CMIP6 MA'LUMOTLARI ASOSIDA FARG'ONA VODIYSIDA HAVO HARORATI VA YOG'IN REJIMINING XXI ASRDAGI O'ZGARISHLARINI BAHOLASH

I.B. Qo'chqorova, Sh.I. Xolmatova, J.O'. Achilov
Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, O'zbekiston,
Gidrometeorologiya ilmiy-tadqiqot instituti, Toshkent, O'zbekiston,
E-mail: jahongirachilov1904@gmail.com

Annotatsiya. *Farg'ona vodiysida havo harorati va yog'in rejimining tarixiy hamda kelajakdagi o'zgarishlari CMIP6 global iqlim modellari asosida baholandi. Kelajakdagi o'zgarishlar SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 va SSP5-8.5 ssenariylari bo'yicha 2015–2100-yillar kesimida tahlil qilindi. Natijalarga ko'ra, barcha ssenariylarda havo haroratining ortishi kuzatilib, asr oxiriga borib yuqori emissiyali ssenariylarda isish sezilarli kuchayadi. Yog'in miqdorida esa yuqori yillararo va fazoviy o'zgaruvchanlik saqlanib qolishi aniqlandi.*

Kalit so'zlar: *Farg'ona vodiysi, ERA5-Land, CMIP6, SSP ssenariylari, iqlim o'zgarishi, havo harorati, yog'in miqdori, anomaliya, DEM, iqlim prognozi.*

Аннотация. *В работе оценены исторические и ожидаемые изменения температуры воздуха и режима осадков в Ферганской долине на основе данных наблюдений и глобальных климатических моделей CMIP6. Будущие изменения проанализированы на период 2015–2100 гг. по сценариям SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 и SSP5-8.5. Результаты показывают повышение температуры воздуха при всех сценариях, при этом к концу XXI века потепление существенно усиливается в условиях высоких выбросов. Для осадков установлено сохранение высокой межгодовой и пространственной изменчивости.*

Ключевые слова: *Ферганская долина, ERA5-Land, CMIP6, сценарии SSP, изменение климата, температура воздуха, осадки, аномалия, DEM, климатический прогноз.*

Abstract. *Historical and projected changes in air temperature and precipitation regime in the Fergana Valley were assessed using CMIP6 global climate model outputs. Future changes were analyzed for the period 2015–2100 under the SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, and SSP5-8.5 scenarios. The results*

indicate increasing air temperature under all scenarios, with substantially stronger warming by the end of the 21st century under high-emission pathways. Precipitation is characterized by persistent high interannual and spatial variability.

Keywords: *Fergana Valley, ERA5-Land, CMIP6, SSP scenarios, climate change, air temperature, precipitation, anomaly, DEM, climate projection.*

Kirish. Global iqlim o‘zgarishi havo harorati va yog‘in rejimining uzoq muddatli o‘zgarishlari orqali mintaqaviy iqlim sharoitlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatmoqda. Farg‘ona vodiysi murakkab geografik tuzilishi, aholi zichligi va sug‘orma dehqonchilikning rivojlanganligi sababli iqlim o‘zgarishlariga sezgir hududlardan biri hisoblanadi. Shu bois hududda kelajakdagi harorat va yog‘in o‘zgarishlarini zamonaviy iqlim modellari asosida baholash muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Mazkur tadqiqotda Farg‘ona vodiysining Andijon, Farg‘ona va Namangan viloyatlarida 1991–2014-yillardagi tarixiy iqlim sharoiti hamda XXI asr davomida CMIP6 ning SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 va SSP5-8.5 ssenariylari bo‘yicha kutilayotgan havo harorati va yog‘in o‘zgarishlari tahlil qilindi. Haroratning fazoviy taqsimotini aniqlashtirishda raqamli balandlik modeli ma’lumotlaridan foydalanildi [1-2].

Tadqiqot mavzusining dolzarbligi. Farg‘ona vodiysida havo harorati va yog‘in rejimining kelajakdagi o‘zgarishlarini baholash hududning suv resurslari, qishloq xo‘jaligi va tabiiy-geografik sharoitlari uchun muhim ahamiyatga ega. Ayniqsa, yuqori emissiyali ssenariylarda kutilayotgan isish va yog‘in taqsimotidagi o‘zgarishlar hududiy iqlim xavflarini kuchaytirishi mumkin. Shu sababli CMIP6 SSP ssenariylari asosida kelajak iqlimini baholash hamda haroratning fazoviy taqsimotini relyef ta’sirini hisobga olgan holda aniqlashtirish dolzarb ilmiy masala hisoblanadi [3].

Tadqiqot materiallari va metodikasi. Tadqiqotda Farg‘ona vodiysining Andijon, Farg‘ona va Namangan meteorologik stansiyalaridagi 1991–2024-yillar kuzatuv ma’lumotlari hamda CMIP6 global iqlim modellari natijalaridan foydalanildi. Tarixiy bazaviy davr sifatida 1991–2014-yillar qabul qilinib, kelajakdagi o‘zgarishlar SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 va SSP5-8.5 ssenariylari bo‘yicha 2015–2040, 2041–2070 va 2071–2100-yillar kesimida baholandi. Havo harorati uchun tas, yog‘in miqdori uchun pr o‘zgaruvchilari tahlil qilindi[4-5].

Haroratning fazoviy taqsimotini aniqlashtirishda raqamli balandlik modeli (DEM) qo‘llanilib, balandlik har 100 m ga oshganda haroratning 0,66 °C ga kamayishi hisobga olindi. Yog‘in oqimi kg m^{-2}/s^{-1} dan mm/kun ga o‘tkazilib, yillik

yig‘indi qiymatlar hisoblandi. Kelajak davrlari uchun harorat va yog‘in anomaliyalari 1991–2014-yillardagi bazaviy qiymatlarga nisbatan aniqlandi. Stansiyalar bo‘yicha model natijalari kuzatuv ma’lumotlari bilan taqqoslanib, ularning mosligi korrelyatsiya koeffitsienti MAE va RMSE ko‘rsatkichlari orqali baholandi.

Haroratning fazoviy taqsimotini relyef sharoitiga moslashtirishda raqamli balandlik modeli (DEM) ma’lumotlaridan foydalanildi. Haroratning vertikal gradienti 0,66 °C/100 m deb qabul qilinib, relyef bo‘yicha tuzatilgan harorat quyidagi formula asosida hisoblandi:

$$T_{DEM} = T_{CIMP6} - G(H_{DEM} - H_{model}) \quad (1)$$

bu yerda T_{DEM} - relyef bo‘yicha tuzatilgan harorat, °C; T_{CIMP6} - model harorati, °C; H_{DEM}-DEM bo‘yicha balandlik, m; H_{model} - CMIP6 model grid katagining o‘rtacha balandligi, m; G = 0.0066°C/m -vertikal harorat gradienti. [7].

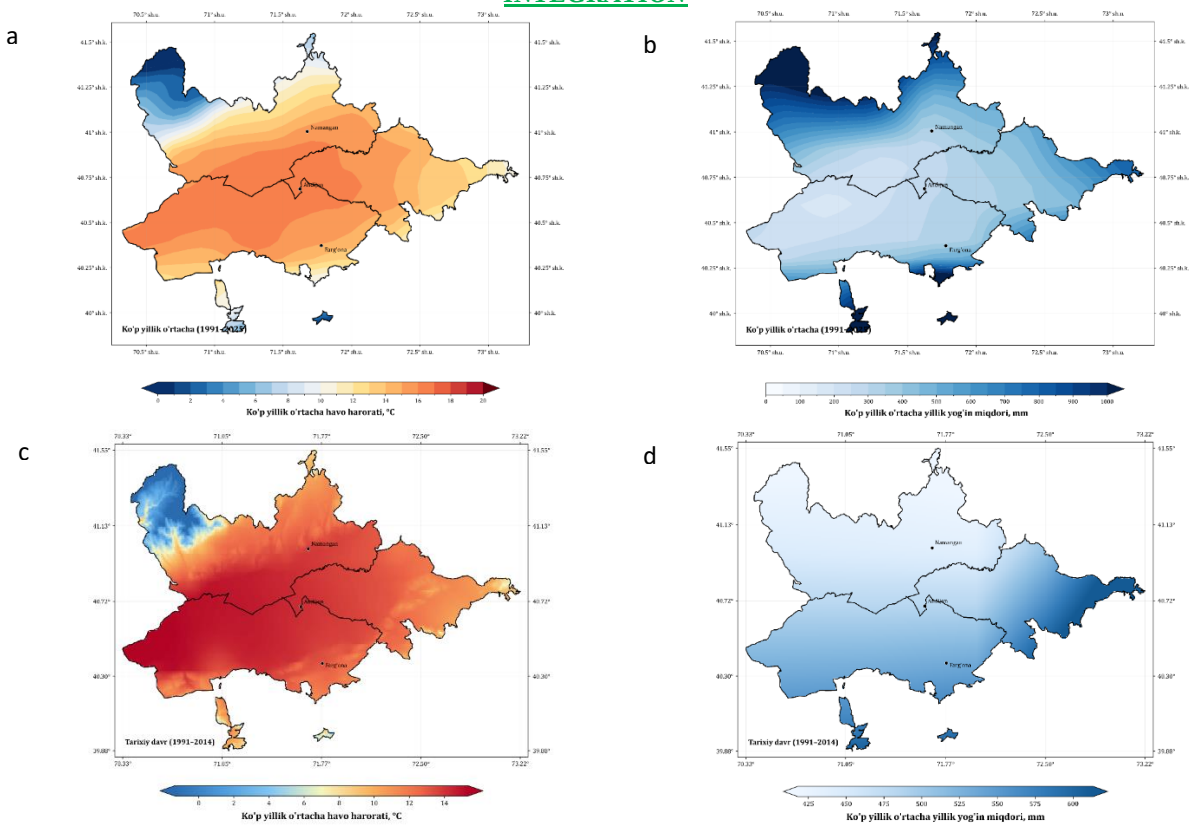
Kelajak davrlari uchun havo harorati va yog‘in miqdori anomaliyalari 1991–2014-yillardagi bazaviy davrga nisbatan quyidagicha aniqlandi:

$$\Delta T = T_{future} - T_{1991\text{-}2014} \quad (2)$$

$$\Delta P = P_{future} - P_{1991\text{-}2014} \quad (3)$$

bu yerda, ΔT - havo harorati anomaliyasi, °C; ΔP - yog‘in miqdori anomaliyasi, mm; T_{future} va P_{future} - tegishli kelajak davrining o‘rtacha qiymatlari; $T_{1991\text{-}2014}$ va $P_{1991\text{-}2014}$ - bazaviy davrning ko‘p yillik o‘rtacha qiymatlari.

Muhokama va natijalar. Andijon, Farg‘ona va Namangan meteorologik stansiyalari bo‘yicha havo harorati anomaliyalarining vaqt qatorlari 1991–2014-yillardagi tarixiy davrda haroratning umumiy ortish tendensiyasini ko‘rsatadi (1-rasm). Kuzatuv ma’lumotlari bilan CMIP6 tarixiy hisoblari o‘rtasidagi moslik Andijon stansiyasida MAE=0.58°C, RMSE=0.69°C; Farg‘onada MAE=0.57°C, RMSE=0.67°C; Namanganda esa MAE=0.61°C va RMSE=0.71°C ni tashkil etdi. ERA5-Land natijalarida vodiyning markaziy va pasttekislik qismlarida ko‘p yillik o‘rtacha harorat asosan 14–17 °C atrofida bo‘lsa, shimoli-g‘arbiy baland hududlarda qiymatlar keskin pasayib, ayrim joylarda 0–8 °C oralig‘iga tushadi. CMIP6 tarixiy xaritasida ham shunga o‘xshash fazoviy qonuniyat kuzatilib, pasttekisliklarda nisbatan yuqori, baland hududlarda esa past harorat qiymatlari shakllangan. Bu holat Farg‘ona vodiysida haroratning hududiy taqsimotida relyef va balandlik omilining muhim rol o‘ynashini ko‘rsatadi.



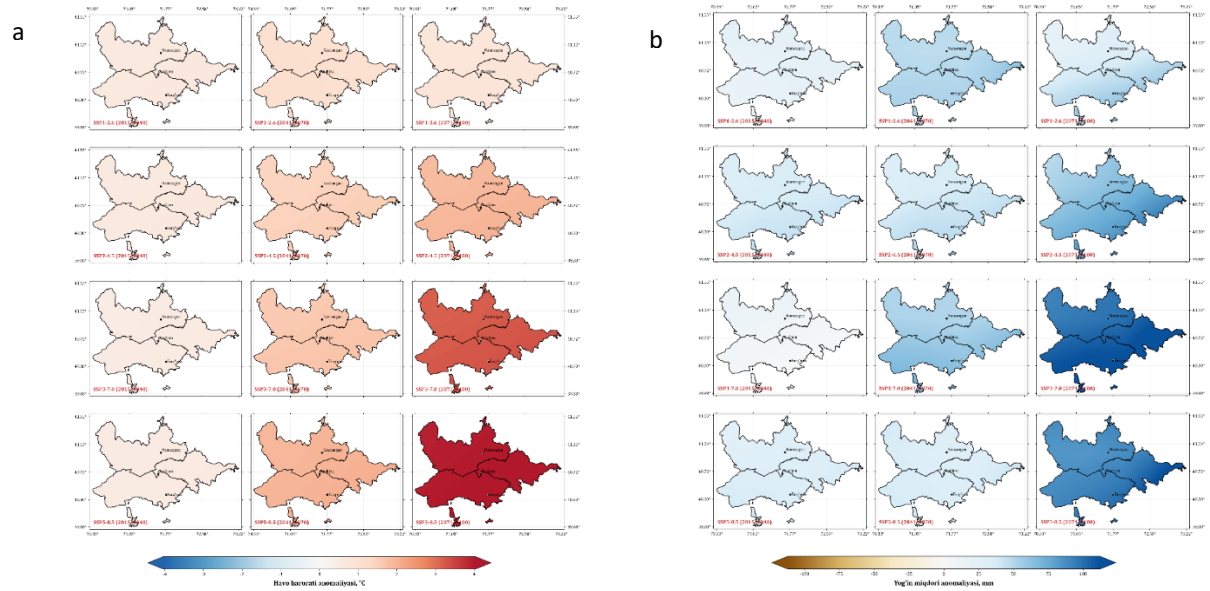
3-rasm. *Farg‘ona vodiysida ko‘p yillik o‘rtacha havo harorati va yillik yog‘in miqdorining fazoviy taqsimoti: a - ERA5-Land bo‘yicha havo harorati (1991–2025); b - ERA5-Land bo‘yicha yillik yog‘in miqdori (1991–2025); c -CMIP6 tarixiy davri bo‘yicha havo harorati (1991–2014); d - CMIP6 tarixiy davri bo‘yicha yillik yog‘in miqdori (1991–2014).*

Yog‘in miqdorining fazoviy taqsimotida esa ERA5-Land ma’lumotlari hududiy tafovutlarni ancha batafsil ifodalaydi. 3-rasmda vodiyning markaziy va janubiy qismlarida yog‘in miqdori nisbatan kam, shimoliy, shimoli-g‘arbiy hamda ayrim sharqiy hududlarda esa yuqoriroq ekanligi ko‘rinadi. CMIP6 tarixiy ma’lumotlarida yog‘in maydoni nisbatan silliq bo‘lib, ko‘p yillik o‘rtacha yillik yog‘in miqdori asosan 425–600 mm va undan yuqori diapazonda o‘zgaradi. Eng yuqori qiymatlar vodiyning sharqiy qismida, nisbatan past qiymatlar esa shimoliy va markaziy qismlarda kuzatiladi.

ERA5-Land va CMIP6 natijalari umumiy fazoviy qonuniyatlarni o‘xshash aks ettirgan bo‘lsa-da, ularning fazoviy detallashuv darajasida farq mavjud. ERA5-Land yuqoriroq fazoviy aniqlik tufayli mahalliy relyef bilan bog‘liq harorat va yog‘in gradientlarini aniqroq ko‘rsatadi, CMIP6 ma’lumotlarida esa hududiy maydonlar nisbatan umumlashtirilgan. Shuningdek, ERA5-Land uchun 1991–2025-yillar, CMIP6 uchun esa 1991–2014-yillar bazaviy davr sifatida olingani sababli ularning mutlaq qiymatlarini to‘g‘ridan-to‘g‘ri tenglashtirishdan ko‘ra, umumiy fazoviy

qonuniyatlarini taqqoslash maqsadga muvofiqdir. Ushbu natijalar keyingi SSP ssenariylari bo‘yicha hisoblangan harorat va yog‘in anomaliyalarini baholash uchun asosiy tarixiy fon vazifasini bajaradi.

4-rasmda Farg‘ona vodiysi uchun CMIP6 ma’lumotlari asosida SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 va SSP5-8.5 ssenariylari bo‘yicha 2015–2040, 2041–2070 va 2071–2100-yillardagi havo harorati hamda yog‘in miqdori anomaliyalarining fazoviy taqsimoti keltirilgan. Anomaliyalar 1991–2014-yillardagi tarixiy bazaviy davrga nisbatan hisoblangan.



4-rasm. *Farg‘ona vodiysida CMIP6 SSP ssenariylari bo‘yicha 2015–2040, 2041–2070 va 2071–2100-yillardagi iqlim anomaliyalarining fazoviy taqsimoti: a - havo harorati anomaliyasi, °C; b - yillik yog‘in miqdori anomaliyasi, mm.*

4a-rasmda barcha SSP ssenariylarida Farg‘ona vodiysi bo‘ylab musbat havo harorati anomaliyalari kuzatiladi. 2015–2040-yillarda ssenariylar o‘rtasidagi farqlar nisbatan kichik bo‘lsa, 2041–2070 va ayniqsa 2071–2100-yillarda ularning farqi yaqqol kuchayadi. SSP1-2.6 ssenariysida uzoq kelajakda isish taxminan +1 °C atrofida barqarorlashadi. SSP2-4.5 da anomaliya +2 °C atrofida, SSP3-7.0 da +3–4 °C, SSP5-8.5 da esa ayrim hududlarda +4 °C dan yuqori qiymatlarga yetadi. Bu natija emissiya darajasi ortishi va prognoz davri uzayishi bilan Farg‘ona vodiysida isish intensivligi kuchayib borishini ko‘rsatadi.

4b-rasmda yog‘in miqdori anomaliyalarining fazoviy taqsimoti haroratga nisbatan murakkabroq xarakterga ega. 2015–2040-yillarda ko‘pchilik hududlarda anomaliyalar kichik bo‘lib, asosan nolga yaqin yoki musbat qiymatlar ustunlik qiladi. 2041–2070-yillarda ayrim ssenariylarda yog‘in miqdorining ortishi kuchayadi. 2071–2100-yillarda esa SSP2-4.5, SSP3-7.0 va SSP5-8.5 ssenariylarida vodiyning katta qismida musbat anomaliyalar aniqroq namoyon bo‘ladi. Ayniqsa,

SSP3-7.0 ssenariysida ayrim hududlarda yog‘in anomaliyasi +100 mm va undan yuqori qiymatlarga yetishi mumkin.

Haroratdan farqli ravishda yog‘in miqdorida ssenariylar bo‘yicha qat’iy monoton o‘sish kuzatilmaydi. Bu yog‘in jarayonlarining atmosfera sirkulyatsiyasi va namlik oqimlariga kuchli bog‘liqligi hamda model noaniqligining yuqoriligi bilan izohlanadi. Umuman, 4-rasm natijalari Farg‘ona vodiysida XXI asr davomida eng barqaror iqlim signali havo haroratining ortishi ekanligini, yog‘in miqdorida esa asosan musbat, biroq ssenariy va davrlarga bog‘liq fazoviy o‘zgarishlar kuzatilishini ko‘rsatadi.

Xulosa. Tadqiqot natijalari Farg‘ona vodiysida XXI asr davomida havo haroratining barqaror ortishini ko‘rsatdi. Yuqori emissiyali SSP3-7.0 va SSP5-8.5 ssenariylarida asr oxiriga borib isish sezilarli kuchayadi. Yog‘in miqdorida esa yuqori yillararo va fazoviy o‘zgaruvchanlik saqlanib, ayrim davrlarda musbat anomaliyalar kuchayishi kuzatiladi. Olingan natijalar hududda iqlim o‘zgarishiga moslashish va suv resurslarini boshqarish choralarini ishlab chiqishda muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Rakhmatova, N. Assessing the Potential Impacts of Climate Change on Drought in Uzbekistan: Findings from RCP and SSP Scenarios / N. Rakhmatova, B. E. Nishonov, B. M. Kholmatjanov [et al.] // Atmosphere. – 2024. – Vol. 15, No. 7. – Article 866. – DOI: 10.3390/atmos15070866.

2. Muñoz-Sabater, J. ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications / J. Muñoz-Sabater, E. Dutra, A. Agustí-Panareda [et al.] // Earth System Science Data. – 2021. – Vol. 13, No. 9. – P. 4349–4383. – DOI: 10.5194/essd-13-4349-2021.

3. Eyring, V. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization / V. Eyring, S. Bony, G. A. Meehl [et al.] // Geoscientific Model Development. – 2016. – Vol. 9, No. 5. – P. 1937–1958. – DOI: 10.5194/gmd-9-1937-2016.

4. O’Neill, B. C. The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6 / B. C. O’Neill, C. Tebaldi, D. P. van Vuuren [et al.] // Geoscientific Model Development. – 2016. – Vol. 9, No. 9. – P. 3461–3482. – DOI: 10.5194/gmd-9-3461-2016.

5. Riahi, K. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview / K. Riahi, D. P. van

Vuuren, E. Kriegler [et al.] // Global Environmental Change. – 2017. – Vol. 42. – P. 153–168. – DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009.

6. Guo, H. Assessment of CMIP6 in simulating precipitation over arid Central Asia / H. Guo, A. Bao, T. Chen [et al.] // Atmospheric Research. – 2021. – Vol. 252. – Article 105451. – DOI: 10.1016/j.atmosres.2021.105451.

7. Li, L. Evaluation of CMIP6 HighResMIP models in simulating precipitation over Central Asia / L. Li, J. Li, R. C. Yu // Advances in Climate Change Research. – 2022. – Vol. 13, No. 1. – P. 1–13. – DOI: 10.1016/j.accre.2021.09.009.

8. Cao, L. Future dry-wet climatic characteristics and drought trends over arid Central Asia / L. Cao, C. Xu, N. Suo [et al.] // Frontiers in Earth Science. – 2023. – Vol. 11. – Article 1102633. – DOI: 10.3389/feart.2023.1102633.

9. Lu, X. Historical and projected relationships between the Tibetan Plateau summer monsoon and precipitation in Central Asia based on multi-CMIP6 models / X. Lu, Y. Zhao, L. Meng, R. Zhang // Atmospheric Research. – 2023. – Vol. 283. – Article 106564. – DOI: 10.1016/j.atmosres.2022.106564.

10. Mukhamedjanov, Sh. Adaptation to climate change in irrigated agriculture in Uzbekistan / Sh. Mukhamedjanov, A. Mukhomedjanov, R. Sagdullaev, N. Khasanova // Irrigation and Drainage. – 2021. – Vol. 70. – P. 169–176. – DOI: 10.1002/ird.2529.

11. Ozturk, T. Projected changes in temperature and precipitation climatology of Central Asia CORDEX Region 8 by using RegCM4.3.5 / T. Ozturk, M. T. Turp, M. Türkeş, M. L. Kurnaz // Atmospheric Research. – 2017. – Vol. 183. – P. 296–307. – DOI: 10.1016/j.atmosres.2016.09.008.

12. Чуб, В. Е. Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан / В. Е. Чуб. – Ташкент : VORIS NASHRIYOT, 2007. – 133 с.

13. Climate Change 2021: The Physical Science Basis : Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / IPCC ; edited by V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani [et al.]. – Cambridge : Cambridge University Press, 2023. – DOI: 10.1017/9781009157896.