UDC 528.94:551.58
DOI:10.30533/GiA-2026-005

CC BY

Mapping Climatic Conditions for Agriculture in the Congo River Basin

Lionel Guemdjo[1] ✉, **Gleb I. Zagrebin**[1]

[1] Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
✉ lionelguemdjo@gmail.com

citation Guemdjo Lionel, Zagrebin GI. Mapping Climatic Conditions for Agriculture in the Congo River Basin. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying.* 2026;70(1): 77–90. DOI:10.30533/GiA-2026-005.

keywords agroclimatic zoning, Congo River Basin, climate risk, GIS mapping, remote sensing, reanalysis, precipitation, temperature

abstract This paper proposes a GIS-based framework for mapping climatic conditions relevant to agriculture in the Congo River Basin, where sparse in situ observations and strong convective variability complicate agroclimatic assessment. We discuss key challenges (data gaps, product inconsistencies, validation constraints and scale effects) and outline a multi-source workflow that harmonizes air temperature, precipitation and derived agroclimatic indicators to a common baseline (1991–2020). The approach combines satellite precipitation estimates, analysis products and high-resolution climatologies; uncertainty is quantified through inter-product comparison and cross-validation against available stations. Using Köppen-Geiger classes, aridity and rainfall seasonality metrics, we delineate major agroclimatic zones and identify hotspots of drought, excessive wetness and heat stress. The resulting map set, integrated with soils, terrain and settlement layers, provides an operational basis for climate-risk screening and subsequent natural-hazard mapping to support agricultural planning. Future work is linked to higher-frequency datasets, regional climate modeling and machine-learning downscaling to better represent local gradients and extremes.

references

1. Creese A, Washington R, Jones R. Climate Change in the Congo Basin: Processes Related to Wetting in the December – February Dry Season. *Climate Dynamics.* 2019;53: 3583–3602. DOI:10.1007/s00382-019-04728-x.
2. Worden S, Fu R, Chakraborty S, et al. Where Does Moisture Come from over the Congo Basin? *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences.* 2021;126(8): e2020JG006024. DOI:10.1029/2020JG006024.

3. Cook KH, Liu Y, Vizy EK. Congo Basin Drying Associated with Poleward Shifts of the African Thermal Lows. ***Climate Dynamics.*** 2020;54: 863–883. DOI:10.1007/s00382-019-05033-3.
4. Vizy EK, Manoj H, Cook KH. Is the Climate of the Congo Basin Becoming Less Able to Support a Tropical Forest Ecosystem? ***Journal of Climate.*** 2023;36(23): 8171–8193. DOI:10.1175/JCLI-D-23-0275.1.
5. Funk C, Peterson P, Landsfeld M, et al. The Climate Hazards Infrared Precipitation with Stations – A New Environmental Record for Monitoring Extremes. ***Scientific Data.*** 2015;2: 150066. DOI:10.1038/sdata.2015.66.
6. Muñoz-Sabater J, Dutra E, Agustí-Panareda A, et al. ERA5-Land: A State-of-the-Art Global Reanalysis Dataset for Land Applications. ***Earth System Science Data.*** 2021;13(9): 4349–4383. DOI:10.5194/essd-13-4349-2021.
7. Fick SE, Hijmans RJ. WorldClim 2: New 1-Km Spatial Resolution Climate Surfaces for Global Land Areas. ***International Journal of Climatology.*** 2017;37(12): 4302–4315. DOI:10.1002/joc.5086.
8. Beck HE, Zimmermann NE, McVicar TR, et al. Present and Future Köppen-Geiger Climate Classification Maps at 1-km Resolution. ***Scientific Data.*** 2018;5: 180214. DOI:10.1038/sdata.2018.214.
9. Hengl T, Mendes de Jesus J, Heuvelink GBM, et al. SoilGrids250m: Global Gridded Soil Information Based on Machine Learning. ***PLoS One.*** 2017;12(2): e0169748. DOI:10.1371/journal.pone.0169748.
10. Tatem AJ. WorldPop, Open Data for Spatial Demography. ***Scientific Data.*** 2017;4: 170004. DOI:10.1038/sdata.2017.4.
11. Lehner B, Verdin K, Jarvis A. New Global Hydrography Derived from Spaceborne Elevation Data. ***Eos, Transactions, American Geophysical Union.*** 2008;89(10): 93–94. DOI:10.1029/2008EO100001.
12. Lehner B, Grill G. Global River Hydrography and Network Routing: Baseline Data and New Approaches to Study the World's Large River Systems. ***Hydrological Processes.*** 2013;27(15): 2171–2186. DOI:10.1002/hyp.9740.
13. Hansen MC, Potapov PV, Moore R, et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. ***Science.*** 2013;342(6160): 850–853. DOI:10.1126/science.1244693.
14. Tyukavina A, Hansen MC, Potapov PV, et al. Congo Basin Forest Loss Dominated by Increasing Smallholder Clearing. ***Science Advances.*** 2018;4(11): eaat2993. DOI:10.1126/sciadv.aat2993.
15. Curtis PG, Slay CM, Harris NL, et al. Classifying Drivers of Global Forest Loss. ***Science.*** 2018;361(6407): 1108–1111. DOI:10.1126/science.aau3445.
16. Malczewski J. GIS-Based Multicriteria Decision Analysis: A Survey of the Literature. ***International Journal of Geographical Information Science.*** 2006;20(7): 703–726. DOI:10.1080/13658810600661508.
17. Saaty TL. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. ***International Journal of Services Sciences.*** 2008;1(1): 83–98. DOI:10.1504/IJSSCI.2008.017590.
18. Osipov AG, Dmitriev VV, Kovyazin VF. Metodika otsenki i kartografirovaniya prirodno-agrarnogo potentsiala landshaftov [Methods of Assessing and Mapping the Natural and Agricultural Potential of Landscapes]. ***Geodesy and Cartography.*** 2021;9: 11–20. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2021-975-9-11-20.
19. Kovyazin VF, Dang Thi Lan Anh, Dang Viet Hung. Razrabotka kart sostoyaniya zemel'nykh ugodiy natsional'nogo parka Tram Chim (V'etnam) po rezul'tatam monitoringa [Developing Land-State Maps of Tram Chim National Park in Vietnam Based on Monitoring Results]. ***Geodesy and Cartography.*** 2020;9: 53–64. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2020-963-9-53-64.
20. Golovin PN, Bogdanov VL. Primenenie GIS-tekhnologiy dlya otsenki i povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya sel'skokhozyaystvennykh zemel' v agrolandshaftakh na osnove distantsionnykh i polevykh dannykh [Application of GIS Technologies to Assess and Improve the Efficiency of Agricultural Land Use in Agro-Landscapes Based on Remote and Field Data]. ***Vestnik SSUGT.*** 2024;29(1): 73–87. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-1-73-87.

authors

Lionel Guemdjo
Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Cartography, Faculty of Cartography
0009-0004-4766-9569

Gleb I. Zagrebin
Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Cartography, Faculty of Cartography
PhD in Engineering
0000-0002-8313-5706

Submitted: January 22, 2026. Accepted: February 20, 2026. Published: February 27, 2026.

УДК 528.94:551.58
DOI:10.30533/GiA-2026-005

CC BY

Картографирование климатических условий для сельского хозяйства в бассейне реки Конго

Лионель Гемджо[1] ✉, **Г.И. Загребин**[1]

[1] Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия
✉ lionelguemdjo@gmail.com

цитирование Гемджо Лионель, Загребин Г.И. Картографирование климатических условий для сельского хозяйства в бассейне реки Конго // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 1. С. 77–90. DOI:10.30533/GiA-2026-005.

ключевые слова агроклиматическое зонирование, бассейн реки Конго, климатический риск, геоинформационное картографирование, дистанционное зондирование, реанализ, осадки, температура

аннотация В статье систематизированы ключевые проблемы климатического картографирования для сельского хозяйства бассейна реки Конго и предложена воспроизводимая технология построения серии агроклиматических карт, пригодных для последующей интеграции в модели риска. Рассматриваются основные проблемы: дефицит и неоднородность метеоданных, сложность валидации продуктов реанализа и спутниковых оценок осадков, влияние рельефа и лесного покрова на конвекцию, а также требования к сопоставимости климатических индикаторов для разных агросистем. Предложена схема формирования базы климатических переменных (температура воздуха, осадки, влажностные индексы, длительность вегетационного периода), их нормализация к единому периоду (1991–2020 годы), оценка неопределенности путем межпродуктового сравнения и перекрестной проверки по доступным станциям. На основе классификации Кёппена — Гейгера, индексов засушливости и сезонности осадков выделены ключевые агроклиматические зоны и очаги климатических рисков (засуха, переувлажнение, тепловой стресс). Показано, что совмещение климатических карт с данными о почвах, рельефе и расселении создает основу для последующей оценки природных рисков и поддержки принятия решений в землепользовании.

1 Введение

Бассейн реки Конго — один из ключевых природно-ресурсных регионов Тропической Африки в экваториальной зоне, где сельское хозяйство опирается преимущественно на дождевое увлажнение и чувствительно к межгодовой изменчивости осадков, сезонности и экстремальным температурам[1,2,3]. На фоне глобального потепления для региона усиливается сочетание таких рисков, как засуха и переувлажнение, рост частоты теплового стресса, смещение сроков начала сезонов дождей и повышение неопределенности агротехнологических решений[1,2].

Для бассейна реки Конго характерна высокая конвективная изменчивость и выраженная роль лесного покрова во влагообороте, что затрудняет интерпретацию трендов и согласование различных климатических продуктов [1–4]. Даже при наличии спутниковых снимков на разные даты и реанализа остаются такие проблемы, как пространственная неоднородность, неточность оценки осадков вблизи горных систем, нехватка наземных наблюдений для проверки [1–3].

В этих условиях особое значение приобретает геоинформационное картографирование климатических условий как связующее звено между климатологическими данными и задачами территориального планирования, агроэкологической оценки и управления природными рисками. Цель настоящей работы — систематизировать ключевые проблемы климатического картографирования для сельского хозяйства бассейна реки Конго и предложить воспроизводимую технологию построения серии агроклиматических карт, пригодных для последующей интеграции в модели риска.

2 Материалы и методы

2.1 Территория исследования

Бассейн реки Конго охватывает экваториальные и субэкваториальные ландшафты Центральной Африки и включает низменные области, плато и горные окраины (в том числе Восточно-Африканское плоскогорье). Климатические условия определяются взаимодействием атлантического муссона, внутриконтинентальной конвекции и сезонной миграции межтропической зоны конвергенции [1–4]. Внутрирегиональные контрасты проявляются в различиях годовых сумм осадков, длительности влажных и сухих сезонов, а также температурных градиентах, связанных с высотой и облачностью.

Площадь бассейна реки Конго превышает 3,6 млн км^2, поэтому определение границ водосборного бассейна только картографическим методом затруднительно. В работе применен метод геоинформационного анализа построения полигонов водосбора рек по цифровой модели рельефа. Верификация (и при необходимости уточнение) границ проводилась по картографическим материалам. За основу были взяты глобальные границы водосборов, полученные на базе данных HydroBASINS с разрешением 15″, что соответствует примерно 500 м на экваторе.

1 Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. 2391 p.

2 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. 3056 p.

3 The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Repurposing Food and Agricultural Policies to Make Healthy Diets More Affordable / FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO. Rome: FAO, 2022. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc0639en (дата обращения: 05.01.2026).

2.2 Исходные данные

Методика опирается на многофакторный подход, предусматривающий совместное использование многоспектральных спутниковых данных, продуктов реанализа и климатологических поверхностей высокого разрешения. В качестве базовых наборов были использованы:

- комплект данных об атмосферных осадках CHIRPS (*англ.* Climate Hazards Center Infrared Precipitation with Stations) — для климатического анализа, сочетающего спутниковые и наземные данные [5];
- ERA5-Land — для температуры, влажности и производных энергетического баланса [6];
- WorldClim 2 — для климатических показателей [7];
- классификация Кёппена — Гейгера — для первичного климатического зонирования [8].

Для оценки контекстных факторов применялись глобальные слои почв (SoilGrids250m) [9], населения (WorldPop) [10] и гидрографической сети / границ водосборов (HydroSHEDS / HydroBASINS) [11, 12]. Динамика лесного покрова учитывалась по продуктам глобального мониторинга лесов на базе Landsat [13–15], а биофизическое состояние растительности — по индексам растительности, которые были получены с помощью спектрорадиометра с умеренным разрешением (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)[4].

Для сопоставимости расчетов все климатические переменные приводились к единой расчетной сетке и общему референсному периоду (1991–2020 годы) с фиксацией исходных периодов и разрешения в метаданных. Качество оценок контролировалось через сравнение наборов данных (например, CHIRPS vs. ERA5-Land по осадкам) и проверку по станционным данным, когда они доступны для выбранных стран бассейна.

2.3 Технологическая схема картографирования и индикаторы

Технологическая схема включает следующие этапы:

1) сбор и гармонизацию источников;
2) приведение к единой системе координат (WGS 84) и пространственному разрешению;
3) расчет агроклиматических индикаторов;
4) классификацию и картографическое обобщение;
5) подготовку карт к публикации.

К ключевым индикаторам отнесены: годовые и сезонные суммы осадков, средние и экстремальные температуры, индексы сезонности осадков, индексы засушливости (на основе соотношения «осадки — потенциальная испаряемость»), потенциальная продолжительность вегетационного периода и вероятность теплового стресса по пороговым значениям.

Для интеграции климатических индикаторов с факторами почв, рельефа и расселения в прикладных задачах планирования предлагается применять методы пространственного многокритериального анализа (*англ.* GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis, GIS-MCDA), включая аналитическую иерархическую процедуру для обоснования весов критериев [16, 17]. Соответствующие подходы демонстрируют эффективность в задачах оценки пригодности земель и природно-аграрного потенциала при использовании геоинформационных технологий [18–20].

4 Huete A., Didan K., Miura T., et al. Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices // Remote Sensing of Environment. 2002. Vol. 83. Iss. 1–2. P. 195–213.

3 Результаты

Была создана серия карт, отражающая пространственную структуру климатических условий бассейна реки Конго и значимых для сельского хозяйства индикаторов. Карты подготовлены в едином картографическом стиле и масштабе. Помимо карт составлены наборы данных, включающие векторные слои с общегеографической информацией, а также тематические статистические поверхности по всем исследуемым показателям.

Первичное климатическое районирование выполнено на основе классификации Кёппена — Гейгера с уточнением границ по сезонности осадков и температурным условиям. Это позволяет выделять зоны с различной вероятностью ограничений по влаге и теплу, а также формировать основу для агроклиматического зонирования.

Согласно классификации Кёппена — Гейгера и с учетом ранее изложенных положений, в пределах Центральной Африки (включая бассейн реки Конго) выделяются следующие основные типы климата:

- Af — экваториальный влажный;
- Am — тропический муссонный;
- Aw — тропический с сухой зимой (саванновый);
- BSh — полузасушливый (степной) жаркий;
- BWh — засушливый (пустынный) жаркий;
- Cwa — умеренно теплый с сухой зимой и жарким летом;
- Cwb — умеренно теплый с сухой зимой и теплым летом.

Пространственное распределение указанных типов климата за период с 1991 по 2020 год отражено на рис. 1 [8].

Для получения тематических статистических поверхностей использовался инструмент Google Earth Engine, позволяющий получать данные дистанционного зондирования из общей базы космических снимков, обрабатывать их и экспортировать полученные результаты в формате GeoTIFF. Поля осадков и их сезонность рассчитаны на основе набора данных CHIRPS и сопоставлены с реанализом ERA5-Land. Технологическая схема расчета среднегодового количества осадков с 1991 по 2020 год по данным CHIRPS со скриптами представлена на рис. 2.

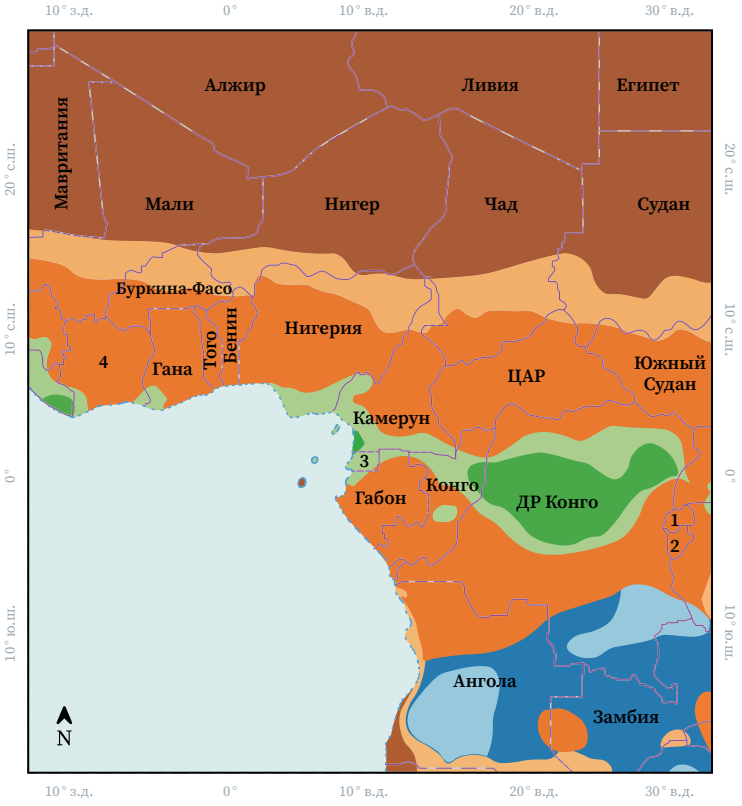


Рис. 1
Климатические типы по Кёппену — Гейгеру в бассейне р. Конго (референсный период — 1991–2020 гг.)

Fig. 1
Köppen – Geiger climate classes in the Congo River basin (baseline 1991–2020)

Условные обозначения

- Af
- Am
- Aw
- BWh
- BSh
- Cwa
- Cwb

1 Руанда
2 Бурунди
3 Экваториальная Гвинея
4 Кот-д'Ивуар

Масштаб 1 : 13 000 000

Рис. 2
Технологическая схема расчета среднегодового количества осадков с 1991 по 2020 г. по данным CHIRPS

Fig. 2
Technological scheme for calculating the average annual precipitation from 1991 to 2020 according to CHIRPS data

1 Определение периода (1991–2020 гг.). Устанавливается временное окно, формируются списки лет (1991… 2020) и месяцев (1… 12)

```
var startYear = 1991;
var endYear = 2020;
var startDate = ee.Date.fromYMD(startYear, 1, 1);
var endDate = ee.Date.fromYMD(endYear + 1, 1, 1);
var years = ee.List.sequence(startYear, endYear);
var months = ee.List.sequence(1, 12);
```

2 Загрузка CHIRPS и фильтрация по периоду. Загружается коллекция CHIRPS DAILY и фильтруется по датам. Выбирается полоса precipitation (мм/сут)

```
var chirps = ee.ImageCollection('UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY')
.filterDate(startDate, endDate)
.select('precipitation');
```

3 Суточные → месячные суммы (мм/месяц). Для каждой пары «год — месяц» суммируются суточные значения внутри месяца, получаются месячные итоги

```
var monthlyByYM = ee.ImageCollection.fromImages(
years.map(function(y){
y = ee.Number(y);
return months.map(function(m){
m = ee.Number(m);
var d1 = ee.Date.fromYMD(y, m, 1);
var d2 = d1.advance(1, 'month');
var monthSum = chirps.filterDate(d1, d2).sum()
.rename('P')
.set({
'year': y,
'month': m,
'system:time_start': d1.millis()
});
return monthSum;
});
}).flatten()
);
```

4 Годовые итоги (мм/год). Для каждого года суммируются 12 месячных слоев, получается годовая сумма осадков

```
var annualTotals = ee.ImageCollection.fromImages(
years.map(function(y){
y = ee.Number(y);
var annual = monthlyByYM.filter(ee.Filter.eq('year', y)).sum()
.rename('P_annual')
.set({
'year': y,
'system:time_start': ee.Date.fromYMD(y, 1, 1).millis()
});
return annual;
})
);
```

5 Среднее за 1991–2020 гг. (MAP), мм/год. Усредняются годовые суммы: annualTotals.mean() → MAP, ограничивается область исследования (clip)

```
var MAP = annualTotals.mean()
.rename('MAP_mm_yr')
.clip(roi);
```

6 Визуализация. Добавляется слой MAP на карту (Map.addLayer), задаются параметры отображения (min/max, подпись)

```
Map.addLayer(MAP, {min: 0, max: 3000}, 'Mean annual precipitation (mm/yr), 1991–2020');
```

7 Экспорт. Экспортируется результат (например, GeoTIFF) в Google Drive: region, crs=EPSG:4326, scale, maxPixels

```
Export.image.toDrive({
image: MAP,
description: 'CHIRPS_MAP_1991_2020_mm_yr_CongoBasin',
region: roi,
crs: 'EPSG:4326',
scale: 5566,
maxPixels: 1e13
});
```

Выявлены контрасты между влажными экваториальными районами центральной части бассейна и более сухими периферийными областями, где повышается риск засухи и задержек начала сезона дождей. Полученная статистическая поверхность, содержащая информацию о среднегодовом количестве осадков в мм в каждой ячейке размером 5×5 км, представлена на рис. 3. Остальные тематические слои получены аналогичным способом и приводятся далее.

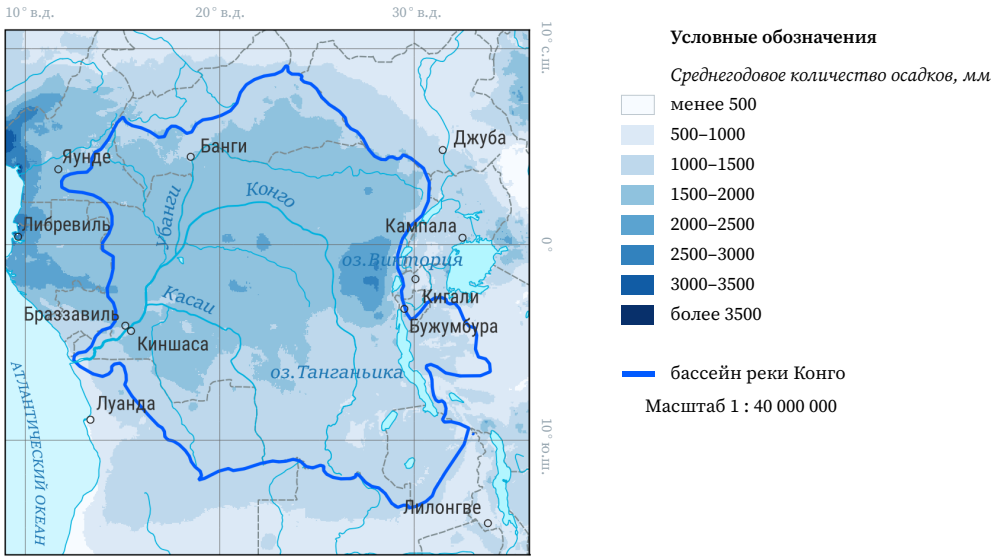


Рис. 3
Среднегодовое количество осадков в бассейне р. Конго (CHIRPS, 1991–2020 гг.)

Fig. 3
Mean annual precipitation in the Congo River basin (CHIRPS, 1991–2020)

Индекс сезонности осадков (индекс сезонности Уолша и Лоулера[5]; CHIRPS, среднее за 1991–2020 годы) (рис. 4) — безразмерный показатель, который отражает, насколько равномерно осадки распределены в течение года или, наоборот, насколько они сосредоточены в нескольких месяцах (чем выше значение, тем более выражен сезон дождей). Низкие значения (≈ 0–0,19) указывают на достаточно равномерные осадки в течение всего года; 0,20–0,39 — в целом равномерное распределение с более влажным сезоном; 0,40–0,59 — преимущественно сезонный режим с коротким сухим периодом; 0,60–0,79 — сезонный режим; 0,80–0,99 — сильно выраженная сезонность осадков с длительным сухим сезоном; значения ≥ 1,00 означают, что основная часть осадков выпадает примерно за три месяца или меньше, вплоть до экстремальной сезонности при значениях выше 1,20.

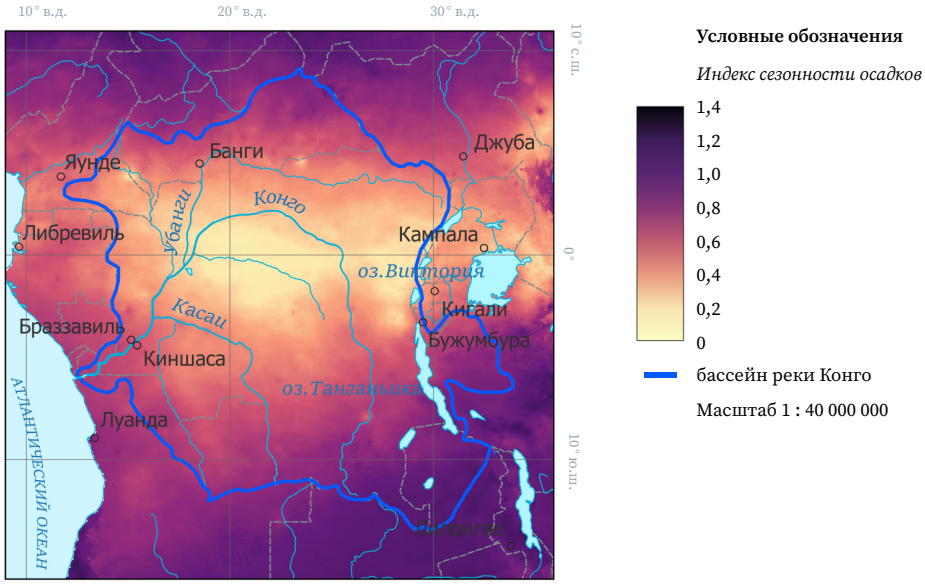


Рис. 4
Индекс сезонности осадков в бассейне р. Конго (индекс сезонности Уолша и Лоулера; CHIRPS, среднее за 1991–2020 гг.)

Fig. 4
Index rainfall seasonality in the Congo River basin (Seasonality Index of Walsh & Lawler; CHIRPS, 1991–2020)

5 Walsh R.P.D., Lawler D.M. Rainfall Seasonality: Description, Spatial Patterns and Change Through Time // Weather. 1981. Vol. 36. Iss. 7. P. 201–208.

Температурные характеристики (средние значения и показатели теплового стресса) получены по ERA5-Land с учетом высотной поправки при сопоставлении с WorldClim. Наиболее высокие среднегодовые значения температур (рис. 5) и число жарких дней в году (рис. 6) характерны для северных и южных окраин лесного массива, что согласуется с публикациями о снижении климатической пригодности для тропических лесов на периферии бассейна [3, 4]. Для оценки биофизического состояния растительности использованы нормализованный разностный вегетационный индекс (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) / улучшенный вегетационный индекс (*англ.* Enhanced Vegetation Index, EVI) (MODIS) (рис. 7) и производные показатели засушливости. Совмещение этих слоев позволяет выявлять территории, где климатические ограничения по влаге коррелируют с сезонным снижением продуктивности растительности и потенциальными рисками для агросистем. Для получения информации о засушливости использовались безоблачные снимки MODIS за 2001–2020 годы. Полученная поверхность в формате GeoTIFF с пространственным разрешением 10 км обрабатывается в геоинформационной системе (ГИС) QGIS. За основу классификации поверхности взята разработанная А.Р. Уэте и его соавторами шкала[6], указывающая на типы аридности (рис. 8).

Рис. 5
Средняя годовая температура в бассейне р. Конго за 1991–2020 гг.

Fig. 5
Mean air temperature in the Congo River basin, 1991–2020

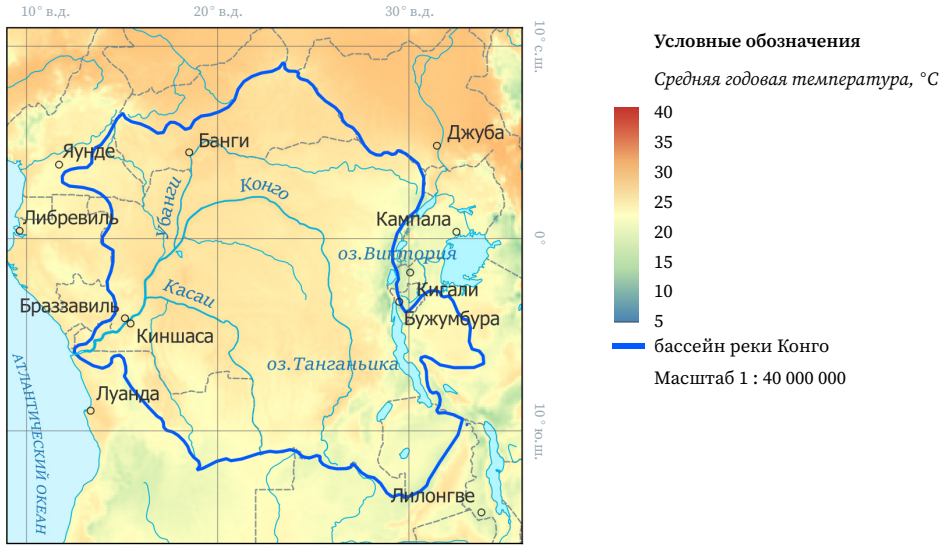
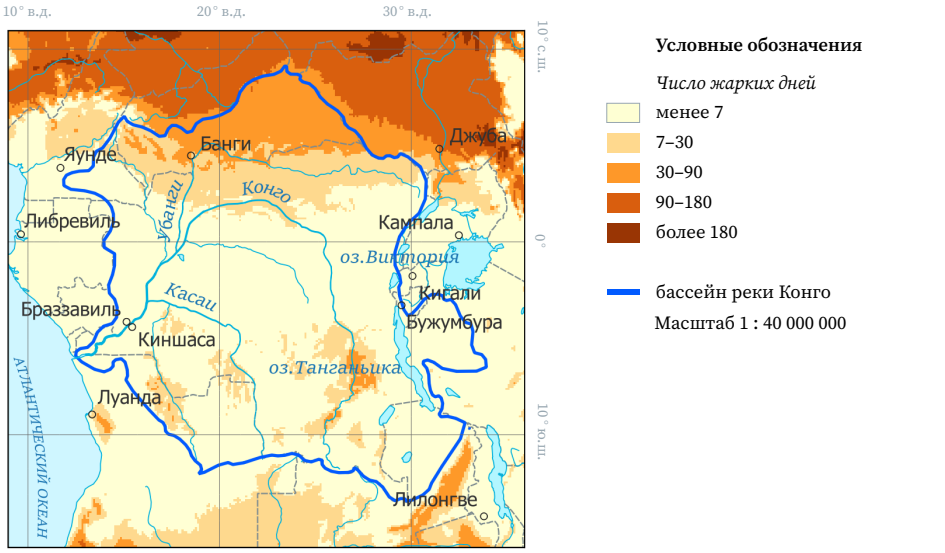


Рис. 6
Среднегодовое число жарких дней в бассейне р. Конго за 1991–2020 гг.

Fig. 6
Number of hot days in the Congo River basin, annual average for 1991–2020



6 Huete A., Didan K., Miura T., et al. Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices // Remote Sensing of Environment. 2002. Vol. 83. Iss. 1–2. P. 195–213.

Рис. 7
Растительный покров в бассейне р. Конго по NDVI за 1991–2020 гг.

Fig. 7
Vegetation cover in the Congo River basin on NDVI for 1991–2020

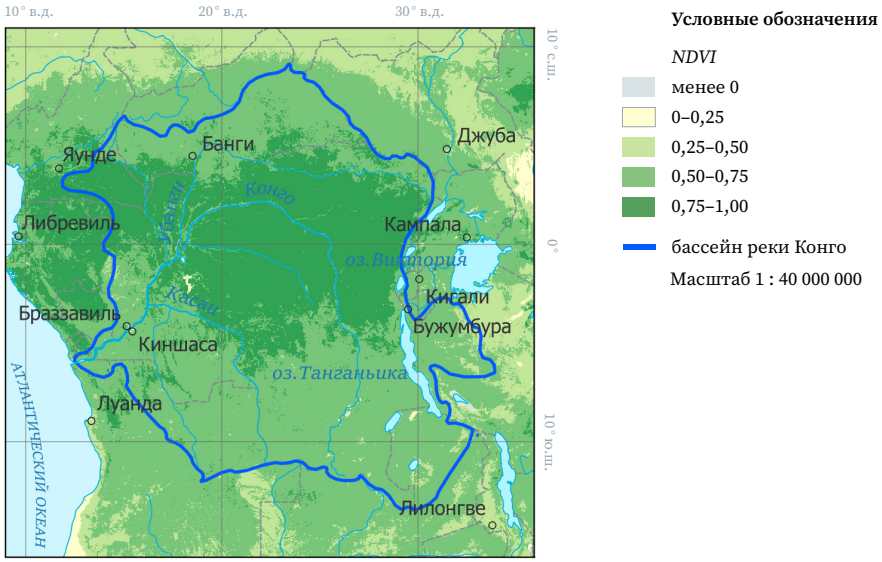
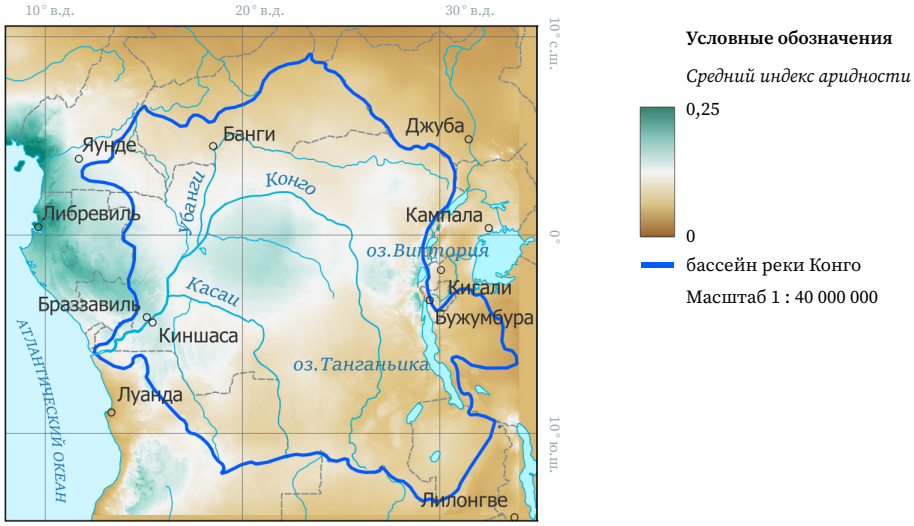


Рис. 8
Средний индекс аридности (P/PET) в бассейне р. Конго за 1991–2020 гг.

Fig. 8
Integrated aridity / wetness indicators (P/PET) in the Congo River basin for 1991–2020



Полученные тематические статистические поверхности требуют дополнительной обработки для нахождения площадей, занятых тем или иным типом поверхности. На рис. 9 представлена схема получения информации о площадях по типам (классам) поверхности / аридности.

В табл. 1 приводится информация о площадях, занятых типами поверхностями, рассчитанными по среднему значению NDVI за 1991–2020 годы в бассейне реки Конго. Из расчетов видно, что более половины бассейна реки Конго занимает густая растительность. Распределение площадей по типам аридности представлено в табл. 2.

Рис. 9
Схема получения статистических данных тематической поверхности

Fig. 9
The scheme of obtaining statistical data of a thematic surface

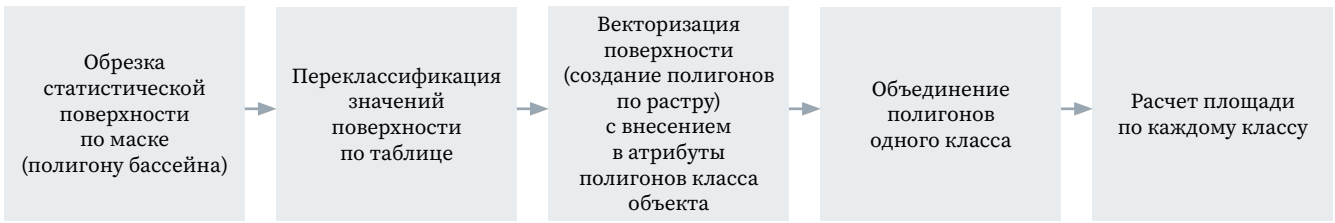


Таблица 1
Средний NDVI за 1991–2020 гг. в бассейне р. Конго

Table 1
Average NDVI for 1991–2020 in the Congo River basin

Тип поверхности	Площадь, км²	Доля в общей площади бассейна, %
Водная поверхность	6 661	0,18
Открытая почва	1 545	0,04
Разреженная растительность	111 824	3,03
Плотная растительность	1 552 321	42,08
Густая растительность	2 016 836	54,67

Таблица 2
Индекс аридности за 1991–2020 гг. в бассейне р. Конго

Table 2
Integrated aridity / wetness indicators for 1991–2020 in the Congo River basin

Индекс аридности	Площадь, км²	Доля в общей площади бассейна, %
Гипераридный	22 422	0,61
Аридный	3 666 220	99,37
Полуаридный	565	0,02
Сухой субгумидный	0	0,00
Гумидный	0	0,00

4 Обсуждение

Предложенные технологические схемы ориентированы на воспроизводимость и прозрачность, однако результаты определяются качеством исходной климатической информации и доступностью верификационных данных. Для бассейна реки Конго критичны ограниченность и неоднородность наземных наблюдений; систематические погрешности в данных по осадкам в горных областях и интенсивной конвекции; различия между реанализами и климатологическими поверхностями по температуре и влагосодержанию [1–4, 5, 6]. Следовательно, при использовании карт в приложениях необходимо сопровождать их оценкой неопределенности и проводить локальные уточнения при поступлении новых данных.

С практической точки зрения важным направлением является переход от карт средних климатических норм к картам экстремумов и событийных характеристик (продолжительность засушливых периодов, интенсивные осадки, тепловые волны), а также интеграция с картами землепользования и деградации лесов [13–15]. Это позволит лучше связать климатические риски с факторами антропогенного воздействия и адаптационными мерами.

5 Выводы

Перечислим результаты, достигнутые в ходе исследования.

1. Систематизированы ключевые проблемы климатического картографирования для сельского хозяйства бассейна реки Конго: дефицит наблюдений, неоднородность источников, сложности валидации.
2. Предложен многоисточниковый воспроизводимый ГИС-процесс, обеспечивающий гармонизацию климатических переменных к единому периоду и формирование набора агроклиматических индикаторов.
3. Создана серия карт (климатические типы, осадки и сезонность, температура и тепловой стресс, NDVI / засушливость), которая может служить базой для последующей оценки природных рисков и поддержки принятия решений.
4. Обозначены перспективы развития: переход к картографированию экстремумов, использование региональных климатических моделей и методов машинного обучения для уточнения локальных градиентов и неопределенности.

библиография

1. Creese A., Washington R., Jones R. Climate Change in the Congo Basin: Processes Related to Wetting in the December – February Dry Season // Climate Dynamics. 2019. Vol. 53. P. 3583–3602. DOI:10.1007/s00382-019-04728-x.
2. Worden S., Fu R., Chakraborty S., et al. Where Does Moisture Come from over the Congo Basin? // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2021. Vol. 126. Iss. 8. P. e2020JG006024. DOI:10.1029/2020JG006024.
3. Cook K.H., Liu Y., Vizy E.K. Congo Basin Drying Associated with Poleward Shifts of the African Thermal Lows // Climate Dynamics. 2020. Vol. 54. P. 863–883. DOI:10.1007/s00382-019-05033-3.
4. Vizy E.K., Manoj H., Cook K.H. Is the Climate of the Congo Basin Becoming Less Able to Support a Tropical Forest Ecosystem? // Journal of Climate. 2023. Vol. 36. Iss. 23. P. 8171–8193. DOI:10.1175/JCLI-D-23-0275.1.
5. Funk C., Peterson P., Landsfeld M., et al. The Climate Hazards Infrared Precipitation with Stations – A New Environmental Record for Monitoring Extremes // Scientific Data. 2015. Vol. 2. P. 150066. DOI:10.1038/sdata.2015.66.
6. Muñoz-Sabater J., Dutra E., Agustí-Panareda A., et al. ERA5-Land: A State-of-the-Art Global Reanalysis Dataset for Land Applications // Earth System Science Data. 2021. Vol. 13. Iss. 9. P. 4349–4383. DOI:10.5194/essd-13-4349-2021.
7. Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: New 1-Km Spatial Resolution Climate Surfaces for Global Land Areas // International Journal of Climatology. 2017. Vol. 37. Iss. 12. P. 4302–4315. DOI:10.1002/joc.5086.
8. Beck H.E., Zimmermann N.E., McVicar T.R., et al. Present and Future Köppen-Geiger Climate Classification Maps at 1-km Resolution // Scientific Data. 2018. Vol. 5. P. 180214. DOI:10.1038/sdata.2018.214.
9. Hengl T., Mendes de Jesus J., Heuvelink G.B.M., et al. SoilGrids250m: Global Gridded Soil Information Based on Machine Learning // PLoS ONE. 2017. Vol. 12. Iss. 2. P. e0169748. DOI:10.1371/journal.pone.0169748.
10. Tatem A.J. WorldPop, Open Data for Spatial Demography // Scientific Data. 2017. Vol. 4. P. 170004. DOI:10.1038/sdata.2017.4.
11. Lehner B., Verdin K., Jarvis A. New Global Hydrography Derived from Spaceborne Elevation Data // Eos, Transactions, American Geophysical Union. 2008. Vol. 89. Iss. 10. P. 93–94. DOI:10.1029/2008EO100001.
12. Lehner B., Grill G. Global River Hydrography and Network Routing: Baseline Data and New Approaches to Study the World's Large River Systems // Hydrological Processes. 2013. Vol. 27. Iss. 15. P. 2171–2186. DOI:10.1002/hyp.9740.
13. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013. Vol. 342. Iss. 6160. P. 850–853. DOI:10.1126/science.1244693.
14. Tyukavina A., Hansen M.C., Potapov P.V., et al. Congo Basin Forest Loss Dominated by Increasing Smallholder Clearing // Science Advances. 2018. Vol. 4. Iss. 11. P. eaat2993. DOI:10.1126/sciadv.aat2993.
15. Curtis P.G., Slay C.M., Harris N.L., et al. Classifying Drivers of Global Forest Loss // Science. 2018. Vol. 361. Iss. 6407. P. 1108–1111. DOI:10.1126/science.aau3445.
16. Malczewski J. GIS-based Multicriteria Decision Analysis: A Survey of the Literature // International Journal of Geographical Information Science. 2006. Vol. 20. Iss. 7. P. 703–726. DOI:10.1080/13658810600661508.
17. Saaty T.L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process // International Journal of Services Sciences. 2008. Vol. 1. Iss. 1. P. 83–98. DOI:10.1504/IJSSCI.2008.017590.
18. Осипов А.Г., Дмитриев В.В., Ковязин В.Ф. Методика оценки и картографирования природно-аграрного потенциала ландшафтов // Геодезия и картография. 2021. № 9. С. 11–20. DOI:10.22389/0016-7126-2021-975-9-11-20.
19. Ковязин В.Ф., Данг Тхи Лан Ань, Данг Вьет Хунг. Разработка карт состояния земельных угодий национального парка Трам Чим (Вьетнам) по результатам мониторинга // Геодезия и картография. 2020. № 9. С. 53–64. DOI:10.22389/0016-7126-2020-963-9-53-64.
20. Головин П.Н., Богданов В.Л. Применение ГИС-технологий для оценки и повышения эффективности использования сельскохозяйственных земель в агроландшафтах на основе дистанционных и полевых данных // Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29, № 1. С. 73–87. DOI:10.33764/2411-1759-2024-29-1-73-87.

авторы **Гемджо Лионель**
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра картографии, картографический факультет
0009-0004-4766-9569

Загребин Глеб Игоревич
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра картографии, картографический факультет
канд. техн. наук
0000-0002-8313-5706

Поступила 22.01.2026. Принята к публикации 20.02.2026. Опубликована 27.02.2026.