

СРАВНЕНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ОСАДКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ С ФАКТИЧЕСКИМИ НАБЛЮДЕННЫМИ ДАННЫМИ НА ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА

Заитов Ш.Ш.

*Научно-исследовательский гидрометеорологический
институт докторант*

Аннотация: Территория Узбекистана представляет собой сочетание равнинного и горного рельефа, занимающая полностью континентальную область планеты, как следствие, обладает аридным (*aridus* – «сухой») климатом, или по Кёппену климатом пустынь и полупустынь, сухой климат с высокими температурами воздуха, испытывающими большие суточные колебания, и малым количеством атмосферных осадков (резко континентальный климат). Острый дефицит осадков приходится на вегетационный период. Начиная с июля по сентябрь осадки практически не наблюдаются. Равнины расположены в юго-западной и северо-западной части и состоят из плато Устюрт, дельты низовья Амударьи и пустыни Кызылкум.

Ключевые слова: ERA5, Температура, Осадки. Центральной Азии

Annotation: The territory of Uzbekistan is a combination of flat and mountainous relief, occupying a completely continental region of the planet, as a result, it has an arid (*aridus* - “dry”) climate, or, according to Köppen, a desert and semi-desert climate, a dry climate with high air temperatures experiencing large daily fluctuations, and a small amount of precipitation (sharply continental climate). There is an acute shortage of precipitation during the growing season. From July to September, there is practically no precipitation. The plains are located in the southwestern and northwestern parts and consist of the Ustyurt plateau, the delta of the lower reaches of the Amu Darya and the Kyzylkum desert.

Key words: ERA5, Temperature, Rainfall. Central asia

Введение. Пространственная и временная изменчивость осадков формируют гидрологические циклы (Michaelides et al., 2009). Изменение климата изменяет эти циклы за счет изменения частоты, интенсивности и количества осадков, а также за счет изменения эвапотранспирации (Trenberth, 2011; Tan et al., 2020). Точные и надежные данные об осадках с высоким пространственным и временным разрешением необходимы для изучения изменчивости климата, управления водными ресурсами и гидрологического прогнозирования (Viviroli et al., 2020). С этой целью доступен ряд глобальных данных об осадках, но остается неизвестным, насколько хорошо они фиксируют фактические осадки, особенно для горных районов, где мало наземных станций. Мы изучили производительность трех глобальных продуктов с высоким разрешением для сбора данных об осадках в Центральной Азии, очаге изменения климата, где надежных данных об осадках особенно мало (Immerzeel et al., 2020). Оценки, основанные на повторном анализе, объединяют атмосферные измерения и климатические модели, охватывающие физические и динамические процессы, для получения непротиворечивых, точных и непрерывных метеорологических данных (Sun et al., 2018). Реанализы – это динамически разглаженные и согласованные данные определенного набора архивных наблюдений, при помощи гидродинамической модели с фиксированной конфигурацией (Репина и др., 2016). В определенном смысле реанализы – это не данные наблюдений и не результаты модельных расчетов, а их совокупность, реализованная по специально разработанным алгоритмам усвоения и согласования всех видов данных о конкретной метеорологической величине (рис. 1). В настоящее время существуют различные типы набора данных реанализов с различным пространственным разрешением в американских и европейских Национальных Центров: Национальный центр прогнозов окружающей среды (NCEP) и Национальный центр атмосферных исследований США (NCAR). Национальное агентство по исследованию атмосферы и океана (NOAA); Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF); Японское метеорологическое агентство.

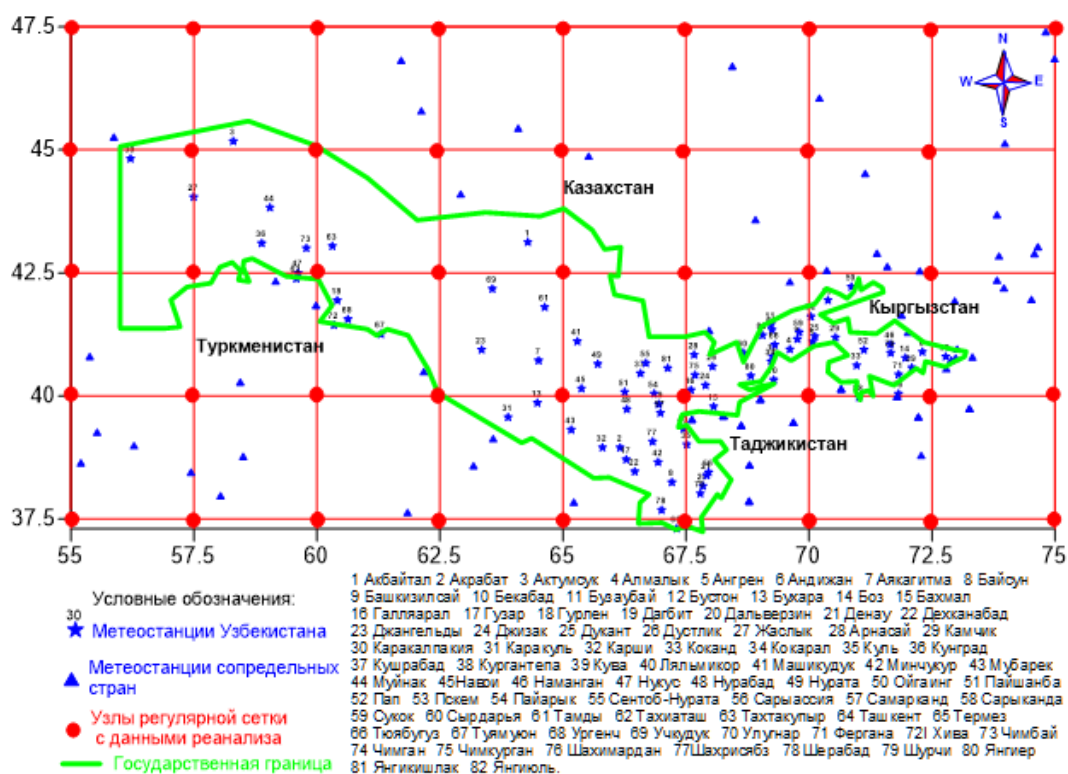


Рис. 1 Метеорологическая сеть Узбекистана

Методология. В целях исследования вариаций метеорологических величин на двадцатилетнем периоде времени (2000-2019) были использованы данные метеорологических станций наземных наблюдений Узгидромета и реанализы ERA5 температуры и осадков в узлах географической сетки (рис. 2). Для формирования базы данных реанализов указанных метеовеличин, представленных на сайте в свободном доступе и их извлечения были созданы с учётом исходных форматов необходимые процедуры, позволяющие сформировать цифровые матрицы данных. Данные реанализа ERA5, представленные в формате NETcdf, извлекаются с помощью модуля ArcGIS «MODELBuilder» (рис. 3), а затем представляются путём конвертации в цифровую матрицу данных (рис. 4).

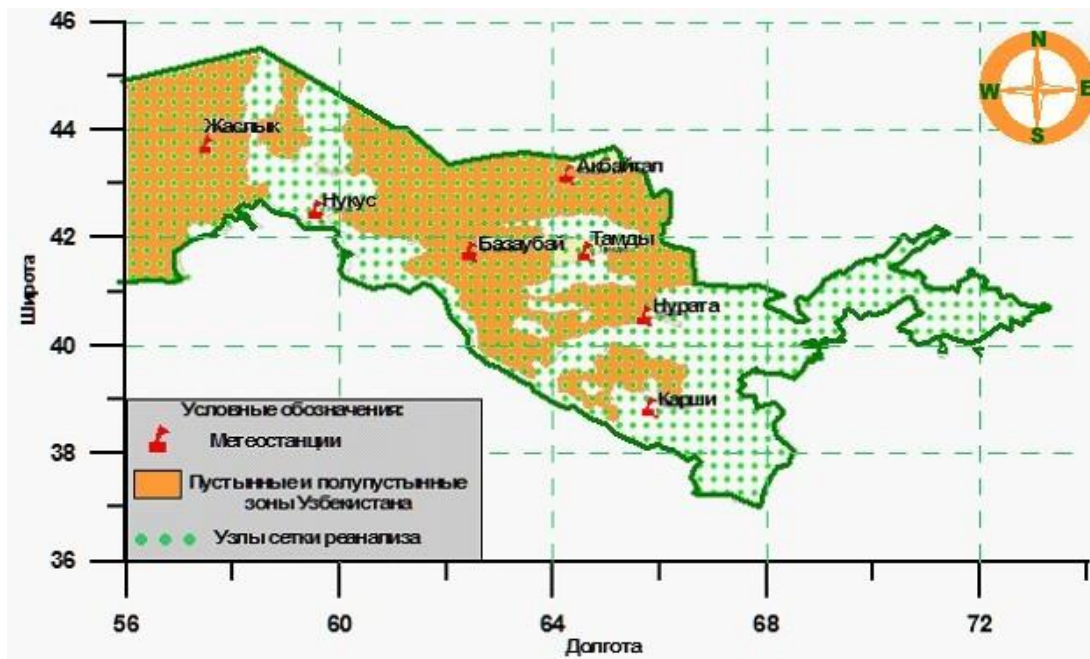


Рис.

Пастбищный ландшафт территории Узбекистана, метеорологические станции и узлы географической сетки с данными метеорологических величин реанализа ERA5.

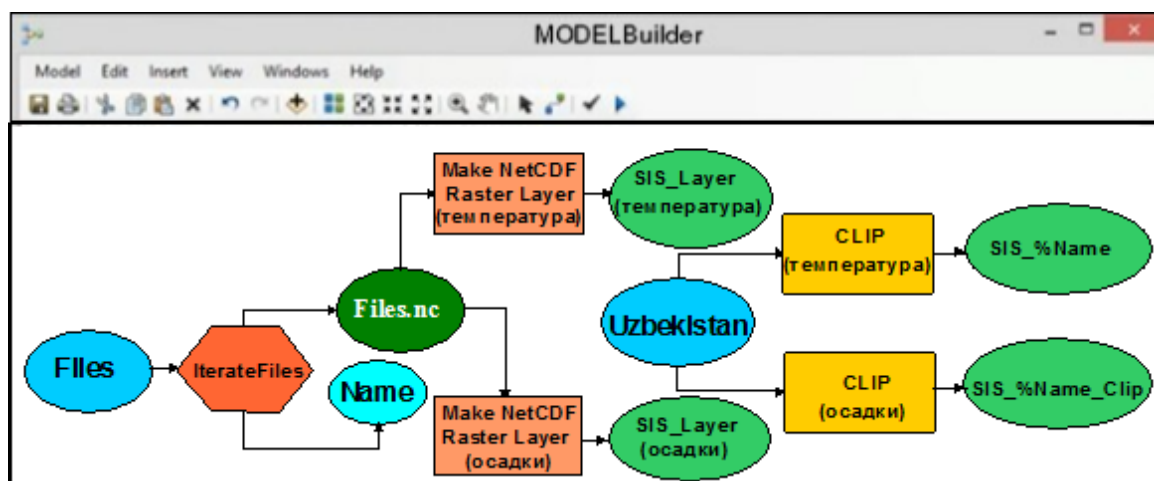
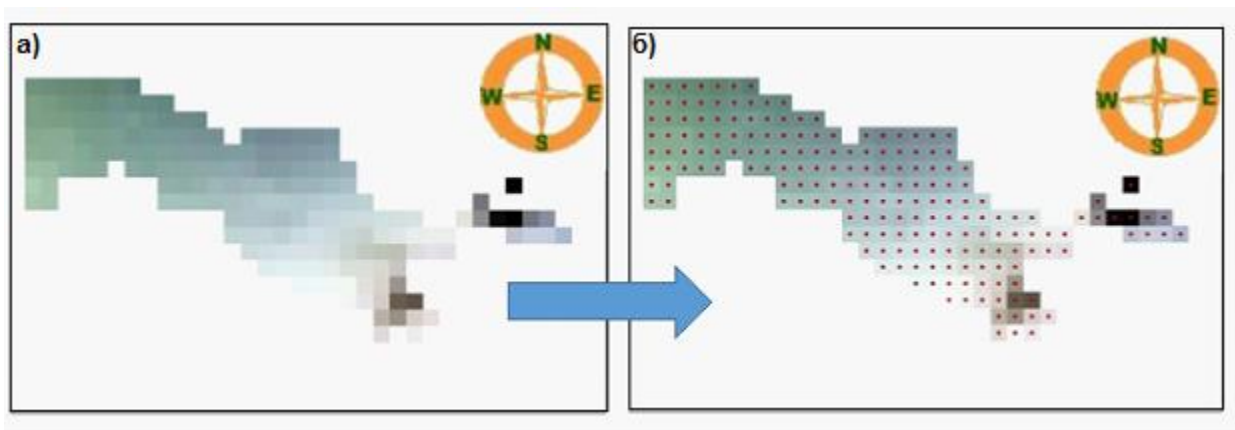


Рис. 3 Блок-схема считывания, распаковки и конвертации данных реанализа с помощью модуля «Model Builder».

Примечание: **Iterate Rasters** – оператор итерации; **Make NETcdf Rasters Layer** – контур для извлечения значений величин; **CLIP** – извлекаемые значения; **SIS Layer** – оператор сортировки файлов и их сохранения; **SIS_%NAME%_Clip** – выходные файлы.



Р

**ис. 4 Конвертирования данных реанализа формата NETcdf
в матрицу численных значений текстового формата.**

а) – растровый формат; б) – цифровая матрица.

Таблица 1

Пример сформированной цифровой матрицы температуры

Год	Месяцы года											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2000	-4,1	- 3,8	5,8	12	21	26,2	28,2	23,7	16,9	12	- 0,8	-1
2001	-4,2	- 3,9	5,7	12,1	21,1	26,3	28,3	23,7	16,9	12	- 0,8	- 1,2
...
2019	-4,7	- 4,4	5,5	12	21,1	26,3	28,4	23,4	16,7	11,8	- 1,3	- 1,7

Результат. В целях оценки однородности, используемых в работе временных рядов температуры и осадков, представленных в виде реанализов и наземных наблюдений на метеорологических станциях Узбекистана, по некоторым метеостанциям рассчитывались и сопоставлялись их распределения, как функции времени. Было выполнено их сопоставление и получена количественная оценка однородности (в статистическом смысле) этих временных рядов.

На рис. 5 приведён временной ход рядов температуры и осадков по данным наблюдений и реанализов. Визуально метеорологические ряды двух видов достаточно хорошо согласуются. Коэффициент корреляции между ними для нулевого временного сдвига достаточно высокий (в среднем более 0,9). При этом распределение корреляционной функции симметрично относительно нулевого сдвига по времени, что указывает на отсутствие в рядах грубых ошибок и выбросов.

Статистическая однородность рядов оценивалась на основании критериев Фишера и Стьюдента [Брандт, 2003].

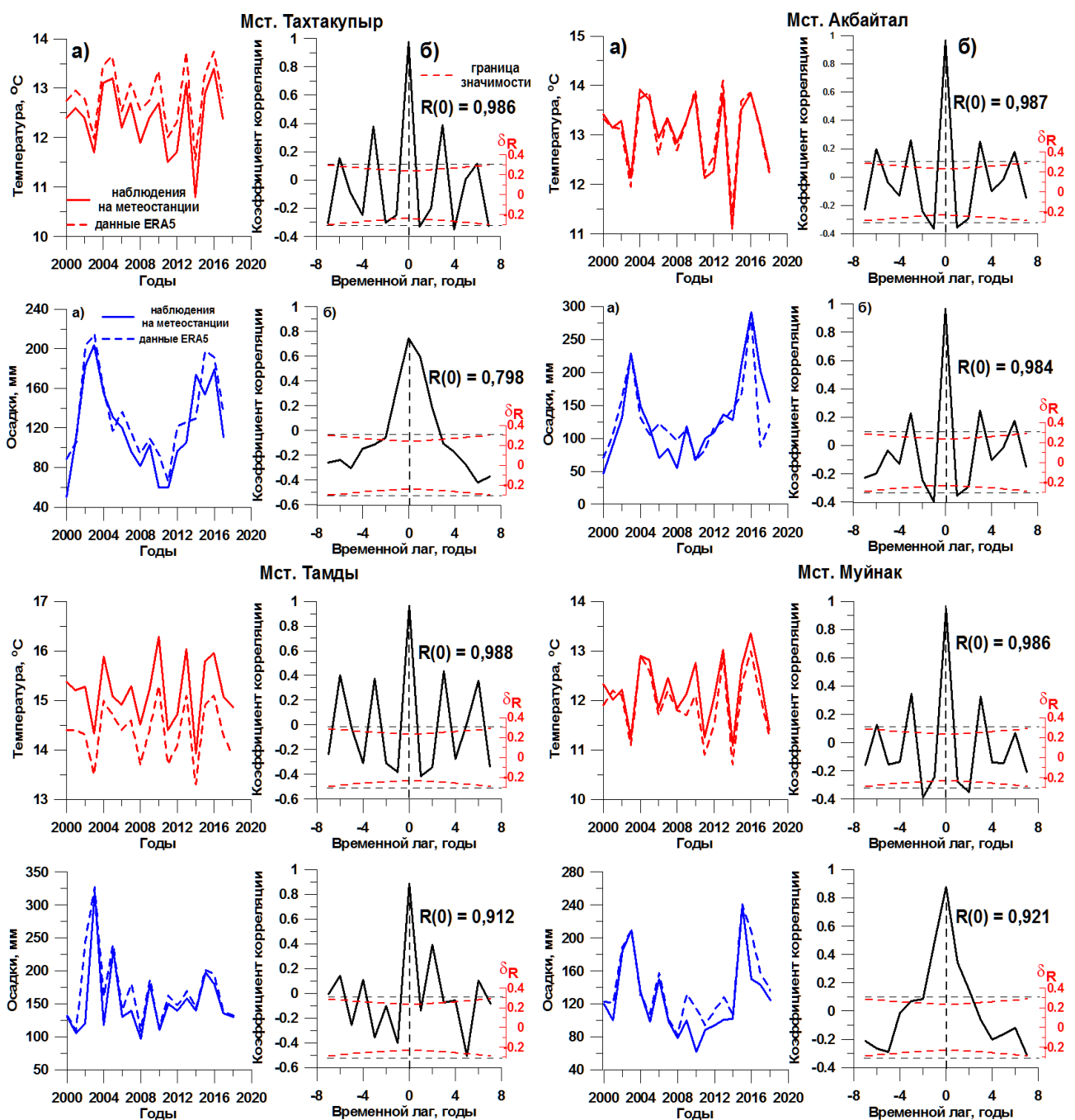


Рис. 5 **Согласованность данных температуры и осадков, наблюдаемых на метеостанциях и реанализов.**

Примечание: а) – временной ход; б) корреляция между временными рядами метеовеличин, наблюдаемых на метеостанции и реанализов; $R(0)$ – коэффициент корреляции на нулевом временном сдвиге.

Критерий однородности временных рядов по Фишеру (однородности дисперсий) определяется формулой

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}, \quad (1)$$

где σ_1^2, σ_2^2 – дисперсии проверяемых на однородность временных рядов.

Критическое значение критерия Фишера $F_\alpha = f(v_1, v_2, \alpha)$ определяется с заданными уровнем вероятности α и величинами степеней свободы v_1, v_2 по табулированным таблицам (Абрамовиц, 1979). Если $F < F_\alpha$ ряды однородны (выполнение нулевой гипотезы) [Брандт, 2003].

Проверка однородности средних значений временных рядов основывалась на t -критерии Стьюдента:

$$t = \frac{|\bar{F}_1 - \bar{F}_2|}{\sqrt{\frac{n_1 \sigma_1 + n_2 \sigma_2}{n_1 + n_2}}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (2)$$

где \bar{F}_1, \bar{F}_2 – средние исследуемых рядов, n_1, n_2 – их длина, σ_1, σ_2 – дисперсии, соответственно.

Критическое значение $t_\alpha = f(v, \alpha)$ критерия Стьюдента ($v = n_1 + n_2 - 2$) определяется по табулированным таблицам (Абрамовиц, 1979) с заданным уровнем вероятности α . Если $t < t_\alpha$ то нулевая гипотеза состоятельна.

Заключение. Начиная с 2000-го года тенденция к потеплению климата заметно повысилась, проявившаяся в аномально теплых и холодных зимах (в большей степени на европейском континенте), жарких весенне-летних сезонах с неравномерными, обильными ливневыми осадками, как в глобальном масштабе, так и на территории Узбекистана. Данные реанализа ERA5 с достаточной точностью согласуются с данными наземных наблюдений за приземной температурой воздуха. Сформированные два типа временных рядов

приземной температуры воздуха на основе статистических оценок (критерии Стьюдента и Фишера) являются однородными, что обеспечило корректное их использование в данной работе. Это показывает, что данные реанализы выгодно тогда, когда данные фактические по наблюдаемым станциям не хватает или имеет сомнение при сравнении остальными источниками.

Литература

1. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям. – М.: Наука, 1979. – 831с.
2. Брандт З. Анализ данных Статистические и вычислительные методы для научных работников и инженеров. – М.: Мир, 2003. – 687 с.
3. Репина И. А. Атмосферные реанализы //Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова: Электронный ресурс: http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa 2016/10.pdf
4. Immerzeel, W.W., Lutz, A.F., Andrade, M., Bahl, A., Biemans, H., Bolch, T., Hyde, S., Brumby, S., Davies, B.J., Elmore, A.C., Emmer, A., Feng, M., Fernandez, A., Haritashya, U., Kargel, J.
5. Koppes S., Kraaijenbrink M., Kulkarni, P.D.A., Mayewski A.V., Nepal P.A., Pacheco S., Painter P., Pellicciotti T.H., Rajaram F., Rupper H., Sinisalo S., Shrestha A., Viviroli A.B., Wada D., Xiao Y., Yao C., Baillie, J.E.M. (2020) Importance and vulnerability of the world's water towers. *Nature*, 577, 364–369.
6. Michaelides, S., Levizzani, V., Anagnostou, E., Bauer, P., Kasparis, T. and Lane, J.E. (2009) Precipitation: measurement, remote sensing, climatology and modeling. *Atmospheric Research*, 94, 512–533.
7. Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S. and Hsu, K.L. (2018) A review of global precipitation data sets: data sources, estimation, and intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, 56, 79–107.
8. Tan, X., Wu, Y., Liu, B. and Chen, S. (2020) Inconsistent changes in global precipitation seasonality in seven precipitation datasets. *Climate Dynamics*, 54, 3091–3108.

9. Trenberth, K.E. (2011) Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47, 123–138.
10. Viviroli, D., Kummu, M., Meybeck, M., Kallio, M. and Wada, Y. (2020) Increasing dependence of lowland populations on mountain water resources. *Nature Sustainability*, 3, 917–928.