

О взаимосвязи между количеством снега и объёмом весеннего половодья в Северном Казахстане

А. Г. Терехов¹, Н. Н. Абаев^{1,2}, Т. А. Тиллякарим^{2,3}, Н. Т. Серикбай^{2,3}

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

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

³ *Казахский национальный университет им. аль-Фараби
Алматы, 050040, Казахстан
E-mail: tillakarimtursyn@gmail.com*

Большой объём весеннего половодья на равнинных территориях Северного Казахстана в апреле несёт угрозы значительного экономического ущерба, что обуславливает большой практический интерес к лучшему пониманию закономерностей его формирования, особенно в долгосрочном аспекте. Объём весеннего паводка в степной зоне Казахстана контролируется двумя факторами: водным эквивалентом накопленных за холодный период твёрдых осадков и впитывающей способностью почвогрунта в период активного снеготаяния. Межгодовая вариативность количества снега в Северном Казахстане составляет примерно 10 раз, что значительно проигрывает вариативности объёмов весеннего половодья, достигающей 150 раз. Таким образом, ключевую роль в формировании весеннего половодья играет впитывающая способность почвогрунта. Эта особенность Северного Казахстана связана с относительно небольшой годовой климатической нормой осадков (менее 500 мм) и значительным зимним промерзанием почвы, достигающим 120–150 см и более. Снежный покров препятствует промерзанию почвы. В работе были рассмотрены взаимосвязи между высотой снежного покрова на 1 февраля в период 2001–2021 гг. в бассейнах четырёх рек Северного Казахстана: Тобола, Есиля, Шерубай-Нуры, Нуры — и объёмами их весеннего половодья. В качестве исходных данных использовались: средняя по бассейнам рек высота снега по данным продукта Snow Depth FEWS NET и объёмы весеннего паводка, зарегистрированные на гидропостах РГП «Казгидромет». Полученные результаты позволяют сделать вывод, что объём весеннего паводка в Северном Казахстане в целом не зависит от высоты снега. Однако при отдельном рассмотрении 21 наиболее малоснежного режима выявляется значимая обратная зависимость между средней высотой снега в речном бассейне и объёмом весеннего паводка. Линейный коэффициент корреляции Пирсона между высотой снега и объёмом весеннего паводка составил $r = -0,484$; значение F-критерия Фишера $F = 5,81$ ($F = 2,93$; $\alpha = 0,01$). Таким образом, в условиях малоснежных зим с высотой снега на 1 февраля менее 19 см высота снежного покрова выступает погодным фактором, имеющим тесную корреляционную связь с объёмами апрельского весеннего половодья.

Ключевые слова: степная зона Казахстана, весенний паводок, высота снежного покрова, речной бассейн, промерзание почвы

Одобрена к печати: 21.02.2023

DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-323-328

В степных ландшафтах Северного Казахстана преобладают реки казахстанского типа, которые характеризуются значительными объёмами стока только в весенний период (Ресурсы..., 1966). В остальное время речной сток может быть минимальным либо отсутствовать вовсе (Терехов и др., 2016). В отдельные годы объём весеннего паводка может приобретать значительный масштаб, что приводит к экономическому ущербу народному хозяйству Казахстана (Pshenchinova et al., 2020). В связи с этим лучшее понимание закономерностей формирования весеннего половодья в Северном Казахстане весьма востребовано.

Объём весеннего половодья и максимальные расходы воды при этом в реках Казахстана зависят от множества параметров. Основные из них это: глубина промерзания почвы в зим-

ний период; влагосодержание верхнего слоя почвы, которое зависит в основном от осадков осеннего периода; количество снега, накопленного в холодный период; погода (температура + осадки + облачность + ветер) в момент активного снеготаяния и др. (Кулик и др., 2022; Frolov, 2019; Narada et al., 2009; Iwata et al., 2008; Meshyk et al., 2021). Вариативность объёма весеннего половодья в Северном Казахстане, проходящего обычно в апреле, весьма велика и превышает два порядка (Spivak et al., 2004).

В настоящей работе рассматривались объёмы весенних паводков четырёх рек, расположенных в степной зоне Северного Казахстана. Это реки Есиль (створ с. Турген), Нура (створ ж.-д. ст. Балыкты), Тобол (створ с. Гришенка) и Шерубай-Нура (створ ж.-д. ст. Карамурын) (рис. 1). Выбранные бассейны рек характеризуются ландшафтной и климатической схожестью. Кроме того, средние многолетние уровни по высоте снега для бассейнов этих рек также близки. Например, по данным продукта Snow Depth сети систем раннего предупреждения о голоде FEWS NET (*англ.* Famine Early Warning Systems Network) на 1 февраля они составили: Есиль — 33,4 см; Нура — 27,8 см; Тобол — 31,1 см; Шерубай-Нура — 35,2 см. Бассейны этих рек — зоны высокой сельскохозяйственной активности и расположения крупных населённых пунктов, включая столицу Казахстана Астану (Акиянова и др., 2018; Akiyanova et al., 2019).



Рис. 1. Расположение анализируемой территории с отметками гидропостов РГП «Казгидромет» на реках Тобол, Есиль, Нура и Шерубай-Нура, информация с которых использовалась в исследовании

Объёмы весеннего половодья выбранных для анализа рек сильно варьируются. Например, для р. Шерубай-Нуры объём весеннего паводка в период 1957–2021 гг., по данным гидропоста «Карамурын», варьировался от 3,9 млн м³ (2018) до 567,4 млн м³ (2017). Такое положение вещей говорит о том, что во влиянии снежного покрова на объём весеннего половодья большую роль играют теплоизолирующие свойства снега, а не его водный эквивалент. Водный эквивалент снежного покрова имеет межгодовую вариативность менее 10 раз, что не может объяснить столь существенные различия объёмов весеннего паводка в разные годы. Теплоизолирующие свойства снежного покрова уменьшают промерзание грунта и его способность обеспечить транзит талой воды в русла рек. Впитывающие свойства почвогрунта способны масштабнo влиять на объём весеннего паводка: от полного перехвата талой воды до эффективного транзита в русло рек при наличии на поверхности почвы слоёв льда. При этом глубина промерзания почв и высота снежного покрова связаны между собой (Осокин и др., 2015).

В настоящем исследовании рассматривались зависимости между объёмами весенних паводков, нормированными на соответствующий средний многолетний уровень, и средними высотами снежного покрова в бассейнах анализируемых рек на 1 февраля (рис. 2).

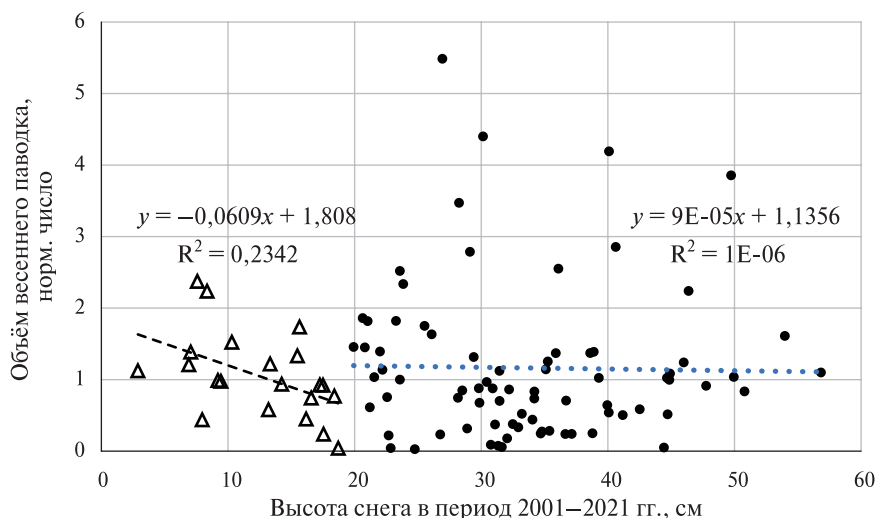


Рис. 2. Взаимосвязь между средними высотами снежного покрова на 1 февраля в бассейнах анализируемых рек Северного Казахстана (Тобол, Есиль, Нура, Шерубай-Нура) и соответствующими нормированными на средние многолетние значения объёмами весеннего паводка. Треугольниками отмечены наиболее малоснежные режимы, для которых приведена отдельная кривая линейной аппроксимации

В качестве исходной информации выступали данные об объёмах весеннего паводка, зарегистрированные на гидропостах Республиканского государственного предприятия «Казгидромет» для анализируемых рек, и средняя высота снега в бассейнах гидропостов. Данные по высоте снега брались по данным продукта Snow Depth FEWS NET в период с 2001 по 2021 г. (<https://earlywarning.usgs.gov/fews/search/Asia/Central%20Asia>). Продукт имеет точное обновление с пространственным разрешением 1 км. Валидация этого продукта в ландшафтных условиях степи-лесостепи Северного Казахстана и Южной Сибири показала достаточно неплохой уровень соответствия с данными метеостанций (Терехов и др., 2020б). Кроме того, в научной литературе отмечалось, что согласованность между связанными параметрами, например между объёмом годового стока реки со снеговым питанием и запасами снега в её бассейне, выше по данным Snow Depth FEWS NET, чем по данным метеостанций (Терехов и др., 2020в). Это указывает на достаточно высокую информативность продукта Snow Depth FEWS NET, обусловленную в том числе хорошей пространственной детализировкой оценок. В качестве календарной даты оценки высоты снега было выбрано 1 февраля. Снежный покров на 1 февраля характеризует уровень снежности территорий в наиболее холодный период, который наблюдается в Северном Казахстане в декабре – январе (Терехов и др., 2019, 2020а).

Полученные результаты в целом демонстрируют отсутствие зависимости между объёмами весеннего паводка и средней высотой снега в бассейне реки на 1 февраля (см. рис. 2). Однако если для анализа выбрать самые малоснежные режимы (21 событие), тогда имеет место выраженная зависимость между высотой снежного покрова и объёмом весеннего паводка. Причём зависимость обратная, т. е. чем меньше снега, тем больше паводок (см. рис. 2). Линейный коэффициент корреляции Пирсона между высотой снега и объёмом весеннего паводка в этом случае составил $r = -0,484$; значение F-критерия Фишера $F = 5,81$ ($F = 2,93$ для уровня значимости $\alpha = 0,01$).

Таким образом, в условиях малоснежных зим с высотой снега на 1 февраля менее 19 см высота снежного покрова представляется погодным фактором, имеющим тесную корреляционную связь с объёмами апрельского весеннего половодья.

Работа выполнена при поддержке программно-целевого финансирования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, проекты № BR10965172 и BR18574144.

Литература

1. Акиянова Ф.Ж., Фролова Н.Л., Каракулов Е.М., Кенжебаева А.Ж., Шаймерденова А. Материалы и методы оценки риска наводнений на реках Есиль и Нура в пределах пригородной зоны города Астана // Гидрометеорология и экология. 2018. Т. 90. № 3. С. 95–109.
2. Кулик А.В., Гордиенко О.А., Шайфуллин М.Р. Динамика промерзания и оттаивания почвы в агро-лесоландшафте // Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. 2022. № 112. С. 160–180. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-160-180.
3. Осокин Н.И., Сосновский А.В., Накалов П.Р. О влиянии изменчивости параметров снежного покрова на промерзание грунта // Лёд и Снег. 2015. Т. 55. № 2. С. 60–68. DOI: 10.15356/2076-6734-2015-2-60-68.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 12. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Вып. 2. Урало-Эмбинский район / под ред. З.Г. Марковой. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 152 с.
5. Терехов А.Г., Пак И.Т., Долгих С.А. Спутниковые наблюдения аномального весеннего паводка 2016 года в низовьях реки Аягуз в 2016 году // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 273–276. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-273-276.
6. Терехов А.Г., Абаев Н.Н., Юничева Н.Р. Аномальный режим снежности 2019 г. и многолетние тренды в изменениях высоты снежного покрова Казахстана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. С. 351–355. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-351-355.
7. Терехов А.Г., Ивкина Н.И., Юничева Н.Р., Витковская И.С., Елтай А.Г. (2020а) 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.
8. Терехов А.Г., Ивкина Н.И., Абаев Н.Н., Елтай А.Г., Егембердиева З.М. (2020б) Валидация суточного продукта Snow Depth FEWS NET для бассейна реки Урал по данным метеорологических наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 3. С. 31–40. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-31-40.
9. Терехов А.Г., Ивкина Н.И., Абаев Н.Н., Галаева А.В., Елтай А.Г. (2020в) Реакция стока реки Урал на изменения высоты снежного покрова в ее бассейне в период 2001–2019 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 181–190. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-181-190.
10. Akiyanova F.Z., Frolova N.L., Avezova A.A., Shaimerdenova A.M., Oleshko A.B. Water resources and system of the River Yesil (ISHIM) under conditions of active anthropogenous transformation and climate change // Eurasian J. Biosciences. 2019. V. 13. P. 1275–1289.
11. Frolov D. Calculating scheme of ground freezing depth on the basis of data on seasonal snowfall deposition, snow cower accumulation and temperature variation // IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. 2019. V. 386. No. 1. Art. No. 012033. 7 p. DOI: 10.1088/1755-1315/386/1/012033.
12. Harada Y., Tsuchiya F., Takeda K., Muneoka T. Characteristics of ground freezing and thawing under snow cover based on long-term observation // J. Japanese Society of Snow and Ice. 2009. V. 71. No. 4. P. 241–251. DOI: 10.5331/seppyo.71.4_241.
13. Iwata Y., Hayashi M., Hirota T. Comparison of snowmelt infiltration under different soil freezing conditions influenced by snow cover // Vadose Zone J. 2008. V. 7. P. 79–86. DOI: 10.2136/vzj2007.0089.
14. Meshyk A., Barushka M., Marozava V. Snow as a contributor to spring flooding in Belarus // Environmental Science and Pollution Research. 2021. V. 28. P. 18826–18836. DOI: 10.1007/s11356-020-09638-8.
15. Pshenchinova A.S., Dzhusupbekov D.K., Opp C. 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.
16. Spivak L., Arkhipkin O., Pankratov V., Vitkovskaya I., Sagatdinova G. Space monitoring of floods in Kazakhstan // Mathematics and Computers in Simulation. 2004. V. 67. Iss. 4–5. P. 365–370. DOI: 10.1016/j.matcom.2004.06.018.

Interrelation between snow cover depth and spring flooding in Northern Kazakhstan

A. G. Terekhov¹, N. N. Abayev^{1,2}, T. A. Tillakarim^{2,3}, N. T. Serikbay^{2,3}

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

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

³ *Al-Farabi Kazakh National University, Almaty 050040, Kazakhstan*
E-mail: tillakarimtursyn@gmail.com

A greater volume of spring flooding in the steppe zone of Northern Kazakhstan poses a threat of significant economic losses, which causes high practical interest in a better understanding of the mechanisms of flood formation. The volume of spring flooding in the steppe zone of Kazakhstan is controlled by two factors: the snow water equivalent of precipitation accumulated during the cold period and the soil absorbency during the period of active snowmelt. The interannual variability of the snow amount in Northern Kazakhstan is about 10 times, which significantly loses to the variability of the spring flooding volume, which reaches 150 times. Thus, the soil absorbing capacity plays a key role in the formation of the spring flood in Northern Kazakhstan. This territorial feature is associated with a relatively small annual climatic norm of precipitation (less than 500 mm) and significant winter soil freezing, reaching 120–150 cm or more. The snow cover prevents the soil freezing. This research examined the relationship between the snow depth on February 1 during 2001–2021 in the basins of four Northern Kazakhstan rivers, Tobol, Yesil, Sherubai-Nura, Nura, and the volumes of their spring floods. As initial data, the following were used: the average snow depth in river basins derived by the Snow Depth FEWS NET algorithm and the volume of spring flooding registered at the Kazhydromet stations. The results of the research allow us to conclude that the volume of spring flooding in Northern Kazakhstan, in general, does not depend on snow depth. However, when considering the 21 most low-snow regimes, there is a pronounced inverse relationship between the snow depth in the river basin and the volume of spring flooding. Pearson's linear correlation coefficient between average snow depth in the river basins and spring flood volumes was $r = -0.484$; the value of F-test $F = 5.81$ ($F = 2.93$; $\alpha = 0.01$). Thus, under conditions of low-snow winters with an average snow depth of less than 19 cm on February 1, the snow depth is a weather factor that has a close correlation with the volumes of the April spring flood.

Keywords: steppe zone of Kazakhstan, spring flood, snow depth, river basin, soil freezing

Accepted: 21.02.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-323-328

References

1. Akiyanova F., Frolova N., Karakulov E., Kezhebayeva A., Shaimerdenova A., Materials and methods of floods risk assessment on the Esil and Nura rivers within Astana suburban area, *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2018, Vol. 90, No. 3, pp. 95–109 (in Russian).
2. Kulik A. V., Gordienko O. A., Shaifullin M. R., Dynamics of soil freezing and thawing in the agroforestry landscape, *Dokuchaev Soil Bull.*, 2022, No. 112, pp. 160–180 (in Russian), DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-160-180.
3. Osokin N. I., Sosnovskiy A. V., Nakalov P. R., On the influence of variability of snow cover parameters to the ground freezing, *Led i Sneg*, 2015, Vol. 55, No. 2, pp. 60–68 (in Russian), DOI: 10.15356/2076-6734-2015-2-60-68.
4. *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).
5. Terekhov A. G., Pak I. T., Dolgikh S. A., Satellite observations of the anomalous spring flood in the lower reach of Ayaguz River in 2016, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 4, pp. 273–276 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-273-276.

6. Terekhov A. G., Abayev N. N., Yunicheva N. R., Anomalous snowy regime in 2019 and long-term trends in snow depth in Kazakhstan, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 5, pp. 351–355 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-351-355.
7. Terekhov A. G., Ivkina N. I., Yunicheva N. R., Vitkovskaya I. S., Yeltay A. G. (2020a), 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.
8. Terekhov A. G., Ivkina N. I., Abayev N. N., Yeltay A. G., Egemberdyeva Z. M. (2020b), Validation of daily Snow Depth FEWS NET product over River Ural basin on snow depth meteorological observations, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 3, pp. 31–40 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-31-40.
9. Terekhov A. G., Ivkina N. I., Abayev N. N., Galayeva A. V., Yeltay A. G. (2020c), Streamflow response of Ural River to basin snow depth changes during 2001–2019, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 5, pp. 181–190 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-181-190.
10. Akiyanova F. Z., Frolova N. L., Avezova A. A., Shaimerdenova A. M., Oleshko A. B., Water resources and system of the river Yesil (ISHIM) under conditions of active anthropogenous transformation and climate change, *Eurasian J. Biosciences*, 2019, Vol. 13, pp. 1275–1289.
11. Frolov D., Calculating scheme of ground freezing depth on the basis of data on seasonal snowfall deposition, snow cower accumulation and temperature variation, *IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science*, 2019, Vol. 386, No. 1, Art. No. 012033, 7 p., DOI: 10.1088/1755-1315/386/1/012033.
12. Harada Y., Tsuchiya F., Takeda K., Muneoka T., Characteristics of ground freezing and thawing under snow cover based on long-term observation, *J. Japanese Society of Snow and Ice*, 2009, Vol. 71, No. 4, pp. 241–251, DOI: 10.5331/seppyo.71.4_241.
13. Iwata Y., Hayashi M., Hirota T., Comparison of snowmelt infiltration under different soil freezing conditions influenced by snow cover, *Vadose Zone J.*, 2008, Vol. 7, pp. 79–86, DOI: 10.2136/vzj2007.0089.
14. Meshyk A., Barushka M., Marozava V., Snow as a contributor to spring flooding in Belarus, *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, Vol. 28, pp. 18826–18836, DOI: 10.1007/s11356-020-09638-8.
15. Pshenchinova A. S., Dzhusupbekov D. K., Opp C., 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.
16. Spivak L., Arkhipkin O., Pankratov V., Vitkovskaya I., Sagatdinova G., Space monitoring of floods in Kazakhstan, *Mathematics and Computers in Simulation*, 2004, Vol. 67, Issue 4–5, pp. 365–370, DOI: 10.1016/j.matcom.2004.06.018.