords: agroclimatic suitability, meteorological resources, kriging, GIS, Henan Province.

Введение

Провинция Хэнань относится к ключевым зернопроизводящим регионам Китая. В 2024 г. площадь посевов зерновых культур в провинции составляла 10,777 млн га, валовой сбор — 67,194 млн т, а средняя урожайность — 6234,8 кг/га [1]. Поэтому пространственная неоднородность тепла, солнечного сияния и влагообеспеченности имеет значение не только для размещения культур внутри провинции, но и для устойчивости национального производства зерна.

Агроклиматическая пригодность выражает степень соответствия климатических ресурсов биологическим требованиям культур. В исследованиях территории Хуанхэ-Хуайхэ-Хайхэ и Китая в целом для такой оценки применяют нормирование температуры, осадков и радиации с последующим объединением показателей в ГИС [2], [3]. Для летней кукурузы в Хэнани ранее установлены северо-южный градиент световых ресурсов, межгодовая изменчивость тепла и неоднородность осадков [4]. Моделирование фенологии и урожайности также показывает, что температура и осадки сильнее влияют на погодную составляющую урожая кукурузы, чем солнечная радиация и ветер [5]. Исследования засух указывают на повышенную повторяемость дефицита влаги в северной и восточной частях провинции и на необходимость учитывать не только осадки, но и испаряемость [6].

Несмотря на развитую методику агроклиматического районирования, для управленческих решений требуется единая пространственная схема, которая показывает совместное действие основных метеорологических ограничений на современном 30-летнем интервале. *Цель работы* — оценить пригодность метеорологических условий провинции Хэнань для сельскохозяйственного производства по тепловым ресурсам, продолжительности солнечного сияния и соотношению испарения и осадков. Для достижения цели решались задачи контроля и приведения исходных данных, пространственной интерполяции частных показателей, их нормирования и построения комплексного индекса, а также интерпретации полученного районирования с учетом сельскохозяйственной специализации и методических ограничений.

Материалы и методы

2.1. Территория исследования и исходные данные

Хэнань расположена в центральной части Китая приблизительно между 31°23'–36°22' с. ш. и 110°21'–116°39' в. д. Равнинные территории преобладают в центре и на востоке, а горные и холмистые участки — на западе и северо-западе. Такое сочетание широтного положения и рельефа формирует выраженные пространственные градиенты тепла и влаги.

Исходную основу составили ежедневные наблюдения температуры воздуха и атмосферных осадков на 68 станциях за 1995–2024 гг., полученные из Национального центра метеорологической информации Китая [7]. Продолжительность солнечного сияния и испарение определялись по реанализу ERA5 на одноуровневых поверхностях [8]. ERA5 объединяет наблюдения и численную модель атмосферы в согласованный во времени набор данных, что позволяет заполнять пространство между станциями, однако не исключает региональных смещений и требует осторожности при интерпретации локальных значений [9]. Тридцатилетний период соответствует принятой продолжительности климатологической нормы, хотя интервал 1995–2024 гг. не является стандартным десятилетним периодом ВМО и рассматривается здесь как современное многолетнее среднее [10].

2.2. Подготовка показателей

Из анализа исключали станции, для которых доля пропусков хотя бы в одном основном ряду превышала 5%. После контроля полноты сохранились 42 станции. Все слои были приведены к географической системе координат GCS WGS 1984. Значения ERA5 извлекались по координатам контрольных пунктов и затем агрегировались до годовых и 30-летних характеристик.

Тепловые ресурсы характеризовали годовой суммой среднесуточных температур T , выраженной в °C·сут. Этот показатель отличается от среднегодовой температуры и отражает накопленное за год тепло. Световые ресурсы описывали средней суточной продолжительностью солнечного сияния S , ч/сут. Условия увлажнения выражали безразмерным коэффициентом испарения $E = E_v/P$, где E_v — годовая сумма испарения, мм, а P — годовая сумма осадков, мм. Рост E означает усиление потенциального дефицита влаги. Использование отношения испарения и осадков соответствует физическому смыслу водного баланса, но не заменяет расчет эталонной и фактической эвапотранспирации по данным о радиации, влажности и ветре [11].

2.3. Пространственная интерполяция и комплексный индекс

Непрерывные поверхности T , S и E создавались в ArcGIS 10.8 методом обычного кригинга. Метод учитывает пространственную автокорреляцию наблюдений и позволяет получать оценки в узлах регулярной сетки. В отличие от детерминированной интерполяции, кригинг опирается на модель вариограммы; поэтому качество результата зависит от плотности пунктов и выбранных параметров пространственной модели [12].

Каждый показатель переклассифицировали по пятибалльной шкале (табл. 1). Для температуры и солнечного сияния большему значению соответствовал больший балл; для коэффициента испарения направление шкалы было обратным. Поскольку обоснованных различий в весах не установлено, частным индексам присвоены равные веса. Комплексный индекс пригодности метеорологических условий CSI рассчитывали по формуле

$$CSI = (I_T + I_S + I_E) / 3 \quad (1)$$

где I_T , I_S и I_E — балльные оценки тепловых ресурсов, продолжительности солнечного сияния и коэффициента испарения соответственно. Значения CSI находятся в диапазоне от 1 до 5. Для картографического отображения итоговую поверхность разделили на пять относительных классов: очень низкая, низкая, умеренная, высокая и очень высокая пригодность. Эти категории показывают различия внутри Хэнани и не являются универсальными порогами для отдельных культур.

Таблица 1 - Критерии балльной оценки метеорологических показателей

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.74.15.1>

Балл	T, °C·сут	S, ч/сут	E, безразм.
1	< 5336	< 5,0	> 2,8
2	5336–5566	5,0–5,2	2,4–2,8
3	5566–5796	5,2–5,4	2,0–2,4
4	5796–6026	5,4–5,6	1,6–2,0
5	> 6026	> 5,6	< 1,6

Результаты**3.1. Пространственное распределение тепловых ресурсов**

В контрольных пунктах годовая сумма среднесуточных температур изменялась от 4891,6 до 6497,7 °C·сут (рис. 1). Наименьшие значения характерны для западных и северо-западных районов, где влияние рельефа сочетается с более северным положением. Максимальные значения зафиксированы на востоке и юго-востоке провинции. Интерполированная поверхность подтверждает общий рост тепловых ресурсов к востоку и юго-востоку (рис. 2).

Среднегодовое распределение общей температуры в местах наблюдения(°C)

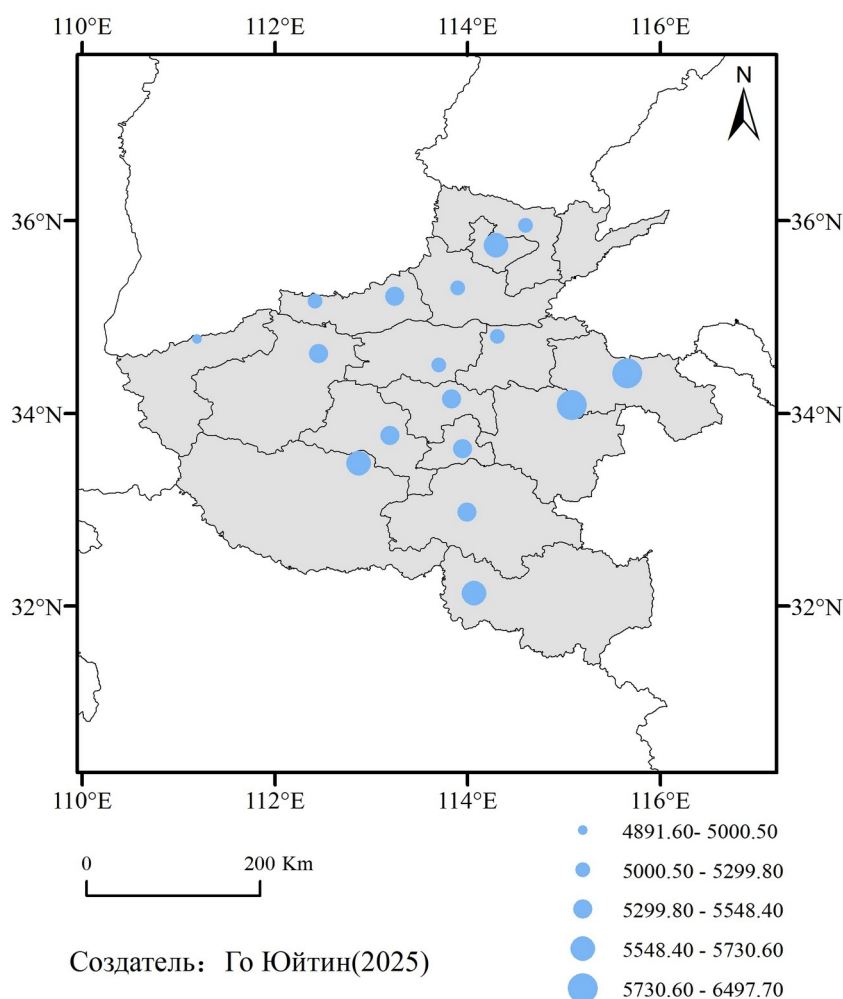
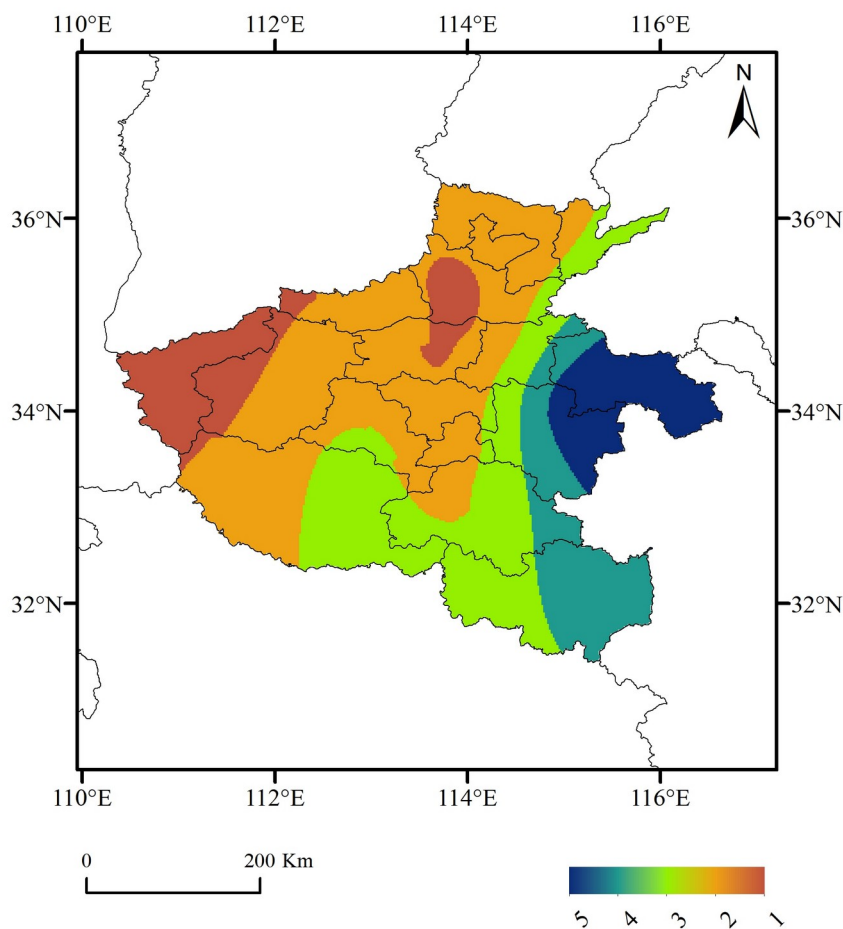


Рисунок 1 - Распределение годовой суммы среднесуточных температур в пунктах наблюдений за 1995–2024 гг.

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.74.15.2>

Среднегодовая общая температура



Создатель: Го Юйтин(2025)

Рисунок 2 - Балльная оценка тепловых ресурсов провинции Хэнань
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.74.15.3>

По принятой шкале восточные районы преимущественно получают 4–5 баллов, центральная и южная части — 3–4 балла, а отдельные западные и северные участки — 1–2 балла. Результат отражает общий тепловой потенциал территории, но не показывает риск повреждения посевов экстремально высокой или низкой температурой в критические фазы развития.

3.2. Пространственное распределение солнечного сияния

Средняя суточная продолжительность солнечного сияния составляла 4,82–5,83 ч/сут (рис. 3). Более высокие значения наблюдались в северной и северо-западной частях Хэнани, тогда как южные районы отличались меньшей продолжительностью солнечного сияния. После интерполяции сформировался устойчивый градиент снижения показателя с севера на юг (рис. 4). Такой рисунок согласуется с ранее установленным уменьшением световых ресурсов в южном направлении [4].

Среднее количество солнечных часов в местах наблюдения

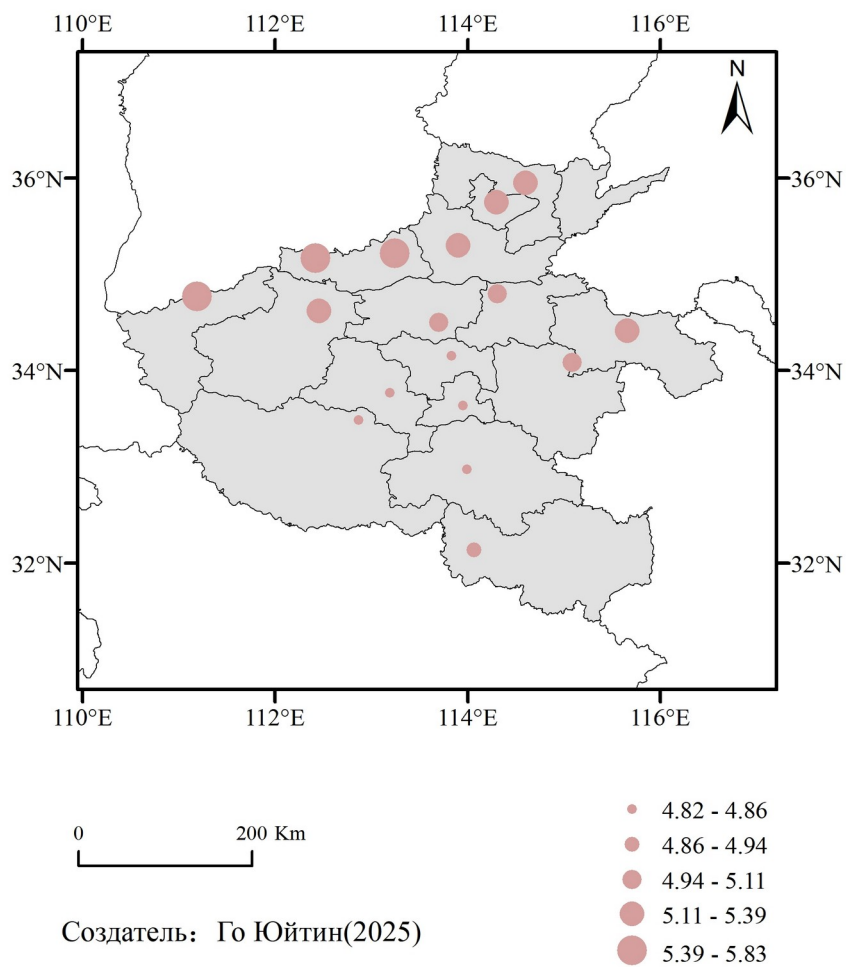


Рисунок 3 - Средняя суточная продолжительность солнечного сияния в пунктах наблюдений за 1995–2024 гг.
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.74.15.4>

Среднее количество солнечных часов

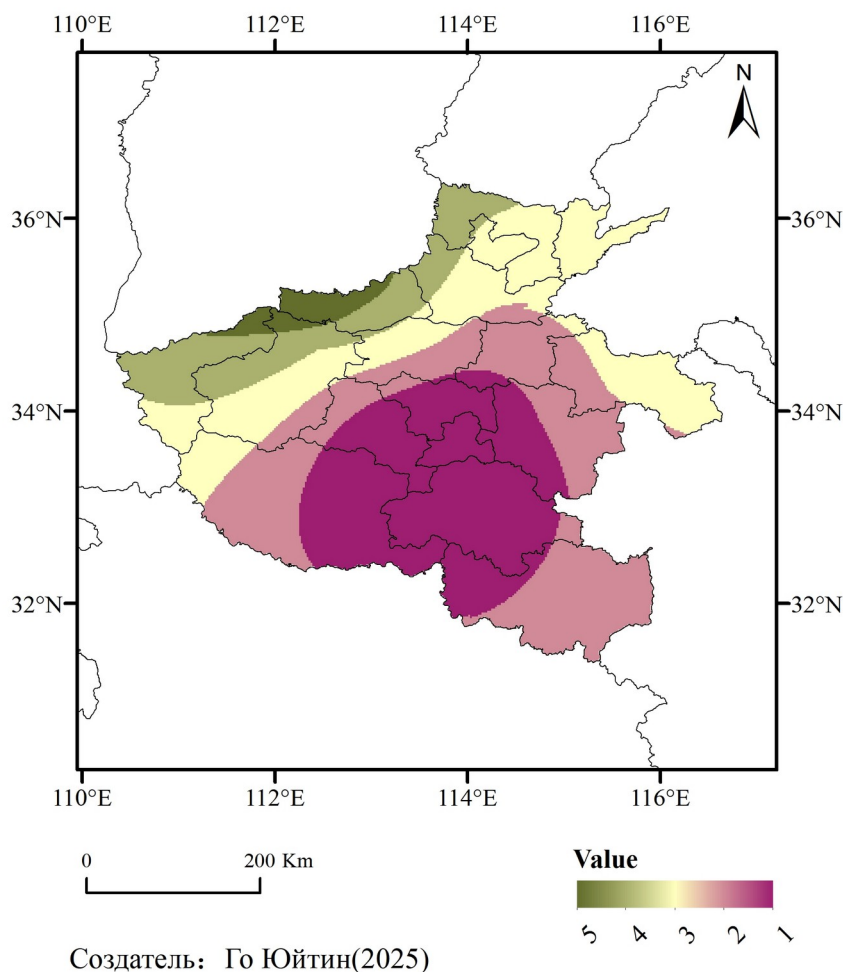


Рисунок 4 - Балльная оценка продолжительности солнечного сияния в провинции Хэнань
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.74.15.5>

Значительная часть северных и северо-западных районов получила 4–5 баллов, а центральные и южные районы — преимущественно 1–3 балла. Для сельскохозяйственного производства этот фактор следует рассматривать совместно с температурой и влагой: высокая инсоляция повышает фотосинтетический потенциал, но при недостатке осадков одновременно усиливает испарительный спрос.

3.3. Пространственное распределение коэффициента испарения

Коэффициент испарения изменялся от 1,15 до 3,39 (рис. 5). Наиболее высокие значения отмечены в центральной и северной частях провинции, что указывает на повышенную вероятность несоответствия между испарительным расходом и поступлением осадков. На юге и юго-западе коэффициент ниже, поэтому балльная оценка влагообеспеченности выше (рис. 6). Пространственная картина согласуется с исследованиями SPEI, выявившими существенную неоднородность засух и повышенную частоту дефицита влаги в отдельных северных и восточных районах [6].

Коэффициент испарения в местах наблюдения

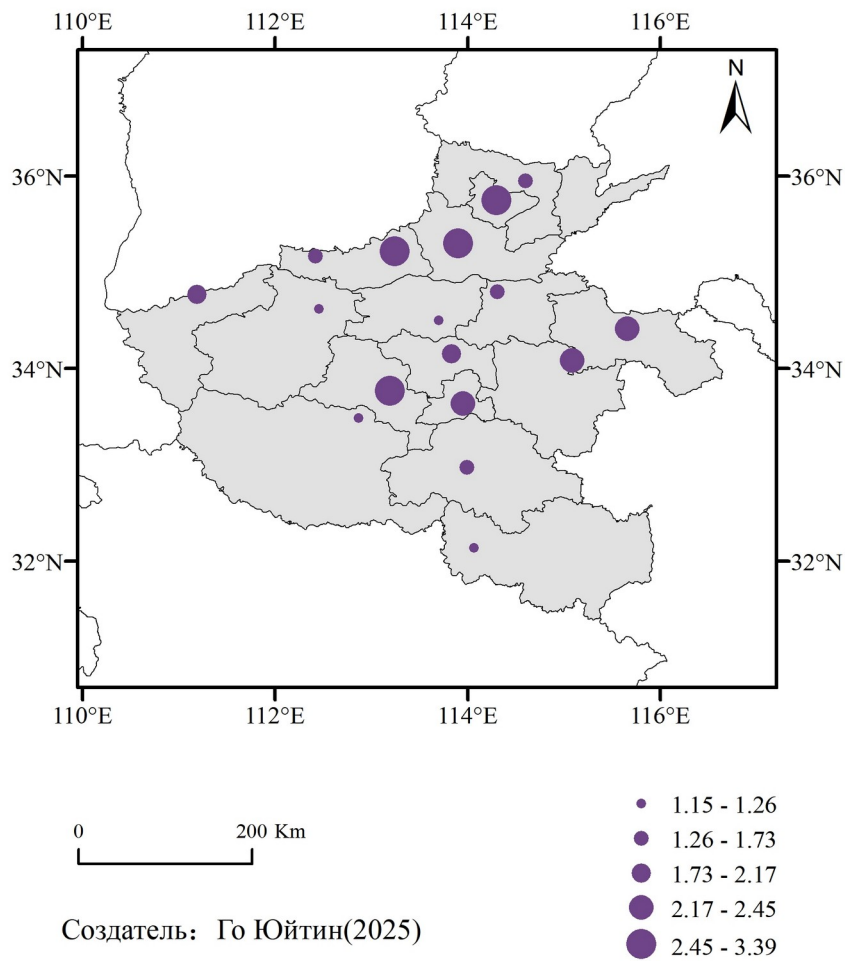


Рисунок 5 - Коэффициент испарения в пунктах наблюдений за 1995–2024 гг.
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.74.15.6>

Коэффициент испарения

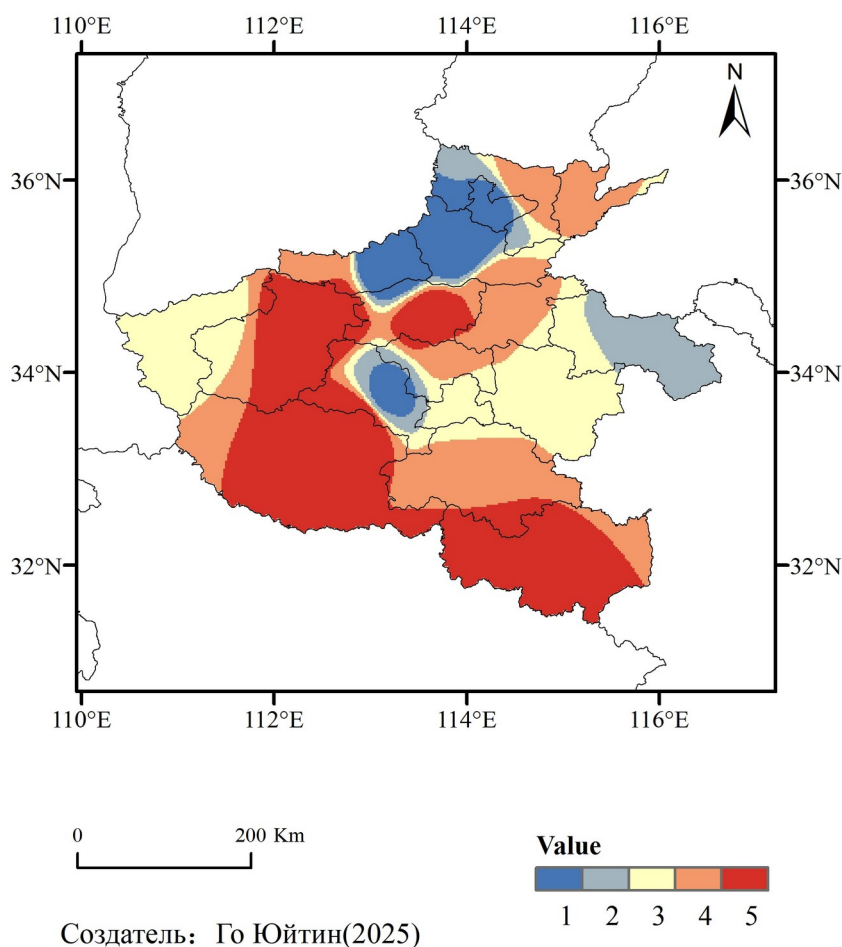


Рисунок 6 - Балльная оценка коэффициента испарения в провинции Хэнань
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.74.15.7>

Коэффициент E удобен для регионального сравнения, однако он не учитывает сезонность осадков и потребность конкретной культуры в воде. Одинаковое годовое значение может соответствовать различным условиям в периоды посева, цветения и налива зерна. Поэтому зоны с высоким баллом по E нельзя автоматически считать защищенными от кратковременной сельскохозяйственной засухи или переувлажнения.

3.4 Комплексная пригодность

Комплексная карта показывает мозаичное сочетание факторов (рис. 7). Очень высокая и высокая пригодность формируется локально там, где благоприятные значения влагообеспеченности сочетаются с достаточными тепловыми и световыми ресурсами. Такие участки выделяются на западе, юге, юго-востоке и частично на востоке. Очень низкие и низкие значения сосредоточены в центральной и северо-центральной частях, где один или два лимитирующих фактора снижают среднюю оценку.

Комплексная оценка пригодности для ведения сельского хозяйства

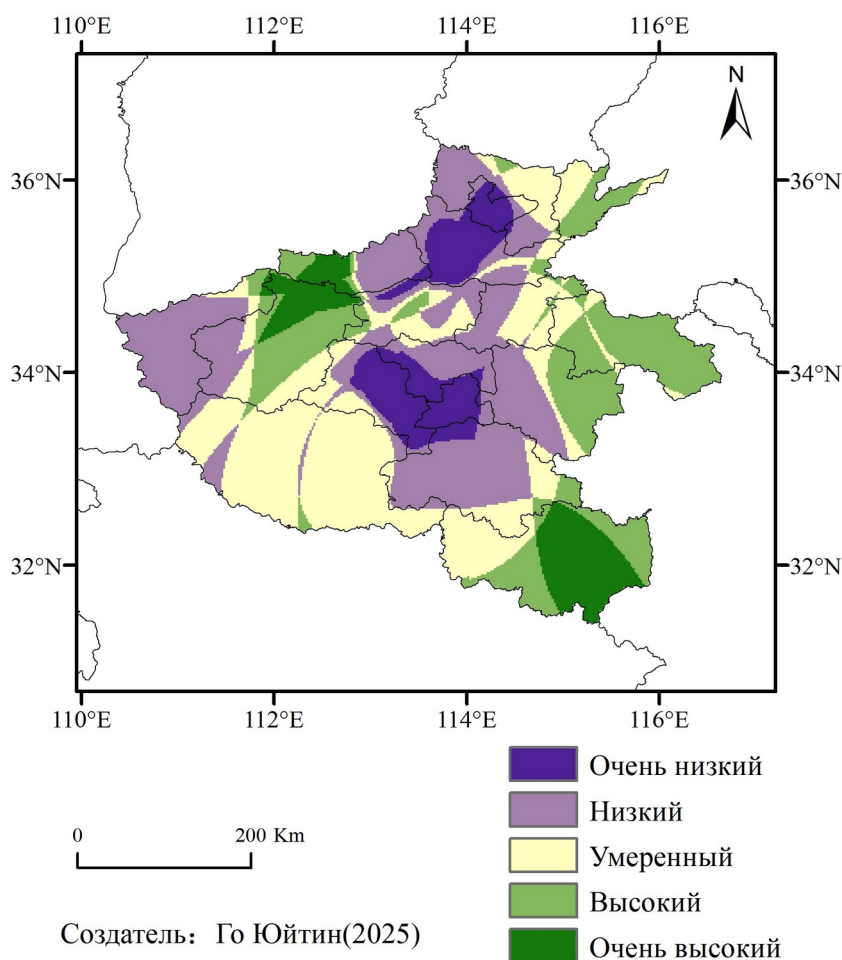


Рисунок 7 - Комплексная оценка пригодности метеорологических условий для сельскохозяйственного производства в провинции Хэнань
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.74.15.8>

Равное взвешивание делает вклад трех факторов прозрачным: снижение одного частного индекса на один балл уменьшает CSI на 0,33 балла. Вместе с тем компенсационный характер среднего значения означает, что высокий балл по одному фактору может частично скрыть сильное ограничение по другому. Поэтому итоговую карту необходимо анализировать совместно с картами отдельных показателей.

Таблица 2 - Количественный размах агроклиматических показателей в провинции Хэнань

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.74.15.9>

Показатель	Минимум	Максимум	Амплитуда	max/min
Тепловые ресурсы $T, ^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$	4891,6	6497,7	1606,1	1,33
Солнечное сияние $S, \text{ч/сут}$	4,82	5,83	1,01	1,21
Коэффициент увлажнения E	1,15	3,39	2,24	2,95

Примечание: амплитуда рассчитана как разность максимального и минимального значений; отношение max/min показывает кратность пространственного контраста



Обсуждение

4.1. Сопоставление с результатами других исследований

Выявленные градиенты в целом соответствуют опубликованным данным по Хэнани и равнине Хуанхэ-Хуайхэ-Хайхэ. Для летней кукурузы ранее показано уменьшение световых ресурсов с севера на юг и увеличение неравномерности водообеспеченности [4]. Для системы озимая пшеница — летняя кукуруза установлено, что температура и осадки должны оцениваться совместно, поскольку достаточное тепло не компенсирует водный дефицит [2]. Исследование фенологии кукурузы в Хэнани также определило температуру и осадки как основные факторы погодной изменчивости урожая [5].

Полученный CSI описывает не пригодность конкретной культуры, а общий метеорологический фон. В специализированных моделях пороги температуры, радиации и воды задаются по фазам развития и объединяются функциями принадлежности или биофизическими зависимостями [3], [5]. Глобальные оценки пригодности дополнительно учитывают почву, рельеф и возможность орошения [13]. Поэтому настоящая карта должна использоваться как первый уровень районирования, после которого требуется отдельная оценка для озимой пшеницы, летней кукурузы, риса, хлопчатника или других культур.

4.2. Практическая интерпретация

В центральных и северных районах при повышенном Е приоритетными мерами являются сохранение почвенной влаги, контроль сроков полива, использование засухоустойчивых сортов и снижение непродуктивного испарения. В районах с меньшей продолжительностью солнечного сияния целесообразно учитывать густоту посева и выбирать сорта, соответствующие местному тепловому и световому режиму. На юге, где годовой баланс влаги более благоприятен, решения должны учитывать риск сезонного переувлажнения и необходимость отвода избытка воды. Эти рекомендации согласуются с общими принципами расчета водопотребления культур: потребность в орошении определяется по фазам развития и фактической эвапотранспирации, а не только по годовому отношению испарения и осадков [11].

Для регионального управления полезно совмещать карту CSI с границами посевов, почвенными картами, цифровой моделью рельефа и данными об оросительной инфраструктуре. Такая интеграция позволит отделить климатические ограничения от ограничений, которые можно уменьшить агротехническими мерами. При обновлении оценки следует рассчитывать индекс по скользящим 30-летним периодам, поскольку пригодность территории меняется вместе с климатом [13], [14].

4.3. Систематические смещения ERA5 в условиях сложного рельефа западной части провинции

Особое внимание при интерпретации карт следует уделять западной части провинции, где горные массивы Фунюшань и Сюньэршань формируют резкие высотные градиенты. Пространственное разрешение ERA5 0,25° сглаживает локальные орографические контрасты, поэтому высота модельной ячейки может отличаться от фактической высоты станции или сельскохозяйственного участка. Если высота ячейки ниже высоты участка, приземная температура может быть систематически завышена; при обратном соотношении возможно ее занижение. Для осадков и связанных с ними характеристик увлажнения сглаживание рельефа способно ослаблять наветренные максимумы и подветренные минимумы, а параметризация конвекции — искажать интенсивность сильных событий. Следовательно, локальные экстремумы западной зоны могут быть представлены менее контрастно, чем в действительности.

Этот вывод согласуется с общекитайской проверкой ERA5: для годовых и сезонных сумм осадков получены коэффициенты корреляции 0,796–0,945, однако отмечено летнее завышение осадков и ухудшение согласия с наблюдениями по мере увеличения высоты и сложности рельефа [15]. В независимой оценке ERA5-Land для гор Цилинь температурное смещение составляло от –5,6 до 1,6 °C, средняя RMSE — 2,2 °C, а различие высот сеточной ячейки и станции объясняло 53,5% вариации смещения [16]. Эти численные оценки характеризуют другой горный регион и не используются как поправочные коэффициенты для Хэнани; они подтверждают механизм возникновения орографически обусловленной погрешности. Поэтому для западной части провинции карты настоящего исследования следует трактовать прежде всего как относительное районирование. При последующем уточнении необходимы попарная проверка «станция — ячейка» с расчетом Bias, MAE и RMSE по высотным поясам, температурная поправка по разности высот и отдельная коррекция распределения осадков.

4.4. Ограничения исследования

Первое ограничение связано с пространственной неоднородностью исходных данных. После контроля полноты использованы 42 станции, а значения солнечного сияния и испарения получены из реанализа; точность карт может снижаться в горах и на удалении от пунктов наблюдений. Второе ограничение — отсутствие независимой проверки интерполяции и итогового индекса по урожайности. Без средних ошибок кригинга и анализа чувствительности нельзя количественно оценить неопределенность границ классов.

Третье ограничение определяется набором факторов. CSI не включает экстремальные температуры, продолжительность засух, интенсивные осадки, влажность почвы, ветер, заморозки, почвенное плодородие, рельеф и орошение. Четвертое ограничение состоит в равных весах и компенсационном объединении показателей. В дальнейшей работе веса следует определять отдельно для культур и фаз развития, а результаты проверять по многолетним данным урожайности. Для оценки засух целесообразно дополнительно использовать SPEI или комплексные индексы, в которых осадки сопоставляются с потенциальной эвапотранспирацией [17].

Заключение

По данным 42 станций за 1995–2024 гг. установлены количественные пределы пространственной изменчивости основных агроклиматических ресурсов Хэнани. Сумма средней суточной температуры составляет 4891,6–6497,7 °C·сут (амплитуда 1606,1 °C·сут; отношение максимума к минимуму 1,33), средняя продолжительность солнечного



сияния — 4,82–5,83 ч/сут (амплитуда 1,01 ч/сут; отношение 1,21), коэффициент увлажнения — 1,15–3,39 (амплитуда 2,24; отношение 2,95). Наибольший пространственный контраст, следовательно, связан с обеспеченностью влагой.

Комплексный индекс CSI выделяет наиболее благоприятное сочетание тепла, света и влаги в западной и центральной частях провинции и менее благоприятное — в восточных и северо-восточных районах. При равных весах снижение любого частного показателя на один балл уменьшает CSI на 0,33 балла. Это количественно подтверждает лимитирующую роль отдельного ресурса: высокий тепловой потенциал востока не компенсирует менее благоприятную структуру увлажнения.

Полученное районирование может использоваться для дифференциации сроков полевых работ, выбора культур и приоритетов мелиорации. Вместе с тем в горной западной части значения, основанные на ERA5, следует рассматривать как относительную пространственную характеристику из-за сглаживания рельефа и возможного расхождения высоты сеточной ячейки с высотой участка. Для перехода к локальным производственным нормативам необходимы станционная верификация и коррекция смещений по высотным поясам; для востока приоритетными остаются влагосберегающие технологии и регулирование стока, для запада — противоэрозионные меры и учет экспозиции склонов.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. National Bureau of Statistics of China. Bulletin on the National Grain Production in 2024. — 2024. — URL: https://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/202412/t20241219_1957784.html (accessed: 04.09.2026).
2. Tuan N.T. Temperature and precipitation suitability evaluation for the winter wheat and summer maize cropping system in the Huang-Huai-Hai Plain of China / N.T. Tuan // *Journal of Integrative Agriculture*. — 2011. — Vol. 10. — DOI: 10.1016/S1671-2927(11)60005-9.
3. He Q.j. The climatic suitability for maize cultivation in China / Q.j. He // *Chinese Science Bulletin*. — 2012. — 57. — DOI: 10.1007/s11434-011-4807-2.
4. Li S.Y. Change of agricultural climate resources in Henan Province during the summer maize growing season / S.Y. Li, W.S. Fang, Z.H. Ma // *Journal of Henan Agricultural Sciences*. — 2012. — Vol. 41, № 7. — P. 21–26.
5. Zhang N. Responses and sensitivities of maize phenology to climate change from 1971 to 2020 in Henan Province, China / N. Zhang // *PLoS ONE*. — 2022. — Vol. 17. — DOI: 10.1371/journal.pone.0262289.
6. Luo D. Spatiotemporal evolution analysis and prediction of drought in Henan Province based on standardized precipitation evapotranspiration index / D. Luo // *Water Supply*. — 2023. — 23. — DOI: 10.2166/ws.2022.443.
7. National Meteorological Information Centre of China. China Meteorological Data Service Centre. — URL: <http://data.cma.cn/> (accessed: 04.09.2026).
8. Copernicus Climate Change Service. ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. — Climate Data Store. — DOI: 10.24381/cds.adbb2d47 (accessed: 04.09.2026).
9. Hersbach H. The ERA5 global reanalysis / H. Hersbach // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. — 2020. — 146. — DOI: 10.1002/qj.3803.
10. World Meteorological Organization. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. — Geneva: WMO, 2017. — WMO-No. 1203. — 29 p.
11. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. — Rome: FAO, 1998. — URL: <https://www.fao.org/4/X0490E/x0490e00.htm> (accessed: 12.09.2025).
12. Isaaks E.H An Introduction to Applied Geostatistics / E.H Isaaks. — New York: 0195050134, 1989. — 561 p.
13. Zabel F. Global agricultural land resources — a high resolution suitability evaluation and its perspectives until 2100 under climate change conditions / F. Zabel // *PLoS ONE*. — 2014. — Vol. 9. — DOI: 10.1371/journal.pone.0107522.
14. Haggerty E. Climate change impacts on agricultural suitability in Rio Grande do Sul, Brazil / E. Haggerty // *Environments*. — 2025. — Vol. 12. — DOI: 10.3390/environments12070222.
15. Vicente-Serrano S.M. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index / S.M. Vicente-Serrano // *Journal of Climate*. — 2010. — 23. — DOI: 10.1175/2009JCLI2909.1.
16. Zhao P. A first evaluation of ERA5-Land reanalysis temperature product over the Chinese Qilian Mountains / P. Zhao // *Frontiers in Earth Science*. — 2022. — 10. — DOI: 10.3389/feart.2022.907730
17. Vicente-Serrano S.M. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index / S.M. Vicente-Serrano // *Journal of Climate*. — 2010. — 23. — P. 1696–1718. — DOI: 10.1175/2009JCLI2909.1

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. National Bureau of Statistics of China. Bulletin on the National Grain Production in 2024. — 2024. — URL: https://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/202412/t20241219_1957784.html (accessed: 04.09.2026).
2. Tuan N.T. Temperature and precipitation suitability evaluation for the winter wheat and summer maize cropping system in the Huang-Huai-Hai Plain of China / N.T. Tuan // *Journal of Integrative Agriculture*. — 2011. — Vol. 10. — DOI: 10.1016/S1671-2927(11)60005-9.
3. He Q.j. The climatic suitability for maize cultivation in China / Q.j. He // *Chinese Science Bulletin*. — 2012. — 57. — DOI: 10.1007/s11434-011-4807-2.
4. Li S.Y. Change of agricultural climate resources in Henan Province during the summer maize growing season / S.Y. Li, W.S. Fang, Z.H. Ma // *Journal of Henan Agricultural Sciences*. — 2012. — Vol. 41, № 7. — P. 21–26.
5. Zhang N. Responses and sensitivities of maize phenology to climate change from 1971 to 2020 in Henan Province, China / N. Zhang // *PLoS ONE*. — 2022. — Vol. 17. — DOI: 10.1371/journal.pone.0262289.
6. Luo D. Spatiotemporal evolution analysis and prediction of drought in Henan Province based on standardized precipitation evapotranspiration index / D. Luo // *Water Supply*. — 2023. — 23. — DOI: 10.2166/ws.2022.443.
7. National Meteorological Information Centre of China. China Meteorological Data Service Centre. — URL: <http://data.cma.cn/> (accessed: 04.09.2026).
8. Copernicus Climate Change Service. ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. — Climate Data Store. — DOI: 10.24381/cds.adbb2d47 (accessed: 04.09.2026).
9. Hersbach H. The ERA5 global reanalysis / H. Hersbach // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. — 2020. — 146. — DOI: 10.1002/qj.3803.
10. World Meteorological Organization. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. — Geneva: WMO, 2017. — WMO-No. 1203. — 29 p.
11. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. — Rome: FAO, 1998. — URL: <https://www.fao.org/4/X0490E/x0490e00.htm> (accessed: 12.09.2025).
12. Isaaks E.H An Introduction to Applied Geostatistics / E.H Isaaks. — New York: 0195050134, 1989. — 561 p.
13. Zabel F. Global agricultural land resources — a high resolution suitability evaluation and its perspectives until 2100 under climate change conditions / F. Zabel // *PLoS ONE*. — 2014. — Vol. 9. — DOI: 10.1371/journal.pone.0107522.
14. Haggerty E. Climate change impacts on agricultural suitability in Rio Grande do Sul, Brazil / E. Haggerty // *Environments*. — 2025. — Vol. 12. — DOI: 10.3390/environments12070222.
15. Vicente-Serrano S.M. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index / S.M. Vicente-Serrano // *Journal of Climate*. — 2010. — 23. — DOI: 10.1175/2009JCLI2909.1.
16. Zhao P. A first evaluation of ERA5-Land reanalysis temperature product over the Chinese Qilian Mountains / P. Zhao // *Frontiers in Earth Science*. — 2022. — 10. — DOI: 10.3389/feart.2022.907730
17. Vicente-Serrano S.M. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index / S.M. Vicente-Serrano // *Journal of Climate*. — 2010. — 23. — P. 1696–1718. — DOI: 10.1175/2009JCLI2909.1