

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РЕЖИМА СНЕЖНОГО ПОКРОВА

О. П. Мешик¹, В. А. Морозова², М. В. Борушко³¹ К. т. н., доцент, заведующий кафедрой природообустройства

Брестского государственного технического университета, Брест, Беларусь, e-mail: omeshyk@gmail.com

² Магистр технических наук, аспирант кафедры природообустройства, старший преподаватель кафедры начертательной геометрии и инженерной графики Брестского государственного технического университета, Брест, Беларусь, e-mail: vmorozova-brest@mail.ru³ Магистр технических наук, аспирант кафедры природообустройства, старший преподаватель кафедры иностранных языков Брестского государственного технического университета, Брест, Беларусь, e-mail: borushko.marina@mail.ru**Реферат**

В статье анализируются методы расчета снеготаяния, режима снежного покрова в Брестской области. Отмечается большое количество фазовых переходов воды, влияющих на исходное снегонакопление. Оценку запасов воды в снеге и его характеристик предлагается проводить с использованием метода водного баланса. Даются расчетные воднобалансовые схемы.

Ключевые слова: снежный покров, режим, фазовые переходы, снеготаяние, снегонакопление, методы, водный баланс, сублимация.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO ESTIMATING A REGIME OF SNOW COVER

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

Abstract

This paper gives an analysis of some methods for calculating the amount of melt snow and the regime of snow cover in Brest Region. It is noted that there are many phase transitions of water that influence the initial snow accumulation. Snow water equivalent and its features is proposed to estimate with the use of water balance method. Some design water-balance schemes are provided.

Keywords: snow cover, regime, phase transitions, snow melt, snow accumulation, methods, water balance, sublimation.

Введение

Снег представляет собой мощный климатообразующий фактор, а также является важным гидрологическим ресурсом. Он играет значительную роль при взаимодействии климатических, гидрологических и гляциологических процессов. Большое значение снег имеет для земледелия, так как температура почвы, ее влажность, химический состав, структура, насыщенность микроорганизмами в немалой степени зависят от мощности снежного покрова и его свойств. Особенно большую роль снежный покров играет в засушливых областях, где он нередко оказывается основным и единственным источником почвенной влаги. Для территории Беларуси, относящейся к зоне неустойчивого естественного увлажнения, снегонакопление является значимым, так как еще в марте на полях имеет место избыток почвенных влагозапасов, но уже к середине апреля по ряду районов уже требуется дополнительное увлажнение. Для сельского хозяйства снежный покров – это запас воды, необходимой для растений, защита от вымерзания озимых и многолетних культур, корневая система которых является достаточно уязвимой [1].

Однако, помимо благоприятных факторов, снежный покров может нести и негативные влияния. Так, на территории Республики Беларусь снежный покров является источником питания рек в весенний период, тем самым формируя весеннее половодье, обусловленное таянием снега, накопленного за зиму. Сток весеннего половодья составляет 40–60 % объема годового стока, в период половодья подвергаются затоплению населенные пункты и сельскохозяйственные земли [2, 3, 4]. Другим неблагоприятным фактором является возможное разрушение конструкций зданий и сооружений в результате сверхнормативных снеговых нагрузок. В первом случае, определяющем величину весеннего половодья и наводнений, является снеготаяние и его интенсивность. Во втором – снегонакопление.

Неустойчивость естественного увлажнения территории Беларуси по годам, ее температурный режим приводят к чередованию циклов снегонакопления и снеготаяния, многочисленным фазовым переходам воды в течение зимнего периода.

Расчеты снегонакопления и снеготаяния лежат в основе практически всех моделей формирования стока весеннего половодья. В настоящее время используются различные модели и методы, включающие разного рода метеорологические характеристики, но одна из важнейших характеристик – это запас воды в снеге [5–9 и др.]. Результаты моделирования во многом определяются выбранным методом расчета снеготаяния и наличием необходимой гидрометеорологической информации. Запас воды в снеге также является определяющим при оценке веса снегового покрова и его воздействии на строительные конструкции.

Материалы и методы

Объектом исследования являются характеристики снежного покрова. В работе использованы официальные данные климатического мониторинга по 9 метеостанциям (Брест, Барановичи, Высокое, Ганцевичи, Дрогичин, Ивацевичи, Пинск, Полесская, Пружаны) Брестской области Республики Беларусь. Данные характеризуют: температуру воздуха (максимальную, минимальную, среднюю), °С; максимальную скорость ветра, м/с; сумму атмосферных осадков, мм; относительную влажность, %; высоту снежного покрова, см; плотность снега, г/см³; запасы воды в снеге, мм [10].

Предметом исследования являются методы оценки процессов снегонакопления и таяния снежного покрова на исследуемой территории.

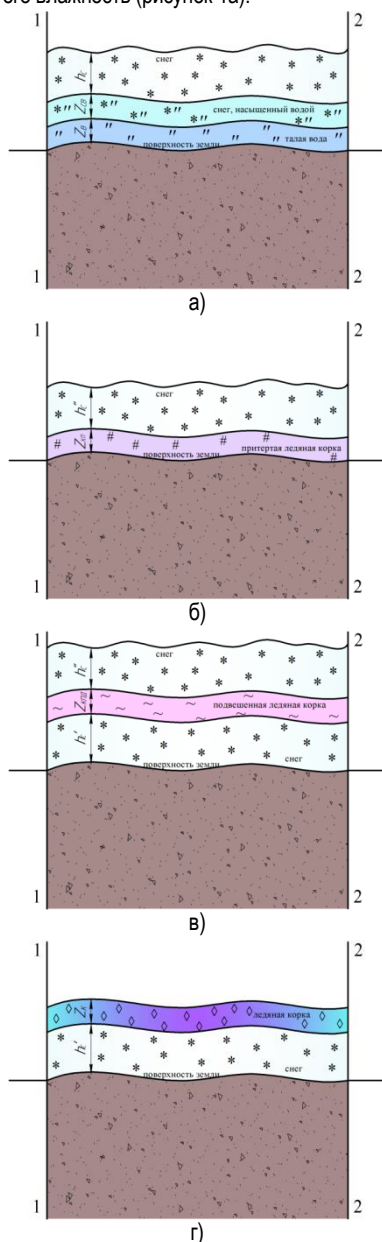
Основная часть

Сложные процессы снегонакопления и снеготаяния обусловлены рядом факторов, которые достаточно сложно смоделировать, особенно в малоизученных районах. Температура воздуха служит главным фактором образования и разрушения снежного покрова. Образование твердых осадков зависит не только от прямого снижения температуры, но и от продолжительности холодного периода, когда температура приземных слоев воздуха ниже 0 °С. В процессе накопления снежного покрова в результате изменения метеорологических условий его свойства и структура меняются послойно. Рыхлая структура обычно свойственна свежеснежавшему снегу. Его уплотнение обычно связано с давлением собственного веса и наличием оттепелей. Частные случаи снегонакопления приведены на рисунке 1.

Еще одним не менее важным фактором являются характеристики почвы: влажность и температура. Если под снегом находится мерзлый грунт с низкими температурами, то при оттаивании часто наблюдается уплотнение и образование притертой ледяной корки в нижнем слое у поверхности (рисунок 1б). Вид и количество жидких осадков в период установившегося снежного покрова также вносят свой вклад в изменение его структуры. Когда идет небольшой дождь, на поверхности снежного покрова может образовываться ледяная корка (рисунок 1г). Более крупные капли проникают в толщу снежного покрова и способствуют его уплотнению за счет промерзания. На образованной ледяной корке также впоследствии может накапливаться снежный покров (рисунок 1в). Наличие в снегу механических примесей и пыли приводит к значительному ускорению процесса снеготаяния за счет снижения альбедо.

Основными источниками тепла при снеготаянии являются солнечная радиация, теплообмен с воздушными массами, жидкие осадки, поток тепла от почвы и собственная скрытая теплота плавления при

конденсации водяного пара из воздуха на поверхность снега. Интенсивность снеготаяния зависит от скорости уменьшения запасов воды в снеге при таянии. Первые запасы воды используются для насыщения снега. Наполняемость снега водой зависит от его структуры. Плотный слежавшийся зернистый снег практически не задерживает талую воду. Когда она достигает поверхности земли, образуются небольшие потоки, которые создают поверхностный сток (рисунок 1а). В то же время в процессе поступления на поверхность почвы избыточной (не удерживаемой снегом) талой или дождевой воды (процесс водоотдачи) наблюдается уменьшение общего запаса воды в снежном покрове. При этом часть талой воды остается в толще снежного покрова и определяет его влажность (рисунок 1а).



а) свежеснеживший снег – снег, насыщенный водой, – талая вода; б) снег – притертая ледяная корка; в) снег – подвешенная ледяная корка; г) ледяная корка на поверхности – снег (h_C – средняя высота снежного покрова без ледяной корки; Z_{CB} и Z_B – средние толщины слоя снега, насыщенного водой, и слоя талой воды, по измерениям и в точках определения плотности снежного покрова; h'_C и h''_C – средняя высота снежного покрова под и над ледяной коркой; Z_K , $Z_{КП}$ и $Z_{КГД}$ – средние толщины ледяной корки, подвешенной и притертой ледяной корки)

Рисунок 1 – Частные случаи снегонакопления на земной поверхности

Характер растительности определяет интенсивность снеготаяния. В лесу процесс таяния снега идет медленнее, чем в поле. Поток талых

вод во многом определяется промерзанием грунтов. Если осенью снег выпадает на талую почву и в морозный период скапливается толстым рыхлым слоем, препятствуя промерзанию почвы, то часть весенних талых вод расходуется на фильтрацию и пополнение грунтовых вод.

В итоге можно сказать, что снежный покров на земной поверхности может формировать многослойную и сложную систему (рисунок 1), а основные факторы, влияющие на процесс снеготаяния, это: количество твердых осадков, структура снежного покрова, степень промерзания грунта, изменение температуры воздуха, вид и количество жидких осадков.

К основным методам расчета снеготаяния относятся:

- 1) метод температурных коэффициентов [11], отражающих физико-географические условия бассейнов рек; основан на предположении о линейной связи между количеством стаявшей воды и приземной температурой воздуха;
- 2) метод теплового баланса, основанный на расчете суммарного притока тепла к водосбору в период снеготаяния за счет солнечной радиации, теплообмена с атмосферой и землей, процессов испарения и конденсации [12];
- 3) метод водного баланса, заключается в расчете слоя воды, которая образовалась за период между снегосъемками [13];
- 4) метод Е. Г. Попова [14], который основан на использовании интегральных показателей интенсивности снеготаяния (температура воздуха и скорость ветра).

Выбор метода для расчета снеготаяния определяется имеющимися исходными данными, изученностью водосбора, плотностью и репрезентативностью сети наблюдений.

Расчет снеготаяния по тепловому балансу обеспечивает в большинстве случаев наиболее высокую точность, поэтому многие авторы в моделях снеготаяния и используют данный метод [11, 15–16 и др.]. Также во многих моделях применяется метод температурных коэффициентов, так как в нем используются материалы сетевых наблюдений [17–20 и др.].

Недостатки метода водного баланса исходят из его трудоемкости и невозможности применения к небольшим промежуткам времени. Метод Е. Г. Попова применяется для характерных весенних условий (температура воздуха выше 0 °С, пасмурная погода, отсутствие прямой солнечной радиации) и не подходит для расчетов на малых водосборах.

Таяние снега можно рассматривать как энергетический процесс, протекающий в полном соответствии с поступлением и затратой определенного количества тепла и являющийся следствием теплообмена снежного покрова с окружающей средой.

В то же время мы считаем, что воднобалансовая модель способна описать возможные составляющие режима снежного покрова и фактически включает в себя элементы вышеуказанных методов. На рисунке 2 приведена схема расчета запасов воды в снеге с использованием метода водного баланса. На схеме представлены приходные и расходные воднобалансовые составляющие.

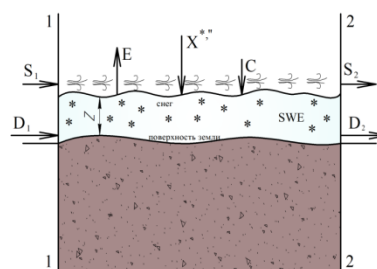


Рисунок 2 – Схема к расчету водного баланса

Уравнение водного баланса за расчетный интервал времени, решаемое относительно запасов воды в снеге, записывается как

$$SWE = X^{**} + C - E + S_1 - S_2 + D_1 - D_2, \quad (1)$$

- где SWE – суммарный запас воды в снеге, мм;
 X^{**} – сумма атмосферных осадков (* – твердых, ** – жидких или смешанных), мм;
 C – конденсация (сублимация) водяных паров из атмосферного воздуха, мм;
 E – испарение (сублимация) с поверхности снега, мм;
 S_1 и S_2 – метелевый снеготранспорт, мм;
 D_1 и D_2 – поверхностный приток и отток растаявшего снега, мм.

В процессе проведения снегосъемок запасы воды в снеге определяются опытным путем с использованием официальной методики [21] и расчетных схем, представленных на рисунке 1.

Запас воды в слое снега определяется по формуле

$$Q_c = 10 g (hc - (Z_{cs} + Z_s)), \text{ мм}, \quad (2)$$

где g – средняя плотность снега;

10 – коэффициент для перевода высоты слоя воды в миллиметры.

Запас воды в слое снега, насыщенного водой, рассчитывается как

$$Q_{cs} = 10 g_{cs} Z_{cs} = 8 Z_{cs}, \text{ мм}, \quad (3)$$

где g_{cs} – плотность снега, насыщенного водой, равная $0,8 \text{ г/см}^3$.

Запас воды в слое талой воды вычисляется по формуле

$$Q_s = 10 g_s Z_s = 10 Z_s, \text{ мм}, \quad (4)$$

где g_s – плотность талой воды, равная $1,0 \text{ г/см}^3$.

Запас воды в притертой ледяной корке определяется зависимостью

$$Q_k = g_k Z_k = 0,8 Z_k, \text{ мм}, \quad (5)$$

где g_k – плотность ледяной корки, равная $0,8 \text{ г/см}^3$.

Общий запас воды в снежном покрове вычисляется суммированием составляющих

$$SWE = Q_c + Q_{cs} + Q_s + Q_k, \text{ мм}. \quad (6)$$

Реализация воднобалансового подхода связана с определенными трудностями. Так, в течение зимы могут иметь различные частные случаи снегонакопления и снеготаяния. Атмосферные осадки выпадают как в твердом, так и жидком виде. Наблюдаются частые оттепели, особенно в юго-западной части Беларуси. В качестве примера в таблице 1 приведена характеристика режима снежного покрова зимы 2018–2019 гг. по 9 метеостанциям Брестской области. Эта зима характеризовалась достаточно большими снеготаяниями. Появление снежного покрова в этом году было 18.11.2018 на большинстве метеостанций, кроме Пинска – 16.11.2018 и Полесской – 15.11.2018. Последний снег был в диапазоне дат 26.03–16.04.2019. Общее число дней со снежным покровом (дни, когда отмечен снег, независимо от его последующего залегания) распределялось по направлению юго-запад – северо-восток и составило от 50 дней в Бресте до 68 в Барановичах. Устойчивый снежный покров практически на всех метеостанциях образовался 03.01.2019, кроме Бреста – 02.01.2019 и Барановичей – 14.12.2018. Число дней с устойчивым снежным покровом составило от 32 до 53. Устойчивым принято считать снежный покров, который лежит в течение холодного периода года не менее одного месяца с перерывами в общей сложности не более трех дней подряд в месяце. Устойчивый снежный покров образуется через 45–55 дней после первых снегопадов, в течение этого периода наблюдается неустойчивая погода с многократным числом фазовых переходов [22].

Значительные изменения снежного покрова происходят также из-за процессов таяния и испарения, под воздействием жидких осадков и других метеорологических факторов (температура, ветер, влажность и др.) (рисунок 1).

При формировании снежного покрова в нем могут возникать ледяные корки, слои уплотненного ветром снега, слои глубинной изморози и слои с различной структурой снега. В течение времени залегания снежного покрова различия в характеристиках соседних слоев могут нарастать или, наоборот, исчезать в зависимости от конкретных термодинамических условий их существования, что и показывает количество фазовых переходов от 23 до 26 (таблица 1), рассчитанное за период, когда имел место снег, а среднесуточная температура была в диапазоне от отрицательных значений до положительных.

Поэтому снежный покров и не является стабильным. Все параметры, характеризующие мощность, строение, плотность и физико-механические свойства снежного покрова, непрерывно изменяются.

Таблица 1 – Характеристика режима снежного покрова зимы 2018–2019 гг. на территории Брестской области

Метеостанция	Количество фазовых переходов	Число дней со снежным покровом с последующим залеганием	Общее число дней со снежным покровом	Первый снег	Последний снег	Устойчивый снежный покров		
						Дата образования	Дата разрушения	Число дней
Брест	23	48	52	18.11	11.04	02.01	04.02	34
Барановичи	23	58	68	18.11	11.04	14.12	04.02	53
Высокое	23	49	50	18.11	16.04	03.01	04.02	33
Ганцевичи	24	59	59	18.11	26.03	03.01	04.02	33
Дрогичин	26	57	57	18.11	16.04	03.01	04.02	32
Ивацевичи	23	55	59	18.11	11.04	03.01	04.02	33
Пинск	23	54	57	16.11	28.03	03.01	04.02	32
Полесская	26	61	65	15.11	28.03	03.01	03.02	33
Пружаны	23	47	52	18.11	16.04	03.01	04.02	33

При температуре выше 0°C происходит таяние снега. Однако под воздействием солнца снег может таять и при отрицательных температурах. При этом происходит испарение ледяных кристаллов без превращения в воду.

Испарение зависит от скорости ветра, т. к. ветер и связанная с ним турбулентность относят водяной пар от испаряющей поверхности и создают дефицит насыщения. В реальных атмосферных условиях вместе с испарением происходит обратный процесс – превращение водяного пара в капли воды (конденсация), а при низких температурах – в кристаллы льда (сублимация – переход водяного пара из газообразного состояния в лед, минуя жидкую фазу).

Метелевое испарение снега (испарение частиц, летящих в потоке ветра) характеризуется большей интенсивностью, чем испарение со снежной поверхности. Испарение с поверхности снега возможно в условиях, когда воздух не насыщен водяным паром и требует значительного количества тепловой энергии. Теплообмен определяется тепловыми свойствами снега и льда. Так как теплопроводность льда выше, чем у снега, и приток тепла больше, то, как следствие, интенсивность испарения со льда выше, чем со снега, при прочих равных условиях. Испарение с поверхности снега сравнительно невелико по сравнению с испарением с поверхности воды и в холодное время года составляет 25–30 мм водяного слоя [23].

При снеготаянии на первых порах снег лишь насыщается талой водой. Водоотдача из него начинается только после того, как растает 15–20 % снеготаяния. При таянии меняется и плотность снега – он становится плотнее. Когда плотность снега достигнет $0,32\text{--}0,34 \text{ г/см}^3$, разница между интенсивностью снеготаяния и водоотдачи становится небольшой. Когда плотность снега достигает $0,99 \text{ г/см}^3$, он превращается в воду. Обычно основная масса снега стает при среднесуточной температуре воздуха $3\text{--}5^\circ\text{C}$ [24].

Интенсивность снеготаяния для каждого конкретного дня зависит от типа погоды (солнечная или пасмурная, ветреная или безветренная), от структуры снега (мелко- или крупнозернистый) и пр. Особенно сильное влияние оказывают на него дожди. В дождливые дни интенсивность снеготаяния возрастает в 1,2–1,4 раза. Определенную роль играет и ветер, который не дает застаиваться холодному воздуху в низинах, а главное, в лесах.

Величина потока тепла на поверхности снежного покрова определяется элементами радиационного баланса, турбулентным теплообменом, испарением или конденсацией и выпадением жидких осадков. Интенсивность потока непостоянна и может сильно меняться даже в течение суток, возможно также изменение направления потока. Большое количество энергии поступает к поверхности снега в виде прямой и рассеянной солнечной радиации, но лишь небольшая ее часть поглощается снегом, а остальная часть отражается от снежной поверхности. Альbedo снежного покрова изменяется в зависимости от структуры снега, влажности и его загрязнения. Для свежеснеженного снега альbedo колеблется от 0,95 до 0,80. Альbedo поверхности сухого переметенного снега составляет от 0,80 до 0,65. Альbedo уменьшается по мере увлажнения снега, особенно в период снеготаяния. Альbedo для средне- и крупнозернистого тающего снега составляет около 0,60–0,40, а для загрязненного снега может снижаться до 0,20 [22, 25].

Снежный покров теряет много тепла в виде длинноволновой радиации. Определенную роль играют и элементы радиационного баланса,

учитывающие возвратную радиацию от облаков и атмосферы. Сочетание поступления тепла от поглощенной радиации и потерь от длинноволновой радиации приводит к тому, что радиационный баланс ночью обычно имеет отрицательное значение, и поэтому поток тепла направлен из снежного покрова в атмосферу, а днем наоборот [26].

Турбулентный теплообмен может сопровождаться выносом водяных паров из снежной массы, возгонкой снега и испарением водных пленок. При определенных условиях на поверхности снега происходит сублимация водяных паров, содержащихся в воздухе в виде инея. Наиболее благоприятные условия для его образования возникают в ясные и холодные ночи, без сильных ветров, при поступлении влажных воздушных масс [27].

Все вышеизложенное доказывает проведенный в данной работе анализ метеорологических данных (температура воздуха, скорость ветра, сумма атмосферных осадков и др.) по метеостанциям Брестской области. В качестве примера приведена динамика снежного покрова зимой 2018–2019 гг. в г. Бресте (рисунок 3 а–д, 4–6). На рисунке 3 а–д представлен внутригодовой ход исследуемых характеристик с 16.12.2018 по 04.02.2019.

Рисунок 3а показывает, что за зиму имело место чередование периодов снегонакопления и снеготаяния вплоть до полного схода снежного покрова с 27.12.2018 по 02.01.2019. Основными факторами снегонакопления являются наличие твердых атмосферных осадков (рисунок 3г) и отрицательная температура воздуха (рисунок 3б). Анализ рисунков 3а, 3б, 3г показывает четкую связь между ними.

Детализация по фазовому состоянию атмосферных осадков приведена на рисунке 4. Сход снега высотой 9 см, фактически произошёл за сутки 26.12.2018 при положительной температуре воздуха +3,0 °С и жидких атмосферных осадках. Жидкие атмосферные осадки быстро разрушают снежный покров даже при отрицательных температурах воздуха.

Сход снега осуществляется в течение зимы постоянно после образования снежного покрова в результате двух процессов – таяния и испарения (сублимации). Величину стока весеннего половодья определяет преимущественно интенсивность снеготаяния. По нашим оценкам максимальное расчетное снеготаяние может достигать до 26 мм, в среднем 5–6 мм в сутки [2, 5].

Испарение с поверхности снега расчетно составляет 0,3–0,6 мм в сутки, зависит от температуры воздуха (рисунок 3б), скорости ветра (рисунок 3в) и относительной влажности воздуха (рисунок 3д).

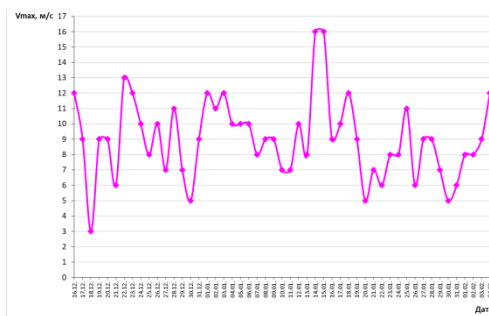
Сход снега в течение суток может как интенсифицироваться, так и приостанавливаться. В течение суток могут иметь место фазовые переходы воды, в том числе многократные, о чем свидетельствует суточная детализация температур воздуха (рисунок 5). Относительная влажность воздуха также имеет достаточно выраженные внутрисуточные колебания (рисунок 6), что влияет на интенсивность сублимации.



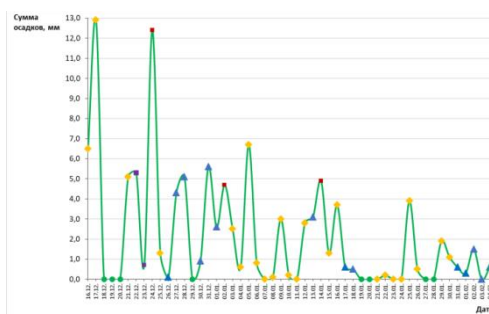
а)



б)

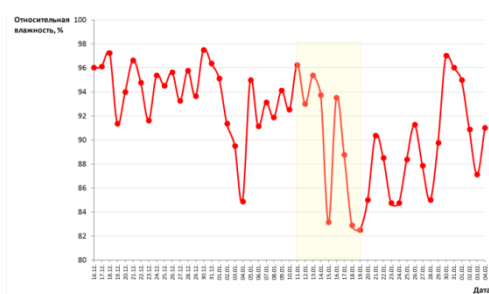


в)



◆ - снег
■ - преимущественно снег
▲ - дождь
■ - преимущественно дождь

г)



д)

а) высоты снежного покрова; б) средней температуры; в) максимальной скорости ветра; г) суммы атмосферных осадков; д) относительной влажности воздуха по метеостанции Брест за период 16.12.2018 – 04.02.2019

Рисунок 3 – График суточного хода

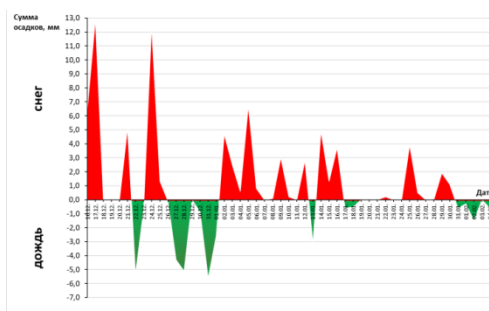


Рисунок 4 – Фазовое состояние атмосферных осадков по метеостанции Брест за период 16.12.2018 – 04.02.2019

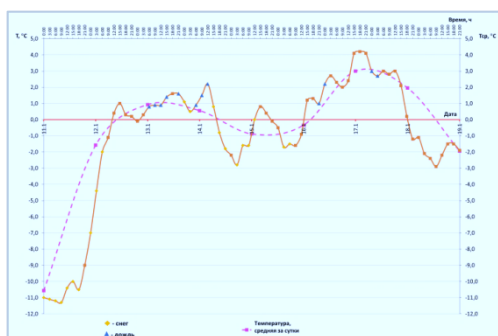


Рисунок 5 – Суточная детализация температуры по метеостанции Брест за период 11.01.2019 – 19.01.2019

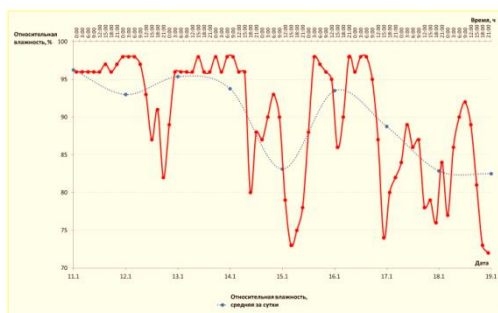


Рисунок 6 – Суточная детализация относительной влажности по метеостанции Брест за период 11.01.2019 – 19.01.2019

Заключение

В итоге можно сделать вывод о том, что с использованием гидрометеорологических данных, с определенной точностью можно оценивать режим снежного покрова, включающий снегонакопление и сход снега. В качестве метода оценки предлагается использовать воднобалансовый, как наиболее полно учитывающий физические процессы, происходящие в снежном покрове. Интенсивность снеготаяния и схода снега зависят от радиационного, ветрового режимов и режима влажности исследуемой территории. Производной составляющей радиационного режима является температура воздуха, которая определяет также частоту фазовых переходов воды как в течение холодного периода, так и в течение суток. Запасы воды в снеге являются определяющими при прогнозировании весеннего половодья и снеговых нагрузок на конструкции зданий и сооружений.

Список цитированных источников

1. Морозова, В. А. Роль снежных мелиораций в сельском хозяйстве / В. А. Морозова // Мелиорация и сельское строительство. Поиск молодежи : сборник научных трудов по материалам II Республиканской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и соискателей / Белорусская государственная сельскохозяйственная академия ; редкол.: Р. А. Другомилов, Ю. Н. Дуброва. – Горки : РПЦ "Печатник", 2019. – С. 116–118.
2. Мешик, О. П. Роль снежного покрова в формировании весеннего половодья на реках Беларуси / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Мелиорация. – 2020. – № 4(94). – С. 35–40.
3. Мешик, О. П. Запасы воды в снеге, формирующие весеннее половодье на реках Белорусского Полесья / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Актуальные научно-технические и экологические проблемы мелиорации земель : материалы Международной научно-практической конференции, Горки, 11–12 марта 2021 г. / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Главное управление образования, науки и кадровой политики, Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия ; редкол.: В. В. Великанов (гл. ред.) [и др.]. – Горки : БГСХА, 2022. – С. 149–153.
4. Истомина, М. Н. Наводнения: генезис, социально-экономические и экологические последствия наводнений / М. Н. Истомина,

- А. Г. Кочарян, И. П. Лебедева // Водные ресурсы. – 2005. – Т. 32, № 4. – С. 389–398.
5. Meshyk, A. Snow as a contributor to spring flooding in Belarus // A. Meshyk, M. Barushka, V. Marozava // Environmental Science and Pollution Research. – 2021. – Vol. 28, № 15. – 18826–18836.
6. 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 : сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, приуроченной к 1000-летию г. Бреста, 12–14 сентября 2019 г. : в 2 ч. / под ред. А. К. Карабанова [и др.]. – Брест : БрГУ, 2019. – Ч. 2 – С. 34–37.
7. Волчек, А. А. Оценка водного эквивалента снега по данным пассивного микроволнового сканирования земной поверхности с использованием искусственных нейронных сетей для территории Российской Федерации / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров // Лёд и Снег. – 2016. – № 56(1). – С. 43–51.
8. Петров, Д. О. Опыт прогнозирования весенних наводнений с использованием спутниковой информации о снеговых запасах на речном водосборе / Д. О. Петров, А. А. Волчек, Д. А. Костюк // Водные ресурсы и климат : сборник материалов докладов V Международного водного форума / Белорусский государственный технологический университет. – Минск : БГТУ, 2017. – С. 197–201.
9. Пьянков, С. В. Моделирование снегонакопления и снеготаяния в бассейне р. Кама с применением данных глобальных моделей прогноза погоды / С. В. Пьянков, А. Н. Шихов, П. Г. Михайлюков // Лёд и Снег. – 2019. – № 59(4). – С. 494–508.
10. Климатический кадастр Республики Беларусь. Метеорологический ежемесячник. – Минск : Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, 1979–2020 гг.
11. Комаров, В. Д. Гидрологический анализ и прогноз весеннего половодья равнинных рек / В. Д. Комаров. – Л. : Гидрометеиздат, 1955. – 304 с.
12. Кузьмин, П. П. Процесс таяния снежного покрова / П. П. Кузьмин. – Л. : Гидрометеиздат, 1961. – 348 с.
13. Соколовский, Д. Л. Речной сток. / Д. Л. Соколовский. – Л. : Гидрометеиздат, 1968. – 539 с.
14. Попов, Е. Г. Основы гидрологических прогнозов / Е. Г. Попов. – Л. : Гидрометеиздат, 1968. – 294 с.
15. Шихов, А. Н. Моделирование процесса снеготаяния на основе метода теплового баланса (на примере водосбора Воткинского водохранилища) / А. Н. Шихов, Р. К. Абдуллин, С. Е. Максимова // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.
16. Турков, Д. В. Расчёт характеристик снежного покрова равнинных территорий с использованием модели локального теплообмена SPONSOR и данных реанализа на примере Московской области / Д. В. Турков, В. С. Сократов // Лёд и Снег. – 2016. – № 56(3). – С. 369–380.
17. Калинин, В. Г. Моделирование пространственного распределения снежного покрова в период весеннего снеготаяния / В. Г. Калинин, К. И. Суманеева, В. С. Русаков // Метеорология и гидрология. – 2019. – № 2. – С. 74–85.
18. Шайдулина, А. А. Пространственно-временные закономерности снеготаяния на речных водосборах верхней Камы / А. А. Шайдулина, В. Г. Калинин, М. А. Фасахов // Географический вестник. – 2022. – № 1(60). – С. 100–112.
19. Гельфан, А. Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования снежного покрова на Европейской территории России / А. Н. Гельфан, В. М. Морейдо // Лёд и Снег. – 2014. – № 54(2). – С. 44–52.
20. Georgievsky, M. Development of a distributed snow model coupled with a new method of degree-day factors estimation / M. Georgievsky, H. Ishidaira, K. Takeuchi // Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 2006. – P. 49–54.
21. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила проведения приземных метеорологических наблюдений и работ на станциях : ТКП 17.10-42-2009 (02120). – Минск : Минприроды, 2009.

22. Мешик, О. П. Особенности залегаания снежного покрова на территории Республики Беларусь / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2021. – № 2 (125). – С. 93–99.
23. Волчек, А. А. Метеорология и климатология: пособие для студентов высших учебных заведений по специальности «Природоохранная деятельность» / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая, И. Н. Шпока. – Брест : Из-во БрГТУ, 2014 – 184 с.
24. Гляциологический словарь / под ред. В. М. Котлякова. – Л. : Гидрометеоздат, 1984. – 527 с.
25. Китаев, Л. М. Изменчивость альbedo снежного покрова – анализ спутниковых данных / Л. М. Китаев, Т. Б. Титкова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8, № 2. – С. 47–54.
26. Красс, М. С. Радиационная теплофизика снега и льда / М. С. Красс, В. Г. Мерзликин. – Л. : Гидрометеоздат, 1990. – 264 с.
27. Особенности турбулентного теплообмена вблизи восторощенных участков морского льда / Б. В. Иванов [и др.] // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2020. – № 66(3). – С. 364–380.
10. Klimaticheskij kadastr Respubliki Belarus'. Meteorologicheskij ezhemesyachnik. – Minsk : Respublikanskij centr po gidrometeorologii, kontrolyu radioaktivnogo zagryazneniya i monitoringu okruzhayushchej sredy, 1979–2020 gg.
11. Komarov, V. D. Gidrologicheskij analiz i prognoz vesennego polovod'ya ravninnyh rek / V. D. Komarov. – L. : Gidrometeoizdat, 1955. – 304 s.
12. Kuz'min, P. P. Process tayaniya snezhnogo pokrova / P. P. Kuz'min. – L. : Gidrometeoizdat, 1961. – 348 s.
13. Sokolovskij, D. L. Rechnoj stok. / D. L. Sokolovskij. – L. : Gidrometeoizdat, 1968. – 539 s.
14. Popov, E. G. Osnovy gidrologicheskij prognozov / E. G. Popov. – L. : Gidrometeoizdat, 1968. – 294 s.
15. Shihov, A. N. Modelirovanie processa snegotayaniya na osnove metoda teplovogo balansa (na primere vodosbora Votkinskogo vodohranilishcha) / A. N. SHihov, R. K. Abdullin, S. E. Maksimova // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2013. – № 6.
16. Turkov, D. V. Raschyot karakteristik snezhnogo pokrova ravninnyh territorij s ispol'zovaniem modeli lokal'nogo teplovlagooobmena SPONSOR i dannyh reanaliza na primere Moskovskoj oblasti / D. V. Turkov, V. S. Sokratov // Lyod i Sneg. – 2016. – № 56(3). – S. 369–380.
17. Kalinin, V. G. Modelirovanie prostranstvennogo raspredeleniya snezhnogo pokrova v period vesennego snegotayaniya / V. G. Kalinin, K. I. Sumaneeva, V. S. Rusakov // Meteorologiya i gidrologiya. – 2019. – № 2. – S. 74–85.
18. Shajdulina, A. A. Prostranstvenno-vremennye zakonomernosti snegotayaniya na rechnyh vodosborah vernej Kamy / A. A. SHajdulina, V. G. Kalinin, M. A. Fasahov // Geograficheskij vestnik. – 2022. – № 1(60). – S. 100–112.
19. Gelf'an, A. N. Dinamiko-stohasticheskoe modelirovanie formirovaniya snezhnogo pokrova na Evropejskoj territorii Rossii / A. N. Gelf'an, V. M. Morejdo // Lyod i Sneg. – 2014. – № 54(2). – S. 44–52.
20. Georgievsky, M. Development of a distributed snow model coupled with a new method of degree-day factors estimation / M. Georgievsky, H. Ishidaira, K. Takeuchi // Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 2006. – P. 49–54.
21. Ohrana okruzhayushchej sredy i prirodopol'zovanie. Gidrometeorologiya. Pravila provedeniya prizemnyh meteorologicheskijh nablyudenij i rabot na stancijah : TKP 17.10-42-2009 (02120). – Minsk : Minprirody, 2009.
22. Meshik, O. P. Osobennosti zaleganiya snezhnogo pokrova na territorii Respubliki Belarus' / O. P. Meshik, V. A. Morozova, M. V. Borushko // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2021. – № 2 (125). – S. 93–99.
23. Volchek, A. A. Meteorologiya i klimatologiya: posobie dlya studentov vysshijh uchebnyh zavedenij po special'nosti «Prirodohrannaya deyatel'nost'» / A. A. Volchek, T. E. Zubrickaya, I. N. SHpoka. – Brest : Iz-vo BrGTU, 2014 – 184 s.
24. Glyaciologicheskij slovar' / pod red. V. M. Kotlyakova. – L. : Gidrometeoizdat, 1984. – 527 s.
25. Kitaev, L. M. Izmenchivost' al'bedo snezhnogo pokrova – analiz spustnikovyx dannyh / L. M. Kitaev, T. B. Titkova // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2011. – T. 8, № 2. – S. 47–54.
26. Krass, M. S. Radiacionnaya teplofizika snega i l'da / M. S. Krass, V. G. Merzlikin. – L. : Gidrometeoizdat, 1990. – 264 s.
27. Osobennosti turbulentnogo teploobmena vblizi vstoroshennyh uchastkov morskogo l'da / B. V. Ivanov [i dr.] // Problemy Arktiki i Antarktiki. – 2020. – № 66(3). – S. 364–380.

Материал поступил в редакцию 08.06.2022