

Аномальный режим снежности 2019 г. и многолетние тренды в изменениях высоты снежного покрова Казахстана

А. Г. Терехов^{1,2}, Н. Н. Абаев^{2,3}, Н. Р. Юничева¹

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

² *РГП «Казгидромет», Алматы, 050022, Казахстан
E-mail: aterekhov1@yandex.ru*

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

На основе продукта USGS/EROS Snow Depth (FEWS NET) для сезонов 2001–2019 гг. была построена и проанализирована суточная динамика средней для территории Казахстана высоты снежного покрова в период с 1 января по 30 апреля. Последние четыре года (2015–2018) оказались для Земли самыми тёплыми за весь период инструментальных измерений. Сравнение усреднённого за последние пять лет (2015–2019) режима снежности территории Казахстана с прошлыми годами (2001–2014) показало, что высокая температура для Земли сопровождается уменьшением высоты снежного покрова страны. Начало схода снега сдвигается на более ранние сроки, примерно на 6 дней: с 23 на 17 февраля. Режим 2019 г. характеризовался малоснежностью и исключительной вариативностью. Высота снежного покрова Казахстана для близких календарных дат варьировалась от многолетнего минимума (15 марта – 14 апреля) до многолетнего максимума (19–20 апреля). Таким образом, текущее направление климатических изменений Земли ведёт к уменьшению высоты снежного покрова Казахстана и сдвигу начала схода снега на более ранние сроки. Спутниковая диагностика динамики снежного покрытия Казахстана имеет отдельное значение. Частые и сильные ветра в зоне степей и полупустынь создают помехи для наземных измерений количества твёрдых осадков в сети метеорологических станций. В связи с этим климатические тренды для Казахстана, связанные с количеством твёрдых осадков и построенные на основе наземной информации, желательно дополнять независимыми источниками, в том числе спутниковыми оценками.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, снежный покров, высота снега, территория Казахстана, многолетняя динамика, изменение климата

Одобрена к печати: 04.09.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-351-355

Казахстан расположен в центре Евразии и занимает площадь 2,73 млн км². Столь заметная часть центра материка является хорошим полигоном для мониторинга и анализа пространственно-распределённых погодных явлений, например снежного покрова. Четыре последних года (2015–2018) для Земли были самыми тёплыми за весь инструментальный период наблюдений (Заявление..., 2019). В этих условиях особый интерес представляют региональные аномалии погодных условий холодного периода. В засушливом климате Казахстана снежный покров является важным источником влаги, который оказывает значимое влияние на многие процессы (Терехов и др., 2015, 2016; Muratova, Terekhov, 2004; Spivak et al., 2012; Sultangazin et al., 2003). Спутниковый мониторинг даёт возможность регистрировать основные характеристики снега: долю покрытия (snow fraction) (например, продукт MOD10L2 (Hall, Riggs, 2007)); высоту (snow depth) (например, USGS/EROS Snow Depth (Kumar et al., 2013; Takala et al., 2011)) и водный эквивалент (snow water equivalent) (например, ESA GlobSnow Snow Water Equivalent (Kumar et al., 2013)). Существующий период спутниковых наблюдений достаточен для формирования многолетних норм и оценки относительно них режимов последних лет.

Объектом исследования в настоящей работе служила средняя высота снежного покрова Казахстана. Данные по высоте снежного покрова Центральной Азии, в том числе и территории Казахстана (USGS/EROS Snow Depth), размещены на интернет-ресурсе программы Famine

Early Warning Systems (FEWS NET) и представляют собой ежесуточные обзорные карты с пространственным разрешением около 3 мин (USGS/FEWS NET Data Portal, <https://earlywarning.usgs.gov/fews/search/Asia/Central%20Asia>). Информация доступна с октября 2000 г. Для территории Казахстана мониторинг высоты снежного покрова по данным USGS/EROS Snow Depth представляется более информативным, чем просто оценки динамики снежного покрытия (Кауазов и др., 2016; Терехов, 2018). На основе ежесуточных данных этого продукта были построены кривые снежности территории Казахстана для 2001–2019 гг. (рис. 1). Также было проведено сравнение средней высоты снега между периодами 2001–2014 и 2015–2019 гг. (рис. 2.)

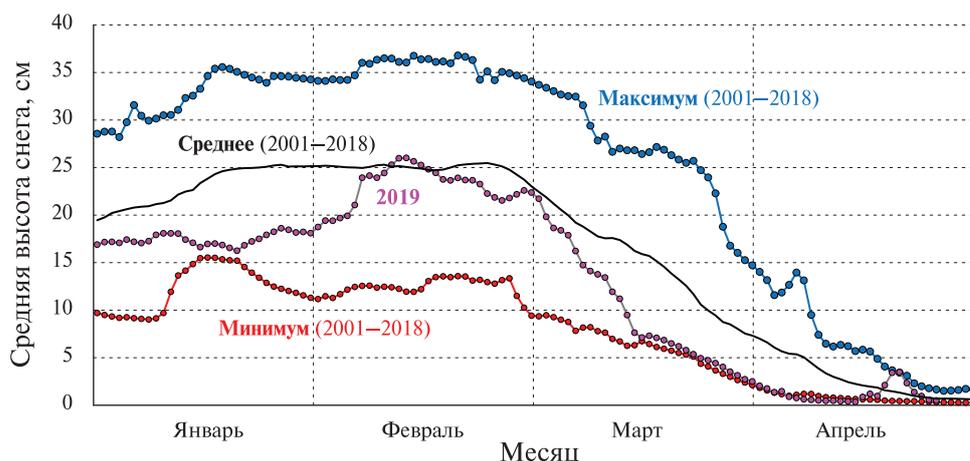


Рис. 1. Вариативность средней для территории Казахстана высоты снежного покрова (1 января – 30 апреля) в период 2001–2019 гг. Построено на основе суточных данных USGS/EROS Snow Depth FEWS NET

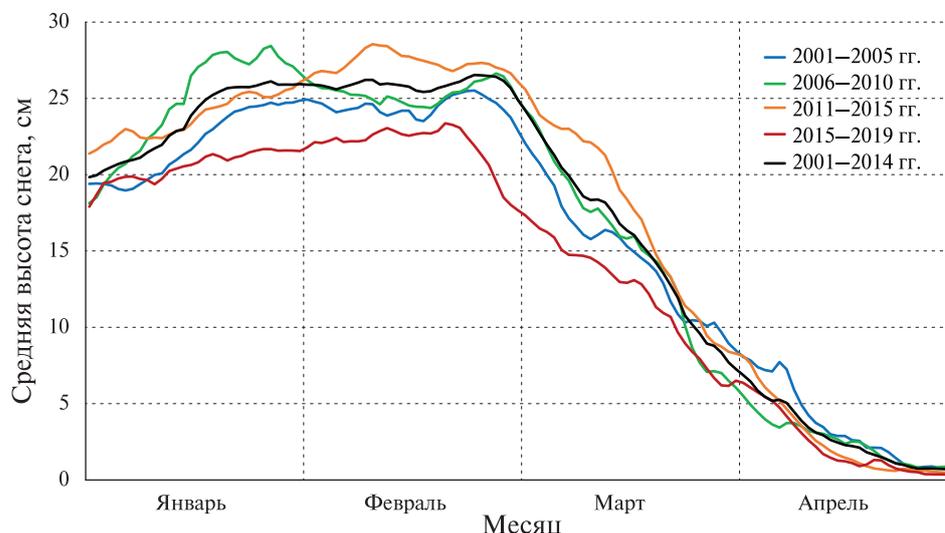


Рис. 2. Динамика пятилетних средних значений высоты снежного покрова для территории Казахстана (1 января – 30 апреля) в сравнении с периодом 2001–2014 гг. Построено на основе суточных данных USGS/EROS Snow Depth FEWS NET

Период январь – апрель 2019 г. в Казахстане был в целом тёплым и малоснежным. Только в первую половину февраля заметные осадки подняли среднюю высоту снега к многолетней норме. Затем шесть декад с положительной аномалией температуры воздуха (USGS/FEWS NET Data Portal) кардинально снизили высоту снега. Вторая декада апреля принесла обильные осадки, что привело к формированию возвратного снежного покрова.

Режим 2019 г. был малоснежным и аномально вариабельным. В течение сезона высота снежного покрова Казахстана кардинально изменялась: от уровня, близкого к многолетнему минимуму (15–20 января, 12–31 марта), с обновлением значений многолетнего минимума (1–14 апреля) до многолетнего максимума (19–20 апреля). В целом последние пять лет (2015–2019) характеризовались заметно меньшей толщиной снега в январе – феврале: в пределах от 6,7 % (на 3 января) до 17,8 % (на 20 января) (см. *рис. 2*). Также регистрировались более ранние сроки начала схода снега. Сдвиг в среднем составил 6 дней: с 23 на 17 февраля (см. *рис. 2*). Таким образом, текущее направление климатических изменений ведёт к уменьшению высоты снежного покрова Казахстана и сдвигу начала схода снега на более ранние сроки.

Сильный ветер, часто возникающий в зоне степей и полупустынь, в условиях отсутствия естественной ветровой защиты (деревьев) создаёт серьёзные помехи в определении количества твёрдых осадков (Guide..., 2017). В результате количество твёрдых осадков, регистрируемых осадкомерами на метеорологических станциях Казахстана в зоне сильных ветров, остаётся не до конца определённым. В связи с этим оценки параметров климатических трендов холодного периода, основанные на данных о наземных осадках, желательно дублировать независимыми источниками, например спутниковыми данными.

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан (проекты АР 05134241 и АР 05135848).

Литература

1. *Кауазов А. М., Дара А. С., Батырбаева М. Ж., Витковская И. С., Муратова Н. Р., Сальников В. Г., Турулина Г. К., Полякова С. Е., Спивак Л. Ф., Тюребаева С. И.* Исследование динамики дат схода снежного покрова в Северном Казахстане // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2016. Т. 13. № 1. С. 161–168. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-161-168.
2. *Терехов А. Г.* Спутниковый мониторинг формирования снежного покрова Казахстана // *Гидрометеорология и экология*. 2018. Вып. 90. № 3. С. 29–36.
3. *Терехов А. Г., Пак И. Т., Долгих С. А.* Данные Landsat 5, 7, 8 и ЦМР в задаче мониторинга гидрологического режима Капшагайского водохранилища на реке Текес (китайская часть бассейна реки Иле) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2015. Т. 12. № 6. С. 174–182.
4. *Терехов А. Г., Пак И. Т., Долгих С. А.* Спутниковые наблюдения аномального весеннего паводка 2016 года в низовьях реки Аягуз // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2016. Т. 13. № 4. С. 273–276. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-273-276.
5. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation* (2014). WMO. 2017. No. 8. URL: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=12407#.XbdHq4_VJWI/ (accessed 23.04.2019).
6. *Hall D. K., Rigs G. A.* Accuracy assessment of the MODIS snow products // *Hydrological Processes*. 2007. V. 21(12). P. 1534–1547.
7. *Kumar S. V., Peters-Lidard C. D., Mocko D., Tian Y.* Multiscale evaluation of the improvements in surface snow simulation through terrain adjustments to radiation // *J. Hydrometeorology*. 2013. V. 14(1). P. 220–232.
8. *Muratova N., Terekhov A.* Estimation of spring crops sowing calendar dates using MODIS in Northern Kazakhstan // *Proc. Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS)*. 20–24 Sept. 2004. Anchorage, Alaska, USA. 2004. V. 6. P. 4019–4020.
9. *Spivak L., Vitkovskaya I., Batyrbayeva V., Terekhov A.* The experience of land cover change detection by satellite data // *Frontiers of Earth Science*. 2012. V. 6. Iss. 2. P. 140–146. DOI: 10.1007/s11707-012-0317-z.
10. *Sultangazin U., Muratova N., Doraiswamy P., Terekhov A.* Estimation of weed infestation in spring crops using MODIS data // *Proc. Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS)*. 21–25 July 2003, Toulouse, France. 2003. V. 1. P. 392–394.
11. *Takala M., Luojus K., Pulliainen J., Derksen C., Lemmetyinen J., Karna J.-P., Koskinen J., Bojkov B.* Estimating Northern hemisphere snow water equivalent for climatic research through assimilation of spaceborne radiometer data and ground-based measurements // *Remote Sensing of Environment*. 2011. V. 115. Iss. 12. P. 3517–3529. DOI: 10.1016/j.rse.2011.08.014.
12. *WMO Statement on the state of the global climate in 2018*. WMO, 2019. No. 1233. 44 p. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5789/.

Anomalous snow regime in 2019 and long-term trends in snow depth in Kazakhstan

A. G. Terekhov^{1,2}, N. N. Abayev^{2,3}, N. R. Yunicheva¹

¹ *Institute of Information and Computing Technology MES, Almaty 050010, Kazakhstan*
E-mail: naduni@mail.ru

² *RSE "Kazhydromet", Almaty 050022, Kazakhstan*
E-mail: aterekhov1@yandex.ru

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

On the basis on Snow Depth (FEWS NET), the product of USGS/EROS, the daily dynamics of snow depth in Kazakhstan from January 1 to April 30, 2001–2019, was constructed and analyzed. The last four years (2015–2018) turned out to be the warmest for the Earth over the entire period of instrumental observations. Comparison of the snow regime of the territory of Kazakhstan averaged over the last five years (2015–2019) with the previous years (2001–2014) showed that the high temperature on the Earth is accompanied by a decrease of the snow cover depth in Kazakhstan. The beginning of the snowmelt period has shifted to earlier periods. The shift was about 6 days (from 23 to 17 February). The snow cover regime of 2019 was characterized by low snowfall and exceptional variability. The snow depth in Kazakhstan for close calendar dates varied, from a long-term minimum (April 1–14) to a long-term maximum (April 19–20). Thus, the current direction of global climatic changes leads to a decrease in the snow depth in Kazakhstan and a shift of the beginning of snowmelt period to earlier periods. Satellite diagnostics of snow cover dynamics in Kazakhstan has a particular significance. Frequent and strong winds in the steppe and semi-desert zones of Kazakhstan interfere with ground-based measurements of solid precipitation. In this regard, climatic trends for Kazakhstan related to the amount of solid precipitation, built on the basis of ground-based information, should preferably be supplemented with independent data sources including satellite ones.

Keywords: remote sensing, snow cover, snow depth, territory of Kazakhstan, long-term trends, climate change

Accepted: 04.09.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-351-355

References

1. Kauazov A. M., Dara A. S., Batyrbaeva M. Zh., Vitkovskaya I. S., Muratova N. R., Salnikov V. G., Turulina G. K., Polyakova S. E., Spivak L. F., Turebayeva S. I., Issledovanie dinamiki dat skhoda snezhnogo pokrova v Severnom Kazakhstane (Investigation of timing dynamics of snow cover loss in Northern Kazakhstan), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 1, pp. 161–168, DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-161-168.
2. Terekhov A. G., Sputnikovyi monitoring formirovaniya snezhnogo pokrova Kazakhstana (Satellite monitoring of forming snow cover of Kazakhstan), *Gidrometeorologiya i Ekologiya*, 2018, Issue 90, No. 3, pp. 29–36.
3. Terekhov A. G., Pak I. T., Dolgikh S. A., Dannye LANDSAT 5,7,8 i TsMR v zadache monitoringa gidrologicheskogo rezhima Kapshagaiskogo vodokhranilishcha na reke Tekes (kitaiskaya chast' basseina reki Ile) (Hydrology monitoring of Kapchagay reservoir on river Tekes (China's part of river Ile basin) based on LANDSAT 5,7,8 data and DEM bathymetry), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 6, pp. 174–182.
4. Terekhov A. G., Pak I. T., Dolgikh S. A., Sputnikovye nablyudeniya anomal'nogo vesennego pavodka 2016 goda v nizov'yakh reki Ayaguz (Satellite observations of the anomalous spring flood at the lower reach of the Ayaguz river in 2016), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 4, pp. 273–276, DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-273-276.
5. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (2014)*, WMO, 2017, No. 8, available at: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=12407#.XbdHq4_VJWI/ (accessed 23.04.2019).
6. Hall D. K., Rigs G. A., Accuracy assessment of the MODIS snow products, *Hydrological Processes*, 2007, Vol. 21, pp. 1534–1547.

7. Kumar S. V., Peters-Lidard C. D., Mocko D., Tian Y., Multiscale evaluation of the improvements in surface snow simulation through terrain adjustments to radiation, *J. Hydrometeorol.*, 2013, Vol. 14, No. 1, pp. 220–232.
8. Muratova N., Terekhov A., Estimation of spring crops sowing calendar dates using MODIS in Northern Kazakhstan, *Proc. IGARSS'04*, Anchorage, 2004, Vol. 6, pp. 4019–4020.
9. Spivak L., Vitkovskaya I., Batyrbayeva V., Terekhov A., The experience of land cover change detection by satellite data, *Frontiers of Earth Science*, 2012, Vol. 6, Issue 2, pp. 140–146, DOI: 10.1007/s11707-012-0317-z.
10. Sultangazin U., Muratova N., Doraiswamy P., Terekhov A., Estimation of weed infestation in spring crops using MODIS data, *Proc. IGARSS'03*, Toulouse, 2003, Vol. 1, pp. 392–394.
11. Takala M., Luojus K., Pulliainen J., Derksen C., Lemmetyinen J., Karna J.-P., Koskinen J., Bojkov B., Estimating Northern hemisphere snow water equivalent for climatic research through assimilation of spaceborne radiometer data and ground-based measurements, *J. Remote Sensing of Environment*, 2011, Vol. 115, Issue 12, pp. 3517–3529, DOI: 10.1016/j.rse.2011.08.014.
12. *WMO Statement on the state of the global climate in 2018*, WMO, 2019, No. 1233, 44 p., available at: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5789/.