

РОЛЬ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ФОРМИРОВАНИИ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА РЕКАХ БЕЛАРУСИ

О. П. Мешик, кандидат технических наук

В. А. Морозова, старший преподаватель

М. В. Борушко, старший преподаватель

УО «Брестский государственный технический университет»,
г. Брест, Беларусь

Аннотация

Представлены результаты исследований характеристик снежного покрова за репрезентативный период 1945–2019 гг. Чрезмерное количество или недостаток снега приводит к возникновению таких проблем для экономики страны, как выпревание озимых культур, обмерзание саженцев, снегозаносы на автомобильных и железных дорогах, деформации конструкций зданий и сооружений, весенние половодья на реках и др. Цель данного исследования – оценка роли снежного покрова в формировании весенних половодий на реках Беларуси. Выполнена оценка пространственно-временной изменчивости характеристик снежного покрова, выявлена их трансформация за последние десятилетия. Расчеты весеннего снеготаяния позволили установить долю вклада запасов воды в снеге в годовой сток рек. Построенные карты могут служить основой для прогнозирования половодий.

Ключевые слова: снежный покров, запас воды в снеге, пространственно-временная изменчивость, прогнозирование, половодье.

Abstract

A. P. Meshyk, V. A. Marozava, M. V. Barushka

THE ROLE OF SNOW COVER IN FORMING SPRING FLOODING ON BELARUS RIVERS.

The article presents the results of the research about snow cover characteristics observed in Belarus within a representative period of 1945–2019. Excessive or insufficient amount of snow may cause such problems for the country's economy as winter crops damping-off, frost-killing of seedlings, snowdrift on highways and railways, deformation of buildings and structures under snow loads, spring floods in rivers. The purpose of this research is to determine the role of snow cover in forming spring flooding on Belarus' rivers. The authors have estimated space-time variability of the characteristics of snow cover in Belarus and revealed their transformations over the last few decades. The calculation of spring snowmelt allowed them to determine how much snow water equivalent contributes into the yearly river runoff. The maps created in this research can be used to forecast spring floods.

Keywords: snow cover, snow water equivalent, space-time variability, forecast, flooding.

Введение

Одной из больших природных проблем в Беларуси является весеннее половодье рек. При этом могут быть затоплены огромные площади, включающие сельскохозяйственные угодья с озимыми культурами, застроенные территории и др. Например, пойма реки Припять может затопливаться более чем на 50 км.

По данным ООН, наводнения приносят 26 % всех жертв стихийных бедствий и 32 % всего материального ущерба, причиненного стихийными бедствиями [1]. Наводнения занимают первое место среди других природных опасностей

с точки зрения их возникновения, масштаба и потери имущества. Увеличение экономических потерь, вызванных наводнениями, – результат роста интенсивности и частоты возникновения наводнений. Это происходит потому, что в последнее время более широко эксплуатируются земли водосборных бассейнов, речных долин и равнин [2, 3]. Распространенной практикой последних лет стала интенсивная застройка и распашка пойм на фоне череды последних маловодных десятилетий. Экологические риски стали актуальнее.

Доля весеннего стока на реках Беларуси колеблется в пределах 40–60 % годового стока. Анализ среднего максимального стока весенних половодий показывает, что максимальный сток значительно сократился. Одна из причин этого – увеличение количества оттепелей зимой. Многократные фазовые переходы, таяние снега приводят к увеличению зимнего стока и иногда зимних паводков с меньшими расходами весеннего половодья [4]. Такие тенденции описаны, в частности, во многих исследованиях [5].

В этой связи основным фактором, способствующим зимнему и весеннему половодью

на реках Беларуси, особенно на территории Полесья, является снегонакопление. Именно поэтому необходимо исследовать особенности снежного покрова и их пространственно-временное распределение с целью прогнозирования возможного затопления сельскохозяйственных и жилых территорий [6]. Сейчас для прогнозирования весенних половодий используется множество моделей и методов, включающих различные метеорологические параметры. Но самый важный из них – это запас воды в снеге [7].

Методика и объекты исследования

В данном исследовании используются официальные данные климатического мониторинга по 48 метеостанциям Беларуси за 1945–2019 гг. Данные характеризуют высоту снежного покрова, см; плотность снега, г/см³; запасы воды в снеге, мм.

Многие исследователи указывают на трудности в определении запасов воды в снеге на метеостанциях. Поэтому они предлагают при-

менять методы дистанционного зондирования земли [8, 9]. Однако сегодня в Беларуси мы можем вычислить запасы воды в снеге с достаточной точностью только с помощью маршрутных снегосъемок. Они проводятся один раз в декаду зимой. Применяемые нами методы исследования включают: пространственно-временной анализ данных наблюдений, аналитические расчеты, картографирование.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 а приведена карта распределения на территории страны максимальных запасов воды в снеге (мм), построенная с использо-

ванием Крайгинга. Карта характеризует абсолютные максимумы в формировании запасов воды в снеге за период 1945–2019 гг.

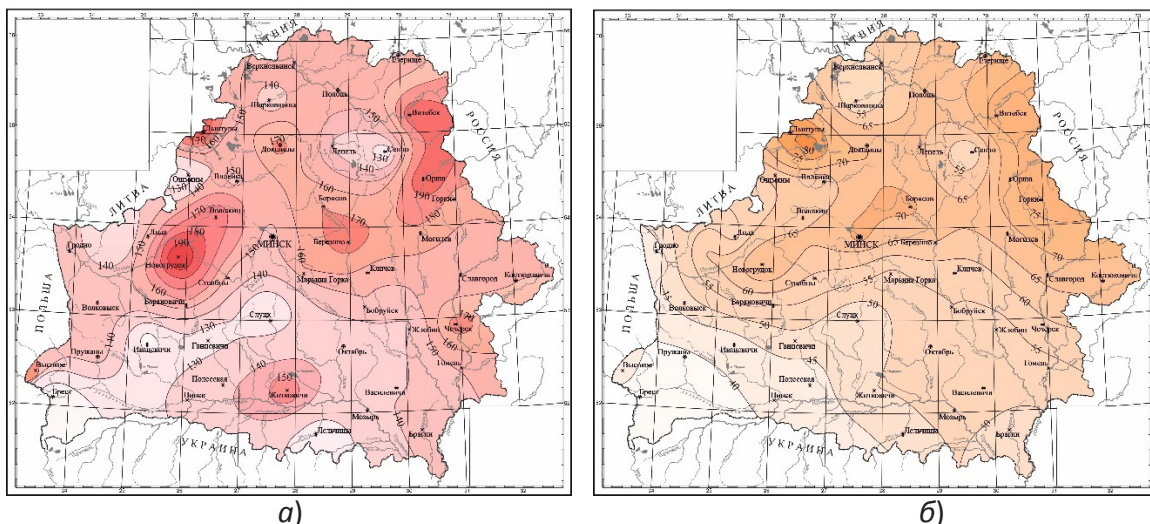


Рис. 1. Распределение максимальных запасов воды в снеге на территории Беларуси, мм: а) максимальных, б) средних максимальных

Как видно из карты (рис. 1 а), наибольшие запасы воды в снеге относятся к северо-восточной (район Витебска, Орши), северо-западной (Лынтупы) и центральной (Новогру-

док, Березино) частям территории Беларуси. Наибольшее количество снега выпадает на возвышенностях, и, как следствие, здесь имеют место максимальные запасы воды в снеге.

Однако условия залегания снежного покрова на склонах иные, чем на равнинах. В условиях равнинного рельефа поверхностный сток замедлен, что в итоге приводит к значительным весенним разливам рек, которые мы наблюдаем в Белорус-

ском Полесье. Вклад в запасы воды в снеге высоты местности как регионального фактора (Минская, Новогрудская, Ошмянская возвышенности и др.) представлен соответствующей связью, имеющей статистическую значимость (рис. 2).

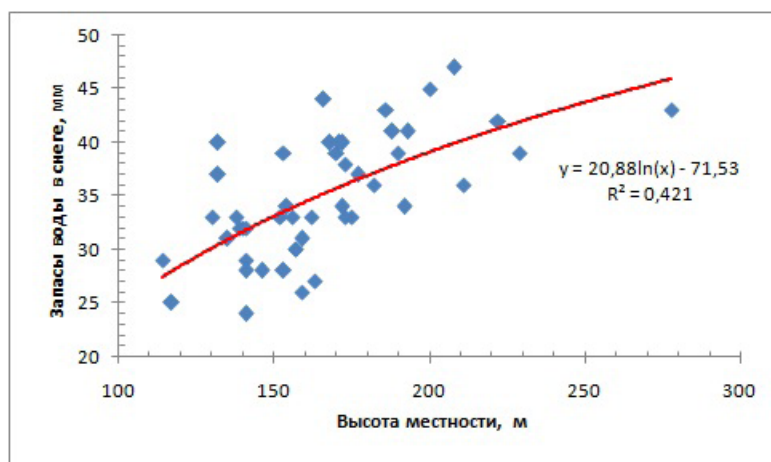


Рис. 2. Зависимость запасов воды в снеге от высоты местности

Наименьшие запасы воды в снеге присущи юго-западу (Брест, Лельчицы) и северо-западу (Шарковщина, Сенно) территории Беларуси. Осредненные значения выделенных максимальных величин характеризуют наиболее типичную картину формирования запасов воды в снеге на исследуемой территории (рис. 1 б). На рис. 1 б представлена схожая приуроченность соответствующих средних максимумов значений запасов воды в снеге (северо-западная, северо-восточная и центральная части Беларуси). Однако рис. 1 б показывает большую плавность изолиний и увеличение снеготпасов по направлению юго-запад – северо-восток.

На запасы воды в снеге, выступающие основным фактором весеннего половодья и опреде-

ляющие снеговые нагрузки на здания и сооружения, влияют высота снежного покрова и его плотность, причем эти параметры используются во взаимосвязи. В природе наблюдаются различные соотношения плотности и высоты снега, чаще всего – смещение пиков во времени на 1–2 декады. Период с максимальной высотой снежного покрова наступает раньше, а затем, при подтаивании снега (весной и во время оттепелей в холодный период), уменьшается его мощность и увеличивается плотность. Наибольшие запасы воды в снеге фиксируются при максимальных значениях мощности снежного покрова и его плотности (рис. 3). В этой связи необходим анализ максимальных высот снежного покрова и максимальных плотностей.

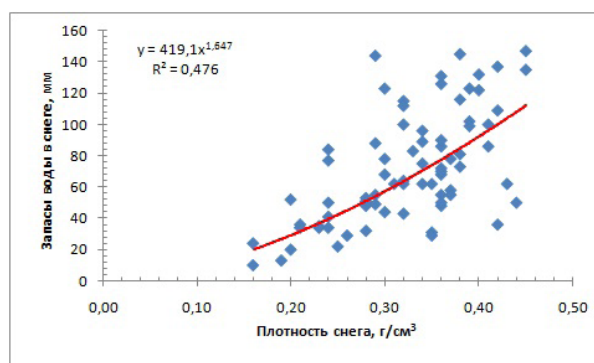
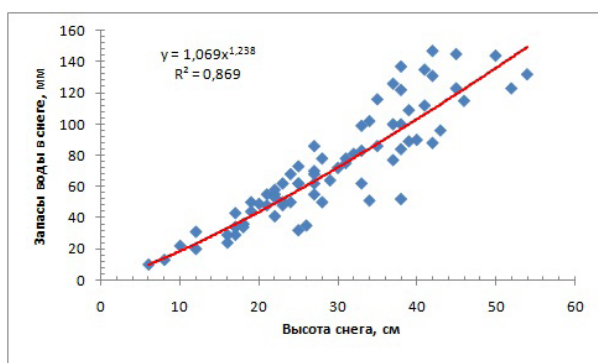


Рис. 3. Взаимосвязи запасов воды в снеге с высотой снежного покрова и плотностью

Оценка временной изменчивости характеристик снежного покрова выполнена нами в ходе анализа скользящих средних максимальных запасов воды в снеге по отдельным метеостанциям. При этом выделялись трендовые составляющие (таблица).

Таблица. **Линейные тренды изменения характеристик снежного покрова**

Метеостанция	Максимальные запасы воды в снеге, мм	Высота снега, см
Минск	$Q = -0,40 t + 87,4$	$h = -0,03 t + 29,9$
Гродно	$Q = -0,10 t + 47,1$	$h = -0,02 t + 19,1$
Могилев	$Q = -0,26 t + 78,0$	$h = 0,01 t + 26,9$
Брест	$Q = 0,07 t + 33,5$	$h = 0,05 t + 13,5$
Гомель	$Q = 0,11 t + 48,0$	$h = 0,11 t + 17,6$
Витебск	$Q = 0,14 t + 74,3$	$h = 0,08 t + 25,9$

На большей части территории Беларуси наблюдается тенденция к снижению запасов воды в снеге до 4–8 мм за 10 лет по отдельным районам. Однако для водосборов рек Западный Буг, Припять, Березина, Днепр наблюдается противоположная картина. На рис. 4 представлена карта, характеризующая трансформацию запасов воды в снеге с различными трендами [10].

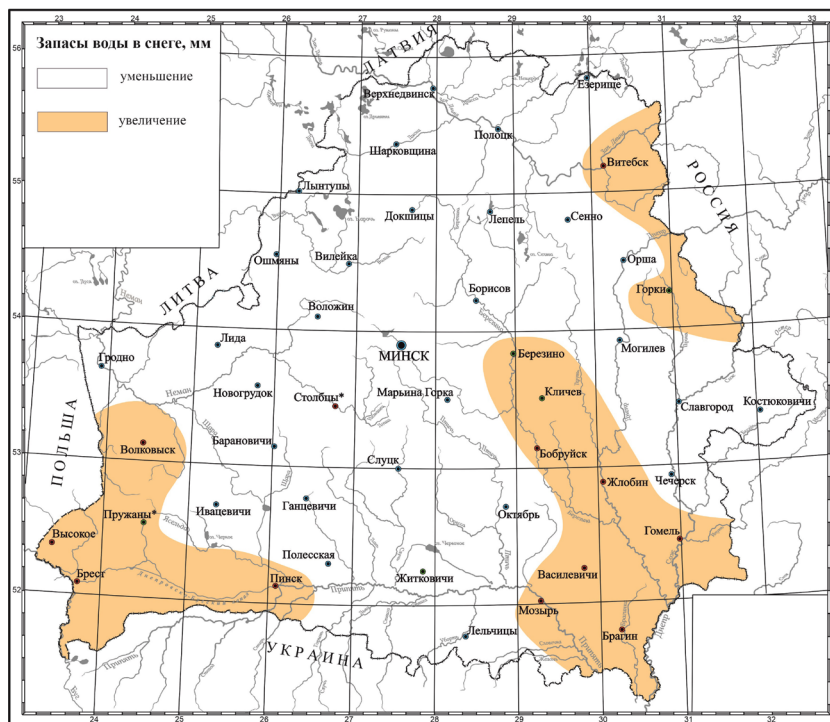


Рис. 4. Трансформация запасов воды в снеге на территории Беларуси [10]

На рис. 5 приведена карта районирования территории Беларуси по тенденциям изменения максимальных значений высоты снежного покрова.

Анализ карты, представленной на рис. 5, показывает, что в центральной части (Минск, Марьина Горка) и в северо-западной части Беларуси (Гродно, Лида, Новогрудок, Лынтупы) высота снежного покрова уменьшается – тренд отрицательный. Однако на большей части территории страны (60 %) имеет место

некоторое увеличение высоты снежного покрова.

Анализ межгодовой изменчивости характеристик снежного покрова указывает на проявление строгой периодичности во временных рядах запасов воды в снеге. Начиная с начала 1990-х гг. происходит рост запасов воды в снеге на всех метеостанциях [11] (рис. 6). Однако аномальная зима 2019–2020 гг. нарушает сложившуюся тенденцию, когда в юго-западной части Беларуси снежный покров вообще не сформировался.

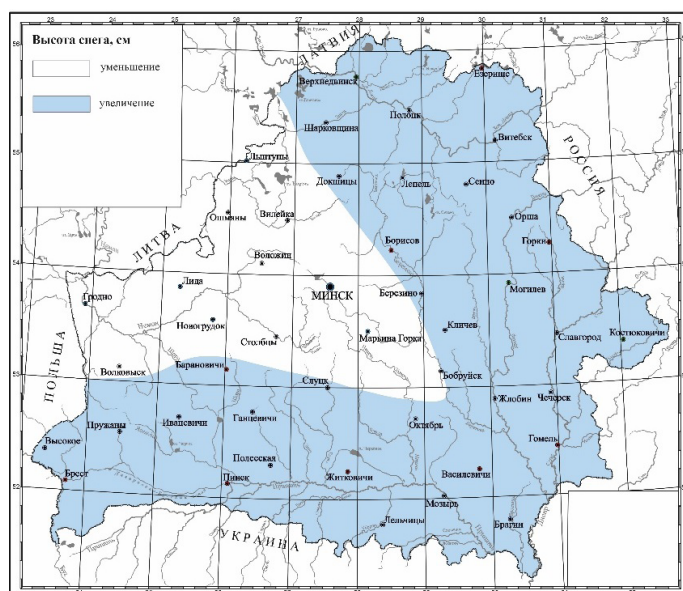


Рис. 5. Трансформация максимальных значений высоты снежного покрова на территории Беларуси

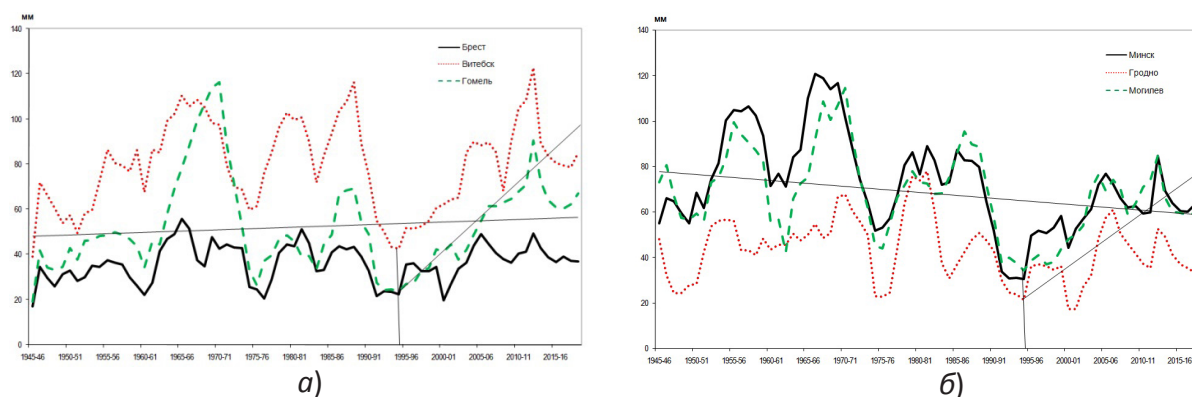


Рис. 6. Кривые скользящих 5-летних средних сумм максимальных снегозапасов для метеопунктов областных центров Беларуси: а) с положительным трендом; б) отрицательным трендом

Прогнозирование весеннего половодья на территории Беларуси мы осуществляем с помощью картографирования характеристик снежного покрова в реальные годы. При этом используются данные метеорологических станций совместно с результатами дистанционного зондирования Земли. Построенные карты на начало половодья по запасам воды и высоте снега дают возможность выделить

районы, подверженные весеннему затоплению. Необходимо отметить, что половодья и наводнения часто чередуются с засухами. После 2013 г. в Белорусском Полесье переживается засуха 5 лет подряд. Судоходство на р. Припять летом приостанавливается, и некогда многоводную реку можно перейти вброд.

Количество растаявшего за сутки снега рассчитывается по формуле П. П. Кузьмина [12]:

$$m = 0,878(t + 1,75(e - 6,11))(1 + 0,547v), \text{ мм/день,}$$

где t – среднесуточная температура воздуха, °С; e – среднесуточное парциальное давление водяного пара на высоте 2 м, Па; v – среднесуточная скорость ветра на высоте флюгера, м/с.

Расчеты показали, что возможное максимальное суточное таяние снега достигает 26 мм, в среднем 5–6 мм. Средний объем речного стока, который образуется в пределах Беларуси, со-

ставляет 58 км³. На долю снежного питания при этом приходится 11 км³, что составляет 19 %. В особо экстремальные годы талые воды достигают объема 29 км³, что составляет более половины всего годового стока рек [10]. Для водосбора р. Припять формируются запасы воды в снеге в среднем 2,08 км³, а в экстремальные годы – до 5,71 км³.

Заключение

Установленное уменьшение стока весеннего половодья вовсе не исключает возможностей формирования крупных наводнений, а следовательно, и значительного экономического ущерба. Поэтому дальнейшее изучение максимальных расходов воды рек важно с целью прогнозирования и районирования территории по степени затопления поймы

половодьем различной обеспеченности. Пойма должна подразделяться на зоны риска в соответствии с содержанием карты паводкоопасных районов. На этой основе должна разрабатываться стратегия и государственная программа защиты территорий/ угодий и страхования рисков от наводнений.

Библиографический список

1. Avakyan, A. B. Floods Concept of protection / A. B. Avakyan // Herald of the Russian Academy of Sciences. – Ser. Geographic. – 2000. – № 5. – P. 40–46.
2. Валуев, В. Е. Половодье рек Белорусского Полесья как аномальное современное климатическое явление / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, О. П. Мешик // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – Сер. Водохоз. строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2014. – № 2 (86). – С. 109–117.
3. Истомина, М. Н. Наводнения: генезис, социально-экономические и экологические последствия наводнений / М. Н. Истомина, А. Г. Кочарян, И. П. Лебедева // Вод. ресурсы. – 2005. – Т.32. № 4. – С. 389–398.
4. Volchak, A. A. Floods on the territory of Polesie / A. A. Volchak, A. P. Meshyk, M. M. Sheshka [et al.] // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 162. – P. 91–97. Doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.020.
5. Barnett, T. P. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions / T. P. Barnett, J. C. Adam, D. P. Lettenmaier. – Nature. – 2005. – Vol. 438. – P. 303. Doi: 10.1038/nature04141.
6. Saloranta, T. A model setup for mapping snow conditions in High-Mountain Himalaya / T. Saloranta, A. Thapa, J. D. Kirkham [et al.]. – Front. Earth Sciences. – 2019. – Vol. 7. – P. 129. Doi: 10.3389/feart.2019.00129.
7. Carroll, S. S. Spatial modeling and prediction of snow-water equivalent using ground-based, airborne, and satellite snow data / S. S. Carroll, T. R. Carroll, R. W. Poston // Journ. of Geophysical Research Atmospheres. – 1999. – Vol. 104. – P. 19623–19629. Doi: 10.1029/1999JD900093.
8. Henkel, P. Snow water equivalent of dry snow derived from GNSS carrier phases / P. Henkel, F. Koch, F. Appel [et al.] // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2018. – Vol. 56. – P. 3561–3572. Doi: 10.1109/TGRS.2018.2802494.
9. Appel, F. Advances in snow hydrology using a combined approach of GNSS in situ stations, hydrological modelling and earth observation – a case study in Canada / F. Appel, F. Koch, A. Rösel [et al.] // Geosciences. – 2019. – Vol. 9. – P. 44. Doi: 10.3390/geosciences9010044.
10. Meshyk, A. Snow as a contributor to spring flooding in Belarus / A. Meshyk, M. Barushka, V. Marozava // Environmental Science and Pollution Research International. – 2020. – Issue 21. – P. 1–11. Doi.org/10.1007/s11356-020-09638-8.
11. Мешик, О. П. Особенности оценки запасов воды в снеге и их пространственно-временной изменчивости на территории Беларуси / О. П. Мешик, В. А. Морозова // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов IV Междунар. науч.- практ. конф., приуроч. к 1000-летию г. Бреста, Брест, 12–14 сент. 2019 г. / Брест. гос. ун-т имени А. С. Пушкина; под ред. А. К. Карабанова [и др.]. – Брест : БрГУ, 2019. – Ч. 2. – С. 34–37.
12. Климат Беларуси / Акад. наук Беларуси, Ком-т по гидрометеорологии МЧС Респ. Беларусь; под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : [б. и.], 1996. – 234 с.

Поступила 25 октября 2020 г.