

О возможных причинах исключительно больших весенних паводков 2024 года в Казахстане

А. Г. Терехов^{1,2}, С. Б. Саиров², Н. Н. Абаев²,
Г. Н. Сагатдинова¹, Е. Н. Амиргалиев¹

¹ *Институт информационных и вычислительных технологий
Алматы, 050010, Казахстан
E-mail: aterekhov1@yandex.ru*

² *РГП «Казгидромет», Алматы, 050022, Казахстан
E-mail: sairov_s@meteo.kz*

В сезоне 2024 г. весенние паводки в различных частях Казахстана имели значительный масштаб, что привело к частичному затоплению большого числа населённых пунктов и транспортной инфраструктуры. На равнинах Казахстана гидрологический режим рек характеризуется кратковременным весенним паводком и летне-осенне-зимней меженью. Объём весеннего половодья год от года может варьироваться более чем в 100 раз. На равнинной территории Казахстана аридный и сухой климат включает жаркое лето, холодную зиму и относительно небольшое количество осадков, в пределах 350–500 мм в год. Объём весеннего паводка в основном определяется способностью почв обеспечивать в период активного снеготаяния транзит талой воды к речным руслам. Таким образом, объём накопленных за зиму твёрдых осадков, зимнее промерзание почв, динамика их сезонного оттаивания контролируют режим и масштаб весеннего половодья. Погодные факторы, связанные с формированием больших объёмов весеннего половодья, весьма многообразны, от осенней влажности почв перед формированием устойчивого снежного покрова до погодных условий в дни активного снеготаяния. В работе исследуется ряд ключевых погодных параметров, связанных с режимом формирования весеннего паводка 2024 г. По данным продуктов USGS (*англ.* United States Geological Survey) FEWS NET (*англ.* Famine Early Warning Systems Network) рассмотрен 20-летний ряд аномалий декабрьской влажности почвенного слоя 0–100 см (*англ.* Soil Moisture Anomaly) и аномалий водного эквивалента снежного покрова (*англ.* Snow Water Equivalent Anomaly) на 15 февраля. Данные реанализа, представляющие собой расчёты европейских прогностических климатических моделей Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (*англ.* European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis v5 (ECMWF ERA5)) в сочетании с наземной информацией Всемирной метеорологической организации, были использованы для определения температурного режима наиболее позднего зимнего арктического вторжения на территорию Казахстана, датированного второй половиной февраля 2024 г. Сделаны выводы, что аномально высокая влажность почв в начале зимы и очень низкая температура конца зимы привели к низкой впитывающей способности почв равнин Казахстана в период весеннего снеготаяния. Как следствие, талые воды эффективно собирались в речной сток, обеспечив значительный масштаб весеннего половодья. Локальные погодные условия в дни активного снеготаяния в сезоне 2024 г. не играли существенной роли. По всей видимости, чрезвычайно высокий уровень весеннего половодья был неизбежен при любых погодных условиях весны.

Ключевые слова: реки казахстанского типа, весенний паводок, осенняя влажность почв, зимнее промерзание почв, аномалии водного эквивалента снега, арктические вторжения очень холодного воздуха

Одобрена к печати: 10.06.2024
DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-331-338

Равнинные части Казахстана, расположенные в основном на западе и севере республики, занимают сотни тысяч квадратных километров. На этих территориях существует речная сеть. В отдельные годы весеннее половодье способно приобретать исключительные масштабы и приносить значительный материальный ущерб народному хозяйству Казахстана (Aitzhanova, Zhararova, 2023; Plekhanov, 2017; Shan et al., 2020) (*рис. 1*, см. с. 332). Сезон 2024 г. отличался частичными затоплениями населённых пунктов и транспортной инфраструктуры.

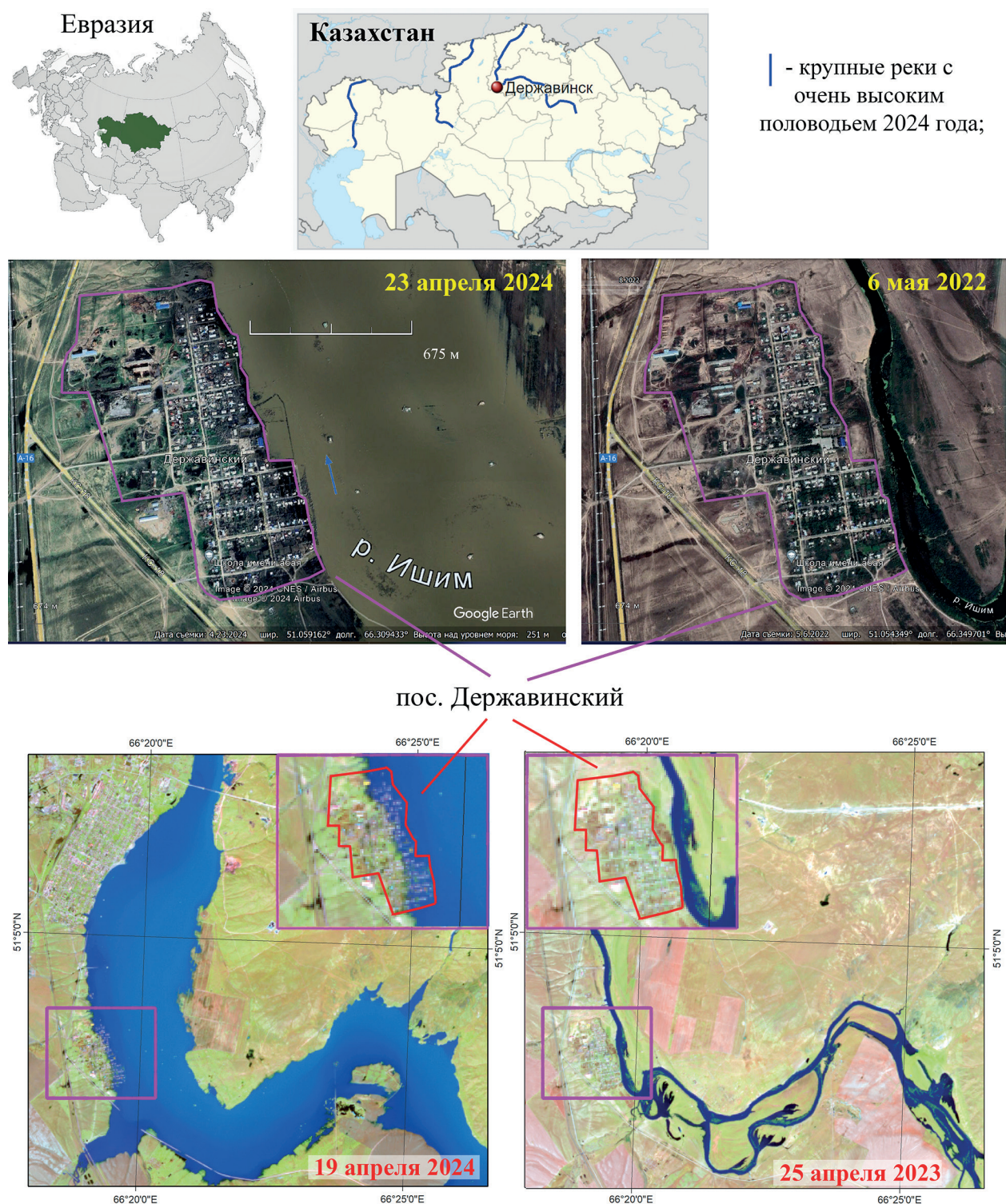


Рис. 1. Спутниковые снимки эпизодов весеннего половодья 2022, 2023, 2024 гг. в районе пос. Державинский, Акмолинская обл. Казахстана. Снимки из системы Google Earth и сцены Sentinel-2

Особенно высокое весеннее половодье наблюдалось на севере республики, по долинам рек Урал, Тургай, Тобол, Ишим (см. рис. 1). Цель данного краткого сообщения заключается в рассмотрении основных погодных факторов, вызвавших данное явление.

Реки, протекающие по территории Казахстана через равнинные территории, как правило, имеют особый гидрологический режим. Этот режим был выделен гидрологами в отдельный класс — реки казахстанского типа (Ресурсы..., 1966). Этот тип водотоков характеризуется

чрезвычайно большой вариативностью по расходу воды как внутри сезона, так и на межгодовом масштабе (Plekhanov, Medeu, 2019; Pshenchinova et al., 2020). Весеннее половодье обеспечивает подавляющую часть годового стока, до 90 % и выше. При этом в жаркие и сухие года водоток в летний и осенний периоды может отсутствовать вовсе. Год от года объём речного стока может меняться более чем в 100 раз. Пример типичной небольшой реки Северного Казахстана — р. Шерубай-Нура (левый приток р. Нура): питание снеговое, длина 250 км, площадь бассейна 15 400 км². По данным гидропоста «Карамурын» в период с 1957 по 2021 г. объём весеннего паводка варьировался в пределах от 3,9 млн м³ (2018) до 567,4 млн м³ (2017) (Терехов и др., 2023).

Казахстанский тип рек формируется как следствие особого гидрологического режима речных бассейнов. Из-за равнинного рельефа площади водосборов таких рек обычно весьма обширны. Соответственно, потенциальный объём стока может быть весьма значительным. Однако сухой аридный климат Казахстана характеризуется умеренным количеством осадков, в среднем около 350–500 мм в год. При этом годовой температурный режим включает как высокую температуру воздуха в тёплый период, так и низкую в холодный. Например, многолетние минимум и максимум температуры типичного города Северного Казахстана, Костаная, составляют –47,8 и +42,5 °С при норме годовых осадков в 352 мм. В летний период испаряемость всегда значительно превышает количество осадков, что блокирует формирование устойчивого и значительного водотока. В холодный период, при вторжениях очень холодных арктических масс воздуха, зимняя температура в Казахстане может опускаться ниже –40 °С. Стабильно низкая температура зимы способствует накоплению твёрдых осадков (Кауазов и др., 2023; Терехов и др., 2020). Весной, на фоне быстрого перехода температуры воздуха через нуль, накопленный снег тает и формируется активный паводок.

Многолетняя вариативность осадков холодного периода не превышает 10-кратных значений, а объём весеннего паводка на реках Северного Казахстана может меняться более чем в 100 раз. Например, для р. Шерубай-Нура вариативность весеннего паводка в период с 1957 г. достигала 145-кратных значений (Терехов и др., 2023).

Основным фактором, влияющим на объём весеннего паводка на реках Казахстанского типа, является впитывающая способность почв. Даже в многоснежные годы физический объём водного эквивалента накопленного за зиму снега относительно невелик и большая его часть могла бы впитываться почвой. Типичная величина наименьшей полевой влагоёмкости почв Северного Казахстана слоя 0–100 см, в зависимости от её механического состава, составляет 160–240 мм, что близко к половине среднегодовой нормы осадков. Однако процессу проникновения талой воды в почвенный слой препятствует зимнее промерзание почв. Глубина зимнего промерзания в холодные зимы в Северном Казахстане может достигать 2 м.

В весенний период солнечная радиация и положительная температура воздуха формируют волну протаивания и пропитывания талой водой поверхностных слоёв почвы. Избыточное количество воды, которое неспособно удерживаться в почвенном слое и в остатках снежного покрова, скатывается по рельефу, формируя речной сток весеннего половодья. Таким образом, объём весеннего половодья зависит от ряда погодных факторов, влияющих на процесс снеготаяния и впитывания талой воды почвенными слоями.

Проведённый анализ погодных условий включал оценки влажности почвы и аномалии водного эквивалента снежного покрова по данным, доступным на информационном портале USGS (*англ.* United States Geological Survey) FEWS NET (*англ.* Famine Early Warning Systems Network). Температурный режим зимы 2024 г. характеризовали данные моделей Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды ECMWF ERA5 (*англ.* European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis v5), представляющие собой комбинацию реанализа и наземной информации Всемирной метеорологической организации. База данных ECMWF ERA5-Land доступна в архивах системы обработки спутниковых данных Google Earth Engine.

Первый рассмотренный параметр — это аномалии влажности почвы слоя 0–100 см перед началом зимы. Тёплая и влажная осень способствует пропитыванию почвы водой перед установлением устойчивого снежного покрова.

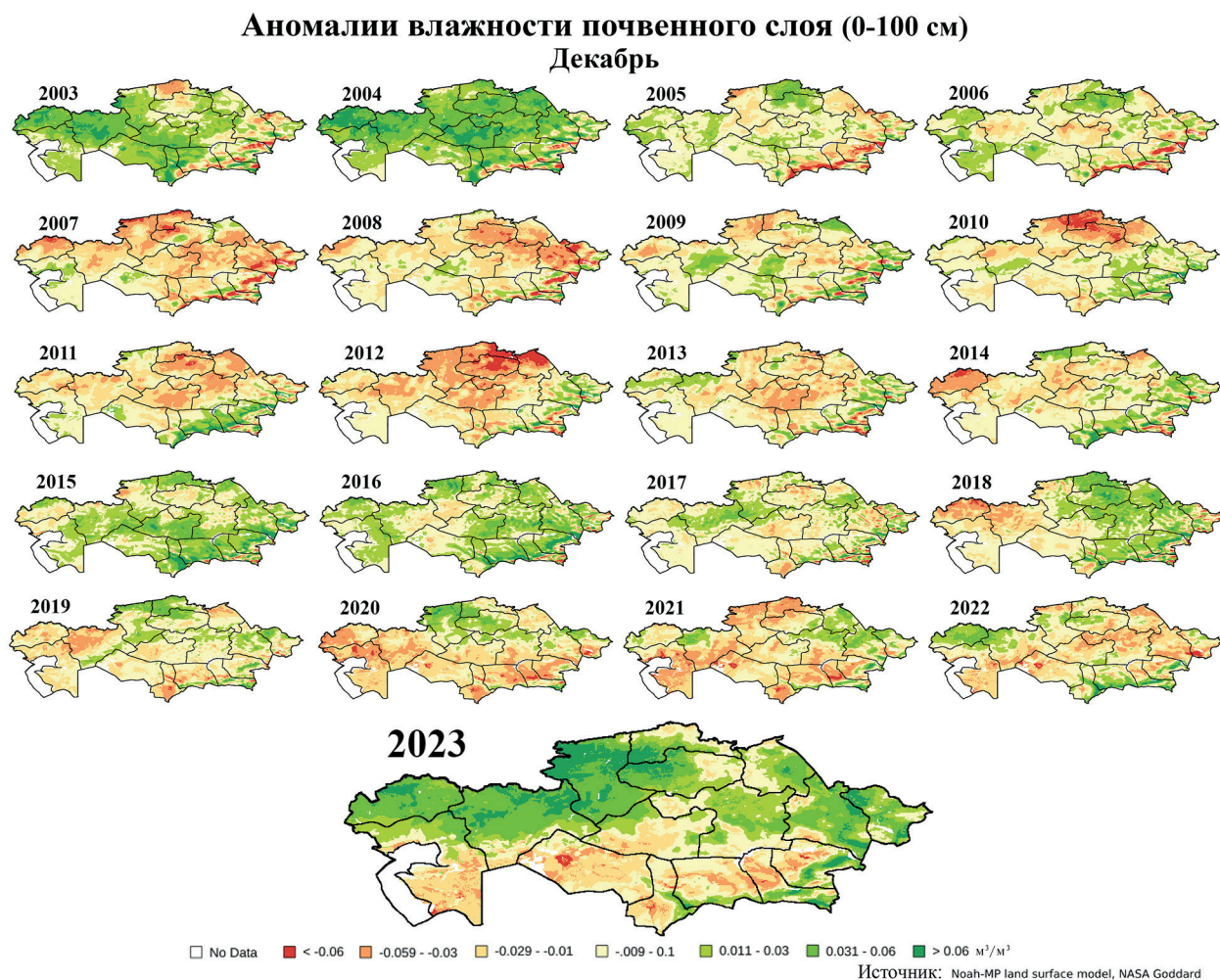


Рис. 2. Аномалии влажности слоя почвы в Казахстане, слой 0–100 см, на декабрь 2024 г. Данные FEWS NET (Central Asia)

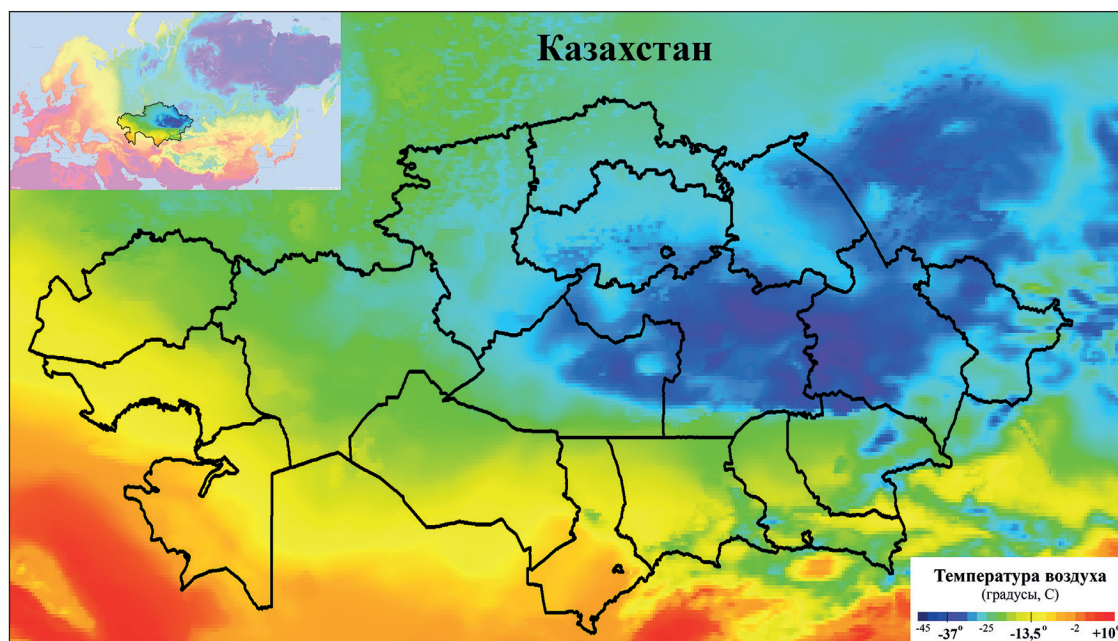


Рис. 3. Средняя температура воздуха на 00:00 ч (по Гринвичу) по территории Казахстана на 16 и 17 февраля 2024 г. Данные реанализа ERA5-Land

С одной стороны, эта влага будет уменьшать потенциал впитывания почвой талой воды в весенний период. С другой стороны, зимнее промерзание промоченных почв формирует насыщенные льдом слои, более устойчивые к воздействию весеннего тепла. Сезон 2023–2024 гг. на западе и севере республики характеризовался исключительно высоким уровнем запаса воды в почвенном слое перед началом зимы (рис. 2).

Второй параметр — это температурный режим зимы. Арктические вторжения на территорию Казахстана несут очень низкую температуру воздуха и обеспечивают глубокое промерзание почв. Наиболее неблагоприятными погодными условиями представляются позднезимние арктические вторжения. Период очень низкой температуры воздуха непосредственно перед началом весеннего снеготаяния укрепляет поверхностное промерзание, особенно в случае грунта, пропитанного водой, что затрудняет его весеннее протаивание. Вторая половина февраля 2024 г. сопровождалась мощным арктическим вторжением холодного воздуха на территорию Казахстана с установлением аномально низкой температуры после 15 февраля (рис. 3, см. с. 334).

Третий параметр — это аномалии водного эквивалента снежного покрова. Толстые слои снега лучше защищают почву от промерзания. Малое количество снега и тонкие его слои приводят к более сильному промерзанию почв. Это способствует росту объёма весенних паводков за счёт большей доли талой воды, аккумулирующейся в речном стоке. Однако уровень снежности зимы не имеет прямой и выраженной связи с объёмом весеннего половодья (Терехов и др., 2023).

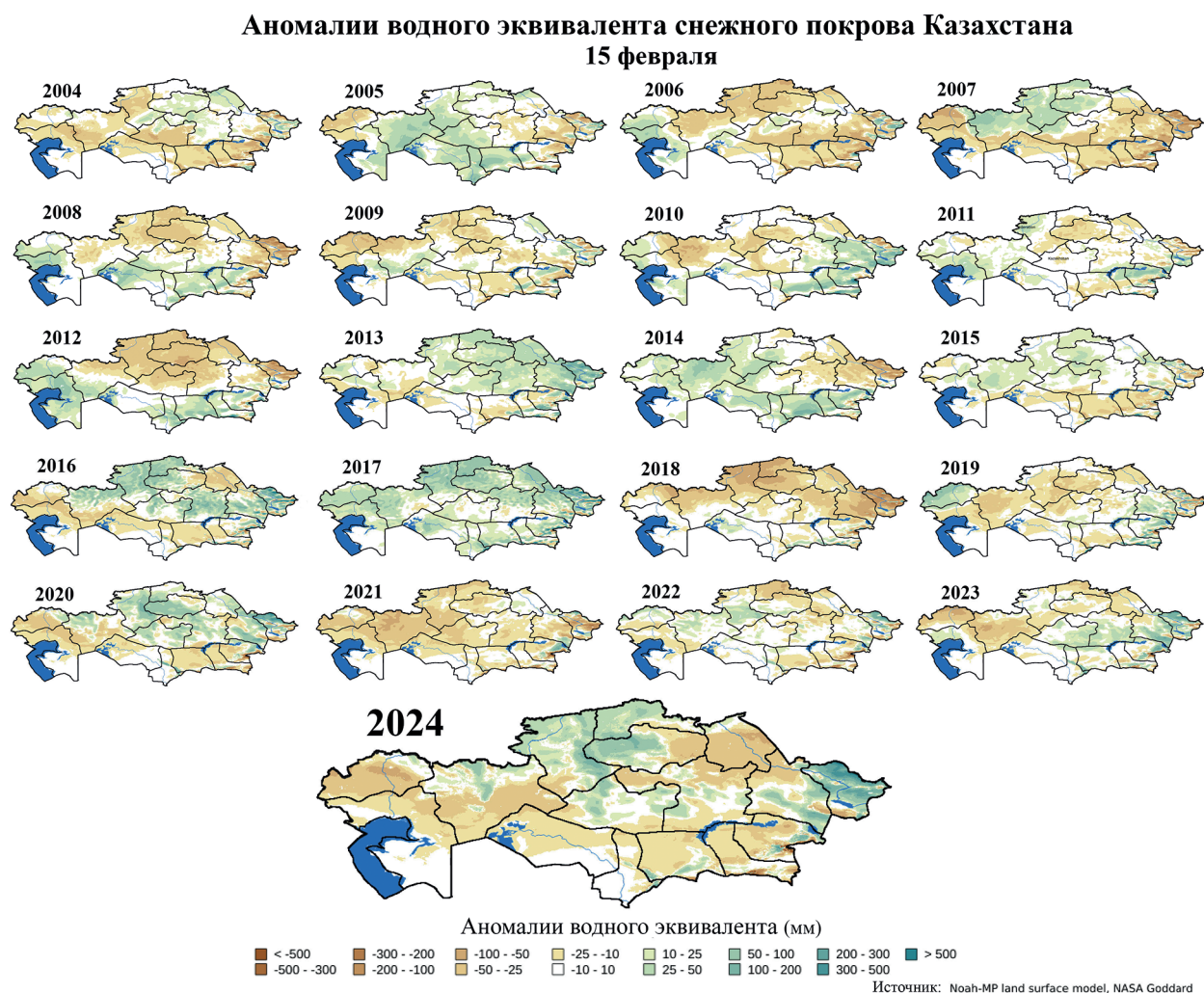


Рис. 4. Аномалии водного эквивалента снежного покрова (англ. Snow Water Equivalent Anomaly) по территории Казахстана на 15 февраля 2024 г. Данные FEWS NET (Central Asia)

Наиболее информативным показателем накопленных запасов снега представляется оценка аномалий водного эквивалента в период перед началом весеннего снеготаяния, например на 15 февраля (рис. 4, см. с. 335). Сезон 2024 г. относился к годам с повышенными запасами снега, однако он не был аномально снежным.

Таким образом, чрезвычайно высокий уровень весеннего половодья в некоторых районах на западе и севере Казахстана в сезоне 2024 г., по всей видимости, был следствием совпадения двух факторов. Во-первых, чрезвычайно влажной осенью 2023 г., сформировавшей исключительно большой запас воды в почвенном слое непосредственно перед началом зимы. Для большей части Северного Казахстана этот уровень влажности почв был близок к многолетнему максимуму. Во-вторых, мощным арктическим вторжением очень холодного воздуха на территорию Казахстана во второй половине февраля, что обеспечило высокую устойчивость к весеннему теплу глубоко промёрзшего и насыщенного льдом слоя почвы. Несколько повышенный запас снега лишь усугубил ситуацию с паводками, но не был ключевым. Наличие первых двух факторов существенно уменьшило потенциал впитывания талой воды почвенными слоями и обеспечило значительный масштаб весеннего паводка в сезоне 2024 г., который, по всей видимости, был неизбежен при любой погоде весны.

Работа выполнена при поддержке программно-целевого финансирования министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, проект № BR18574144.

Литература

1. Кауазов А. М., Тиллякарим Т. А., Сальников В. Г., Полякова С. Е. Оценка изменений площади снежного покрова в Казахстане с 2000 по 2022 год // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 1. С. 298–305. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-298-305.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 12. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Вып. 2. Урало-Эмбинский район / под ред. З. Г. Марковой. Л.: Гидрометеопиздат, 1966. 152 с.
3. Терехов А. Г., Ивкина Н. И., Юничева Н. Р. и др. Изменения снежного покрова сухих степей и полупустынь Казахстана на примере бассейна реки Эмбы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 2. С. 101–113. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-101-113.
4. Терехов А. Г., Абаев Н. Н., Тиллякарим Т. А., Серикбай Н. Т. О взаимосвязи между количеством снега и объёмом весеннего половодья в Северном Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 1. С. 323–328. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-323-328.
5. Aitzhanova M., Zhaparova S. Environmental risk assessment of spring floods in the Akmola region of Kazakhstan // Intern. J. Sustainable Development and Planning. 2023. V. 18. Iss. 10. P. 3333–3339. DOI: 10.18280/ijstdp.181033.
6. Plekhanov P. A. Natural hydrological risks and their prevention in Kazakhstan // Central Asian J. Water Research. 2017. V. 3. No. 1. P. 17–23.
7. Plekhanov P. A., Medeu N. N. Extreme hydrological phenomena in the Esil river basin: Genesis, general patterns of manifestation // J. Ecological Engineering. 2019. V. 20. No. 7. P. 187–195. DOI: 10.12911/22998993/109880.
8. Pshenchinova A. S., Dzhusupbekov D. K., Opp Ch. Assessment of the calculated maximum spring flood of the main rivers of central Kazakhstan // J. Geography and Environmental Management. 2020. V. 56. No. 1. P. 30–38. DOI: 10.26577/JGEM.2020.v56.i1.03.
9. Shan Z., Abuduwaili J., Ding J. et al. Description and attribution analysis of the 2017 spring anomalous high temperature causing floods in Kazakhstan // J. Meteorological Society of Japan. Ser. 2. 2020. V. 98. No. 6. P. 1353–1368. DOI: 10.2151/jmsj.2020-070.

Possible causes of abnormal spring flooding in Kazakhstan in 2024

A. G. Terekhov^{1,2}, S. B. Sairov², N. N. Abayev²,
G. N. Sagatdinova¹, E. N. Amirgaliyev¹

¹ *Institute of Information and Computational Technologies, Almaty 050010, Kazakhstan*
E-mail: aterekhov1@yandex.ru

² *RSE Kazhydromet, Almaty 050022, Kazakhstan*
E-mail: sairov_s@meteo.kz

In the spring of 2024, Kazakhstan experienced significant flooding that caused the submersion of numerous settlements and transportation infrastructure. The hydrological regime of rivers in the plains of Kazakhstan is characterized by short-lived spring floods and a summer-autumn-winter low water period. The volume of spring runoff can vary greatly from year to year, sometimes by more than 100 times. The arid and dry climate of Kazakhstan is characterized by hot summers, cold winters, and relatively low precipitation levels, ranging from 350 to 500 mm per year. The volume of spring flooding is mainly determined by the ability of the soil to facilitate the transit of meltwater to the riverbeds during the active snowmelt period. Therefore, snow deposit, winter soil freezing, and the dynamics of seasonal snow thawing play the key role in controlling the regime and scale of spring runoff. Weather factors related to the formation of large volumes of spring floods are very diverse, from autumn soil moisture before the formation of a stable snow cover to weather conditions during active snowmelt days. This study examines a number of key weather parameters related to the formation of the spring flood in 2024. On the basis of data from FEWS NET USGS (Famine Early Warning Systems Network by U. S. Geological Survey) products, 20-year time series of Soil Moisture Anomaly (December) and Snow Water Equivalent Anomaly (February 15) were considered. The ERA5-Land reanalysis data, which combines forecasts from the ECMWF ERA5 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis v5), climate models and ground-based information from the World Meteorological Organization have been used to characterize the temperature regime of the Arctic intrusion of extremely cold air in Kazakhstan in the second half of February 2024. It was concluded that the abnormally high soil moisture at the beginning of the winter and extremely cold air at the end of the winter resulted in a low soil absorption capacity in Kazakhstan during the spring snowmelt. As a result, the meltwater was effectively collected in river runoff, leading to a significant scale of spring flooding. Local weather conditions during the active snowmelt days in the 2024 season did not play a significant role. It appears that the abnormally high level of spring flooding was inevitable regardless of the spring weather conditions.

Keywords: rivers of Kazakhstan's hydrological type, spring flood, autumn soil humidity, winter soil freezing, snow water equivalent anomaly, Arctic intrusion of extremely cold air

Accepted: 10.06.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-331-338

References

1. Kauazov A. M., Tillakarim T. A., Salnikov V. G., Polyakova S. E., Assessment of changes in snow cover area in Kazakhstan from 2000 to 2022, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 1, pp. 298–305 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-298-305.
2. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: Gidrologicheskaya izuchennost'. T. 12. Nizhnee Povolzh'e i Zapadnyi Kazakhstan. Vyp. 2. Uralo-Embinskii raion* (Resources of surface water of USSR: Hydrology knowledge, Vol. 12: Lower Volga and Western Kazakhstan, Issue 2: Ural-Emba Region), Z. G. Markova (ed.), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1966, 152 p. (in Russian).
3. Terekhov A. G., Ivkina N. I., Yunicheva N. R. et al., Snow cover changes of the Kazakhstan dry steppes and semi-deserts: the case of River Emba basin studies, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 2, pp. 101–113 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-101-113.
4. Terekhov A. G., Abayev N. N., Tillakarim T. A., Serikbay N. T., Interrelation between snow cover depth and spring flooding in Northern Kazakhstan, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 1, pp. 323–328 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-323-328.

5. Aitzhanova M., Zhaparova S., Environmental risk Assessment of spring floods in the Akmola region of Kazakhstan, *Intern. J. Sustainable Development and Planning*, 2023, Vol. 18, Issue 10, pp. 3333–3339, DOI: 10.18280/ijstdp.181033.
6. Plekhanov P.A., Natural hydrological risks and their prevention in Kazakhstan, *Central Asian J. Water Research*, 2017, Vol. 3, No. 1, pp. 17–23.
7. Plekhanov P.A., Medeu N.N., Extreme Hydrological Phenomena in the Esil River Basin: Genesis, General Patterns of Manifestation, *J. Ecological Engineering*, 2019, Vol. 20, No. 7, pp. 187–195, DOI: 10.12911/22998993/109880.
8. Pshenchinova A. S., Dzhusupbekov D. K., Opp Ch., Assessment of the calculated maximum spring flood of the main rivers of central Kazakhstan, *J. Geography and Environmental Management*, 2020, Vol. 56, No. 1, pp. 30–38, DOI: 10.26577/JGEM.2020.v56.i1.03.
9. Shan Z., Abuduwaili J., Ding J. et al., Description and attribution analysis of the 2017 spring anomalous high temperature causing floods in Kazakhstan, *J. Meteorological Society of Japan, Ser. 2*, 2020, Vol. 98, No. 6, pp. 1353–1368, DOI: 10.2151/jmsj.2020-070.