**Волчек, А. А.** Оценка суммарного испарения на территории Беларуси: современное состояние и прогноз / А. А. Волчек, Д. Н. Дашкевич // Экологический вестник. – 2013. - № 1. – С. 16-25.

**ОЦЕНКА СУММАРНОГО ИСПАРЕНИЯ**

**НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ:**

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ**

В статье представлены результаты исследования тенденций изменения суммарного испарения, температуры воздуха, атмосферных осадков, дефицитов влажности воздуха на территории Беларуси. Произведен статистический анализ изменения временных рядов суммарного испарения и основных климатических факторов. Осуществлена прогнозная оценка этих параметров на 2020 г. Получены значения процентного изменения суммарного испарения на 2020 г. относительно 2010 г. Установлено, что нет четкой направленности его колебаний: присутствует как увеличение, так и уменьшение суммарного испарения на территории Беларуси. Его наименьшая трансформация произойдет в мае (от -7 до 9 %), наибольшая - в осенние месяцы (от - 29 до 26 %).

* ***Ключевые слова***: *суммарное испарение, атмосферные осадки, температура воздуха, дефициты влажности воздуха, скорость ветра, метеостанция, временные ряды.*

**Введение**

Суммарное испарение - один из основных расходных элементов водного баланса речных водосборов. При решении большинства научных и практических задач используются вероятностные закономерности и статистические характеристики пространственно-временных колебаний суммарного испарения. Оно может выступать своеобразным индикатором состояния экосистем. Поэтому его корректная оценка и особенно происходящие изменения являются важным фактором в понимании современных климатических изменений. Сложность исследования суммарного испарения заключается в том, что в настоящее время нет приборов, которые бы напрямую измеряли его величины. Существующие косвенные методы измерения испарения, как и расчетные методы, дают существенные ошибки. Кроме того, ограничивающий момент - малый объем исходной выборки, вследствие чего неизбежно искажение статистических модельных представлений структуры испарения в точке. В ряде наблюдений есть пропуски, отмечается не стационарность наблюдений во времени и неоднородность рядов. Для практических целей необходимо определить не структуру испарения в окрестностях отдельных метеостанций, а поле испарения как стохастическое формирование в целом. Данные отдельных лизиметров являются репрезентативными лишь для однородной, по условиям формирования испарения, территории. Увеличение потенциала информативности исходных выборок (одна реализация в год) также не приводит к корректному решению поставленной задачи. Поэтому, в некоторых случаях, целесообразнее отказаться от наблюдаемых величин, а использовать рассчитанные, что и сделано в настоящей работе.

До настоящего времени не разработано теоретически обоснованной схемы, описывающей движение воды в почве при испарении. Существующие расчетные схемы включают ряд эмпирических параметров, точность определения которых существенно влияет на величины испарения. Необходимо критическое применение современных методов определения суммарного испарения. Во всех случаях практических расчетов необходим обязательный анализ погрешностей, а также сопоставление полученных результатов с данными о радиационном балансе, испаряемости и, конечно, с измеренными значениями суммарного испарения данными водобалансовых исследований.

Цель настоящего исследования - оценка суммарного испарения и его изменения в современных климатических условиях на ближайшую перспективу.

**Исходные материалы и методы исследования**

Исходными данными для исследований послужили материалы наблюдений Департамента по гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за среднемесячными величинами суммарного испарения по 4 метеостанциям за период инструментальных наблюдений: Василевичи (начало наблюдений с 1959 г.), Волковыск (с 1981 г.), Полесская (с 1980 г.) и Шарковщина (с 1962 г.), - а также среднемесячными величинами дефицита влажности воздуха, атмосферными осадками, температурой приземного воздуха по 40 метеостанциям за 1950-2010 гг., фондовые материалы различных организаций и учреждений, картографические и опубликованные источники.

Методологическая основа исследований - научные положения о стохастической природе изменчивости суммарного испарения, что позволяет использовать современные статистические методы анализа временных рядов. Широко использованы методы водного и теплоэнергетического балансов подстилающей поверхности, математического моделирования. Системный анализ накопленной информации и сравнительно-географический метод использованы для выявления закономерности пространственно-временных колебаний суммарного испарения.

Для оценки влияния современного изменения климата на суммарное испарение использовались статистические критерии *[1]:*

1. Критерий Стьюдента

$$t=\frac{ x-y}{\sqrt{n\_{x∙σ\_{x}^{2}}}+n\_{y∙σ\_{y}^{2}}} ∙ \sqrt{\frac{n\_{x ∙n\_{y ∙\left(n\_{x +n\_{y - 2 }}\right)}}}{n\_{x +}n\_{y}}}$$

где $\overline{x}$, $\overline{y}$- выборочные средние; $σ\_{x}^{2}$ и $σ\_{y}^{2}$ - выборочные дисперсии; $n\_{x}$ и $n\_{y}$, - объемы выборок.

Полученное значение t-критерия Стьюдента сравниваюсь с его критическим значением при заданном уровне значимости $\dot{a }$= 5%. Если t > ta, принимается гипотеза статистического различия двух выборочных средних.

2. Критерий Фишера

$$F=\frac{σ\_{x}^{2}}{σ\_{y}^{2}}$$

где $σ\_{x}^{2 }$и $σ\_{y}^{2}$ выборочные дисперсии.

Гипотеза статистического различия выборочных дисперсий принималась, если имело место неравенство *F > Fa,* где *Fa* - критическое значение критерия Фишера.

Оценка тенденций изменений суммарного испарения осуществлялась с помощью линейного тренда:

$E\_{i }$= $E\_{0}\pm ∆E∙t\_{i}$

где $E\_{i}$ - значение суммарного испарения в i-ый период, мм; *Е0* - значение суммарного испарения в начальный период, мм; *±*$∆$*Е* - изменение значений суммарного испарения за расчетный интервал, мм/год; $t\_{i}$ - время, год.

В качестве меры оценки изменений временного ряда использовался градиент *а*, численно равный изменению суммарного испарения

за 10 лет *(а = 10* $×$ $∆$Е).

Исходные временные ряды за суммарным испарением разбивались

на 2 периода: с 1959 (1962) по 1986 гг. и с 1987 (начало интенсивного изменения климата) по 2010 гг. Расчеты проводились для метеостанций Василевичи и Шарковщина, что обусловлено длительностью периода наблюдений.

Метеостанций, на которых ведутся наблюдения за суммарным испарением, недостаточно для объективной оценки его пространственной структуры, поэтому использован метод гидролого-климатических расчетов (ГКР) [2, 3].

Суммарное испарение по методу ГКР за расчетный интервал времени определяется по следующей зависимости:

*E*$\left(I\right)=E\_{m }\left(I\right)\left[1+\left(\frac{\frac{E\_{m }\left(I\right)}{W\_{HB}}+V\left(I\right)1-r\left(I\right)}{\begin{array}{c}KX\left(I\right)+g \left(I\right)\_{ }\\W\_{HB}\end{array}}\right)n\left(I\right)\right]-\frac{1}{n(I)}$ *,* (1)

V(I+1)= V(I)$∙\left(\frac{V\_{cp}(I)}{V(I)} \right)$r(I) (2)

*Vcp(I)=*$\left(\frac{\begin{array}{c}KX\left(I\right)+g \left(I\right)\_{ }\\W\_{HB}\end{array}+V(I)}{\frac{E\_{m }\left(I\right)}{W\_{HB}}+V(I)1-r(I)}\right)\frac{1}{r(I)}$(3)

где $E\_{t}$(I) - максимально возможное суммарное испарение (водный эквивалент теплоэнергетических ресурсов климата), мм; *WHB* - наименьшая влагоемкость деятельного слоя почвогрунтов, мм; *V(I) = W(I)/WHB* – относительная влажность почвогрунтов на начало расчетного периода; КХ(I) - сумма измеренных и исправленных атмосферных осадков за расчетный период,

мм; *g(I)* - грунтовая составляющая водного баланса (питания), мм; *r(I)* - параметр, зависящий от водно-физических свойств и механического состава почвогрунтов; *n(I)* - параметр, учитывающий физико-географические условия стока.

Максимально возможное суммарное испарение находится по методике, описанной в работе [4].

Теплоэнергетические ресурсы процесса суммарного испарения для любого расчетного периода времени определяют следующим образом:

*L*$E\_{m}$*=*$R^{+ }P^{+}+∆B- ∆E\_{m}$

где *L* - скрытая теплота испарения; $R^{+ }$ - положительная составляющая радиационного баланса, Дж/см2; $P^{+}$ - положительная составляющая турбулентного теплообмена, Дж/см2; $∆$В - изменение теплозапасов деятельного слоя почвы, Дж/см2; $∆$Еm - расход тепла на таяние снега, льда, прогревание почвы, Дж/см2.

Система уравнений (1-3) решается относительно средних величин суммарного испарения методом итераций. Расчеты выполнялись с помощью компьютерной программы «Баланс». Моделирование суммарного испарения осуществляется в два этапа: настройка модели и собственно моделирование.

На первом этапе необходимо задать координаты исследуемой метеостанции и основные гидрографические характеристики. После получения необходимой информации, при подборе параметров *WHB*, r($τ$), n($τ$) и использовании системы уравнений (1-3), производится настройка моде-
ли на измеренные значения суммарного испарения по одной из ближайших четырех метеостанций. Наименьшая влагоемкость *WHB* почвы изменяется в пределах 60-220 мм, параметр r -1-2,5; параметр n - 2-3,4 мм. При настройке модели преследуется цель достичь наибольшего соответствия рассчитанного суммарного испарения и измеренного на метеостанции. Первый этап заканчивается построением графиков суммарного испарения и выводом ошибки моделирования.

Второй этап представляет собой непосредственный расчет суммарного испарения исследуемого участка суши, в котором используются параметры, полученные при моделировании суммарного испарения по конкретной метеостанции. Этот расчет производится с учетом конкретных особенностей рассматриваемого участка суши.

Переход от среднемноголетних значений суммарного испарения к величинам требуемой обеспеченности осуществлялся при помощи распределения Пирсона III-го типа по зависимости:

$E\_{P}$= $\overline{E}∙$($Ф\_{Р}∙C\_{V}$+1),

где $\overline{E}$ - среднемноголетнее значение суммарного испарения, мм; Фр - нормированное отклонение от среднего значения ординат распределения Пирсона III-го типа ($Ф\_{10}$%= 1,28; $Ф\_{25}$%= 0,67; Ф50 %= 0,0; $Ф\_{75}$ % = -0,67;

Ф90% = -1,28;); $C\_{V}$- коэффициент вариации ряда годовых величин суммарного испарения [5], при этом коэффициент ассиметрии Cs= 0.

**Описание метеостанций, на которых ведутся наблюдения**

**за суммарным испарением**

В настоящее время для определения испарения с поверхности почвы и растительного покрова в теплый период используются стандартные почвенные испарители ГГИ-500-50 (ГР-25) с площадью испаряющей поверхности 500 см2 и высотой почвенного монолита 50 см. Суммарное испарение измеряется с естественного разнотравья и на посевах сельскохозяйственных культур, в основном с яровых и озимых зерновых методом почвенных испарителей по изменению веса почвенного монолита с произрастающими в нем растениями за период между отдельными взвешиваниями испарителей, которые производятся через 5 сут. - 1, 6, 11, 16, 21 и 26 числа каждого месяца.

Наблюдения за испарением начинают весной, после схода снежного покрова и с момента перехода почвы в хорошо увлажненное состояние, и продолжают до промерзания почвы на глубину более 5 см осенью или до образования устойчивого снежного покрова.

Испарение *Е*, мм слоя воды рассчитывается по формуле:

E =$ \frac{10}{S}∙$($P\_{1} $- $P\_{2 })+X-G$

где S - площадь испарителя, см ; *Р1* и *Р2* - масса испарителя соответственно в предыдущий и текущий сроки взвешивания испарителей, г; *X* - атмосферные осадки, поступившие в испаритель, мм; *G* - просачивание за промежуток времени между взвешиваниями испарителя, мм.

Количество выпавших атмосферных осадков определяется с помощью почвенного дождемера, установленного рядом с испарителями.

Наблюдения за испарением с поверхности почвы и растений проводятся на специализированных агрометеорологических станциях, которые размещены в различных физико-географических и почвенных условиях.

Метеостанция Василевичи находится на Полесье, имеет длинный ряд наблюдений (с 1959 г.) и является репрезентативной. Агрометеостанция Василевичи расположена в центральной части Гомельской обл., на Приднепровской низменности. Окружающая местность представляет заболоченную равнину с приподнятыми песчаными гривами. Болотами занято около 30 % территории. Преобладают дерново-подзолистые супесчаные и песчаные почвы, часто подстилаемые на глубине около 1 м моренными суглинками. Значительные площади занимают торфяно-болотные почвы. Грунтовые воды залегают на глубине 3-5 м. Почвенная испарительная площадка расположена на расстоянии 2 км к юго-востоку от метеоплощадки. Рельеф участка ровный. Почва дерново-подзолистая на связных песках, подстилаемых на глубине около 1 м моренными суглинками. Поверхность участка задернована, посев клевера с тимофеевкой.

Метеостанция Волковыск расположена на Волковыской возвышенности (преимущественно со сглаженным волнисто-холмистым моренным рельефом) и ведет наблюдения с 1981 г. Местность в радиусе 10 км пересечена идущими в разных направлениях многочисленными оврагами. В 2 км к ЮЗ протекает в искусственном русле р. Волковыя, впадающая в р. Россь, протекающую в 3 км к 3 от метеоплощадки. Пойма р. Россь заболочена, покрыта луговой растительностью. В 2 км к Ю расположено искусственное водохранилище на р. Волковыя. Ближайший хвойный лес находится в 4 км к 3 и в 2-3 км к С, СВ и ЮВ от метеостанции. Остальная местность занята с/х угодьями. Метеоплощадка находится на возвышенном месте, имеющем слабый уклон к СВ. Высота ее 180 м над уровнем моря. Площадка покрыта редкой луговой растительностью. Почвенный покров характеризуется следующим разрезом: 0-20 см - супесь, 20-40 - суглинок, 40-100 см - глина. Глубина залегания грунтовых вод - 24 м (определена по ближайшему колодцу).

Метеорологическая станция Полесская была оборудована в 1953 г. на неосушенном болоте в 6,5 км к ЮЗ от суходольной. 1 апреля 1970 г. метеонаблюдения на естественном болоте прекращены, а болотная метеоплощадка перенесена на 3,5 км к ЮВ от ее прежнего местонахождения на осушенное и освоенное болото (поля опытной станции) в 6,5 км к Ю от суходольной площадки. Местность открытая, ровная. Ближайшее строение (служебное помещение) находится в 50 м к 3 от метеоплощадки. В 70 м к Ю проходит осушительный канал. Ближайший лес расположен в 2-2,5 км к 3, ЮЗ и С. Площадка окружена полями, засеянными кормовыми травами. Подстилающая поверхность метеоплощадки - плотная луговая растительность. Почва торфяная, подстилаемая песками. Мощность торфяников на окружающей территории от 40 до 70 см. Уровень грунтовых вод колеблется по сезонам от 60 до 140 см.

Агрометеостанция Шарковщина расположена в западной части Витебской обл., наблюдения ведутся с 1962 г. Окружающая местность представляет собой равнину с небольшими возвышенностями. Лесов в окрестностях мало. Преимущественно распространены дерново-подзолистые
и дерновые почвы на средних и легких озерно-ледниковых суглинках, сменяющихся на глубине 50-80 см озерно-ледниковыми ленточными глинами. Значительные площади занимают почвы, развивающиеся на мощных глинах и тяжелых суглинках, подстилаемых около 0,5 м глинами. Выравненность территории и тяжелый механический состав почвообразующих пород способствуют заболачиванию почв. Почвенная испарительная площадка оборудована на участке площадью 1 га, расположенном на территории станции, в 20 м северо-западнее метеоплощадки. Рельеф участка ровный. Почва - дерново-подзолистая среднесуглинистая, подстилаемая на глубине 0,5—0,7 м средними глинами. Грунтовые воды залегают на глубине 6-7 м. Поверхность участка задернована, посев клевера с тимофеевкой.

**Анализ результатов исследований**

Современные климатические изменения повлияли на величину суммарного испарения, как показал статистический анализ временных рядов суммарного испарения по месяцам вегетационного периода и в целом за рассматриваемый период с использованием линейных трендов за период с 1987 по 2010 гг. (начало современного изменения климата [6]). Вектор тенденций в величинах суммарного испарения носит разнонаправленный характер (табл. 1).

*Таблица 1*

 *Градиенты (*$α$*/10 лет) (числитель) и коэффициенты корреляции линейных трендов (r)временных рядов суммарного испарения, атмосферных осадков, температуры и дефицитов влажности воздуха*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Метеостанция | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | май-октябрь |
| суммарное испарение |
| Василевичи | 2,60,10 | -9,6-0,32 | 5,80,22 | -0,36-0,02 | -2,9-0,17 | -1,9-0,21 | -6,3-0,11 |
| Волковыск | -0,7-0,03 | -0,1-0,01 | З,90,12 | -2,7-0,09 | 0,10,01 | -1,3-0,14 | -0,8-0,01 |
| Полесская | -4,2-0,13 | -8,4-0,21 | 3,20,09 | 4,90,14 | 7,10,24 | 3,10,21 | 5,50,06 |
| Шарковщина | 3,80,14 | -8,2-0,24 | 3,40,10 | -4,4-0,12 | -0,7-0,03 | -5,6**-0,46** | -11,7-0,12 |
| атмосферные осадки |
| Василевичи | 19**0,54** | -24**-0,40** | 160,25 | -16-0,24 | -10-0,23 | 150,36 | 0,080,0 |
| Волковыск | 120,38 | -10-0,22 | 140,23 | 10,03 | -16-0,3 | 90,23 | 1,760,10 |
| Полесская | 70,27 | -16-0,34 | 32**0,42** | 130,19 | -180,37 | 90,32 | 4,60,28 |
| Шарковщина | 150,3 | -18-0,29 | 90,14 | 60,10 | -23**-0,54** | 160,4 | 0,670,03 |
| температура воздуха |
| Василевичи | 0,16-0,07 | 0,060,03 | 0,87**0,41** | 0,410,23 | 0,740,37 | 0,78**0,48** | 0,45**0,55** |
| Волковыск | 0,05-0,02 | 0,460,29 | 1,05**0,42** | 0,690,36 | 1,09**0,51** | 0,440,22 | 0,61**0,64** |
| Полесская | -0,13-0,06 | 0,460,28 | 0,940.39 | 0,460,26 | 0,91**0,44** | 0,530,29 | 0,53**0,62** |
| Шарковщина | -0,37-0,18 | -0,08-0,04 | 0,750,31 | 0,520,28 | 0,96**0,45** | 0,410,21 | 0,37**0,39** |
| дефициты влажности воздуха |
| Василевичи | -0,22-0,14 | 0,680,33 | 0,560,20 | 0,270,12 | 0,64**0,49** | 0,070,18 | 0,330,33 |
| Волковыск | 0,030,02 | 0,76**0,44** | 0,690,20 | 0,410,16 | 0,81**0,58** | -0,12-0,16 | 0,43**0,39** |
| Полесская | -0,18-0,13 | 0,64**0,40** | 0,440,14 | -0,01-0,01 | 0,52**0,42** | -0,15-0,19 | 0,210,24 |
| Шарковщина | -0,39-0,26 | 0,350,20 | 0,400,14 | 0,190,08. | 0,46**-0,47** | -0,11-0,22 | 0,150,14 |

 *Примечание: критическое значение коэффициента корреляции*

*на 5 % уровне значимости при n = 24, rкр - 0,39.*

В летние месяцы (июнь, июль) имеют место процессы, характерные для всей территории Беларуси, причем в июне наблюдается уменьшение величин суммарного испарения, а в июле - рост. В целом же на территории Беларуси преобладают процессы, вызывающие уменьшение суммарного испарения. Малые коэффициенты корреляции линейных трендов обусловлены неустойчивостью процессов, формирующих суммарное испарение и разнонаправленность их векторов.

Суммарное испарение формируется под воздействием многих факторов, наиболее существенными являются температура воздуха, атмосферные осадки, дефициты влажности воздуха и средняя скорость ветра. Поэтому дальнейший анализ по выявлению причин изменения суммарного испарения выполнен с учетом связи выделенных факторов. Статистически значимое
изменение величин атмосферных осадков в сторону увеличения наблюдается в мае по метеостанции Василевичи, в июле - по метеостанции Полесская, в сторону уменьшения - в июне (Василевичи) и сентябре (Шарковщина). Температура воздуха увеличивается в июле (Василевичи, Волковыск), сентябре (Волковыск, Полесская, Шарковщина), октябре (Василевичи), за вегетационный период (по всем 4-м метеостанциям). Увеличение градиентов дефицитов влажности воздуха происходит в июне (Волковыск, Полесская), сентябре (все 4-е метеостанции), за вегетационный период (Волковыск).

Оценка изменения структуры временных рядов суммарного испарения

и основных климатических факторов осуществлялась с помощью критериев Стьюдента и Фишера для метеостанций Василевичи (сравниваем 1959-1986 и 1987-2010 гг.) и Шарковщина (1962-1986 и 1987-2010 гг.). Метеостанции Полесская и Волковыск в статистическом анализе не участвовали, в связи с недостаточным периодом наблюдений временных рядов (начало периода наблюдений с 1980 и 1981 гг. соответственно). Результаты статистической проверки приведены в табл. 2 и 3.

*Таблица 2*

*Значения критериев Стьюдента для выборочных средних суммарного испарения, дефицитов влажности воздуха, температуры воздуха, атмосферных осадков и скорости ветра*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | май-октябрь |
| Василевичи |
| суммарное испарение | **1,98** | **-3,30** | -1,58 | 1,62 | -0,30 | -0,06 | -1,03 |
| температура воздуха | 0,53 | -0,07 | **-2,21** | -1,45 | -0,41 | -0,81 | -1,40 |
| атмосферные осадки | -0,38 | -0,54 | -1,25 | -0,09 | **-2,36** | -1,36 | **-2,38** |
| дефицит влажностивоздуха | **13,27** | **14,05** | **12,74** | **15,18** | **13,60** | **10,41** | **16,45** |
| скорость ветра | **-8,12** | **-9,63** | **-8,72** | **-7,41** | **-8,33** | **-8,12** | **-11,59** |
| Шарковщина |
| суммарное испарение | 0,06 | -0,12 | 0,83 | 0,25 | **3,38** | 0,49 | 1,30 |
| температура воздуха | -0,10 | -0,80 | **-2,74** | **-1,86** | -1,26 | -0,73 | **-2,34** |
| атмосферные осадки | 0,05 | -1,65 | 0,10 | 0,37 | 0,21 | -0,77 | -1,26 |
| дефицит влажностивоздуха | **10,58** | **13,16** | **-11,49** | **-13,35** | **12,72** | **9,29** | **14,43** |
| скорость ветра | **-6,13** | **-6,08** | **-6,23** | **-4,44** | **-7,02** | **-6,71** | **-7,72** |

*Примечание: выделены статистически значимые величины, знак «+» обозначает увеличение средних*.

Как видно из табл. 2, статистически значимое увеличение суммарного испарения наблюдается в мае (Василевичи) и сентябре (Шарковщина), что определено ростом дефицитов влажности воздуха. Уменьшение выборочных средних величин суммарного испарения в июне по метеостанции Василевичи вызвано влиянием более существенных факторов (уменьшение средней скорости ветра).

*Таблица 3*

*Значения критериев Фишера для выборочных средних суммарного испарения, дефицитов влажности воздуха, температуры воздуха, атмосферных осадков и скорости ветра*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | май-октябрь |
| Василевичи |
| суммарное испарение | 1,53 | **2,40** | **2,57** | 1,28 | 1,20 | 0,44 | **3,21** |
| температура воздуха | **0,55** | **0,88** | **0,93** | 1,32 | **0,96** | **0,55** | **0,52** |
| атмосферные осадки | **0,97** | 1,02 | 1,35 | 1,32 | 1,77 | 1,62 | **0,72** |
| дефицит влажностивоздуха | 0,18 | 0,22 | 0,37 | 0,31 | 0,11 | 0,05 | 0,09 |
| скорость ветра | **2,6** | **2,16** | **3,13** | **3,3** | 1,5 | **2,18** | **2,4** |

*Окончание таблицы 3*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | май-октябрь |
| Шарковщина |
| суммарное испарение | **0,73** | 0,34 | **0,54** | **0,91** | **0,52** | 1,69 | **0,50** |
| температура воздуха | 0,48 | 1,08 | 1,58 | 1,48 | **0,86** | **0,75** | **0,61** |
| атмосферные осадки | 1,50 | **2,67** | **1,96** | **1,96** | **0,68** | 1,33 | **1,94** |
| дефицит влажностивоздуха | 0,16 | 0,16 | 0,40 | 0,37 | 0,06 | 0,04 | 0,10 |
| скорость ветра | **2,93** | **5,52** | **2,48** | **2,48** | **2,12** | **3,51** | **3,72** |

*Примечание: выделены статистически значимые величины.*

Материалы табл. 3 показывают различия в колебаниях рассматриваемых рядов суммарного испарения, которое наблюдается в июне, июле, мае-октябре по метеостанции Василевичи. Для этой стадии характерны в эти же месяцы различия в колебаниях рядов температуры воздуха (июнь, июль, май-октябрь) и рядов атмосферных осадков для мая-октября. Несколько другая картина наблюдается по метеостанции Шарковщина, для которой различия в колебаниях временных рядов суммарного испарения свойственны в мае, июле, августе, сентябре и в целом за период май-октябрь. Это согласуется с различиями в колебаниях рядов температур воздуха (сентябрь, май-октябрь), атмосферных осадков (июль, август, сентябрь) и скорости ветра.

Можно констатировать, что существенных изменений в величинах суммарного испарения не наблюдается, но в то же время произошли изменения во временной структуре рядов наблюдений, изменилась амплитуда и частота колебаний. Это необходимо учитывать при решении задач, связанных с прогнозированием суммарного испарения.

О пространственном распределении суммарного испарения по территории Беларуси нельзя судить только по четырем метеостанциям, на которых ведутся наблюдения. Поэтому необходимо использовать расчетные методы определения суммарного испарения. В качестве такового был использован метод гидролого-климатических расчетов. Его применимость обусловлена достаточной точностью между измеренными и рассчитанными величинами суммарного испарения.

В табл. 4 представлены результаты сравнения среднего значения измеренного суммарного испарения за период до 2010 г. включительно и суммарного испарения рассчитанного методом ГКР в программе «Баланс»,

а также точность расчета.

*Таблица 4*

*Значения суммарного испарения по метеостанциям Беларуси*

|  |
| --- |
| Интервал осреднения  |
| Показатель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | май-октябрь |
| Василевичи |
| среднее значение за период наблюдений, мм | 77,0 | 89,4 | 85,0 | 63,2 | 35,7 | 21,4 | 371,6 |
| прогноз в программе«Баланс», мм | 79,9 | 83,9 | 86,1 | 63,3 | 40 | 29,8 | 383 |
| отклонение, % | -3,8 | 6,1 | -1,3 | -0,1 | -12,0 | **-39,4** | -3,1 |
|  | Волковыск |
| среднее значение за период наблюдений, мм | 82,2 | 73,8 | 80,6 | 63,4 | 41,0 | 27,2 | 368,2 |
| прогноз в программе«Баланс», мм | 83,5 | 73,5 | 87,4 | 63,4 | 27,2 | 31,7 | 366,7 |
| отклонение, % | -1,6 | 0,4 | -8,4 | 0,0 | **33,7** | -16,5 | 0,4 |
|  | Полесская |
| среднее значение за период наблюдений, мм | 92,4 | 85,8 | 86,3 | 66,9 | 41,6 | 29,3 | 402,3 |
| прогноз в программе«Баланс», мм | 79,1 | 77,7 | 83 | 65,1 | 29,8 | 25,8 | 360,5 |
| отклонение, % | 14,4 | 9,5 | 3,8 | 2,7 | **28,3** | 11,9 | 10,4 |
| Шарковщина |
| среднее значение за период наблюдений, мм | 89,1 | 84,2 | 83,4 | 70,9 | 47,8 | 27,7 | 403,0 |
| прогноз в программе«Баланс», мм | 79,2 | 69,4 | 86,3 | 69,3 | 32,3 | 25,7 | 362,2 |
| отклонение, % | 11,1 | 17,6 | -3,5 | 2,2 | **32,5** | 7,2 | 10,1 |

При анализе данных табл. 4 можно констатировать, что погрешность расчета невелика за вегетационный период и колеблется в пределах

от -0,3 до 13,3 %. Превышение более 20 % наблюдается только для отдельных метеостанций в сентябре и октябре. Это может быть обусловлено меньшими величинами испарения в данные месяцы, что приводит к более значительным относительным ошибкам. Метод ГКР может быть использован для дальнейшего моделирования суммарного испарения по метеостанциям Беларуси.

На заключительном этапе в программе «Баланс» произведены расчеты среднемноголетнего суммарного испарения на 2010 и 2020 гг. по результатам прогнозных значений атмосферных осадков, температур и дефицитов влажности воздуха на 2020 г. [7]. В табл. 5 представлены изменения прогнозного суммарного испарения за вегетационный период для различных обеспеченностей на 2020 г. относительно 2010 г.

*Таблица 5*

*Изменения среднемноголетних величин суммарного испарение за период май-октябрь на 2020 г. по метеостанциям Беларуси (в мм) по отношению к 2010 г.*

|  |  |
| --- | --- |
| Метеостанция | Обеспеченность, % |
| 10 | 25 | 50 | 75 | 90 |
| Барановичи | 18 | 17 | 16 | 14 | 13 |
| Березино | 29 | 27 | 25 | 23 | 21 |
| Бобруйск | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 |
| Брагин | 15 | 13 | 12 | 11 | 9 |
| Брест | 13 | 12 | 11 | 10 | 10 |
| Василевичи | -2 | -2 | -2 | -2 | -1 |
| Верхнедвинск | -10 | -9 | -9 | -8 | -7 |
| Вилейка | 8 | 8 | 7 | 6 | 6 |
| Витебск | -12 | -12 | -11 | -11 | -10 |
| Волковыск | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Воложин | -12 | -12 | -11 | -10 | -9 |
| Ганцевичи | 22 | 20 | 19 | 18 | 17 |
| Гомель | 13 | 12 | 11 | 9 | 8 |
| Горки | -8 | -8 | -7 | -7 | -6 |
| Гродно | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 |
| Житковичи | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 |
| Жлобин | 27 | 25 | 23 | 22 | 20 |
| Ивацевичи | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| Кличев | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| Костюковичи | -9 | -9 | -8 | -7 | -7 |
| Лельчицы | 9 | 8 | 8 | 7 | 6 |
| Лепель | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 |
| Лида | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Марьина горка | 23 | 21 | 20 | 18 | 17 |
| Минск | 14 | 14 | 13 | 12 | 11 |
| Могилев | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 |
| Новогрудок | -13 | -12 | -11 | -10 | -9 |
| Орша | -8 | -8 | -7 | -7 | -6 |
| Пинск | 29 | 28 | 26 | 25 | 23 |
| Полоцк | -18 | -17 | -16 | -15 | -14 |
| Сенно | -6 | -6 | -5 | -5 | -5 |
| Славгород | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 |
| Слуцк | 32 | 30 | 29 | 27 | 25 |
| Шарковщина | -13 | -12 | -11 | -11 | -10 |

Анализ табл. 5 показывает, что нет четкой направленности колебаний суммарного испарения, для каждого месяца характерны его различные изменения. Имеет место, как увеличение, так и уменьшение суммарного испарения на территории Беларуси. Наибольшая трансформация суммарного испарения произойдет для обеспеченности 10 % в пределах от -20 до 30 мм, наименьшая - для обеспеченности 90 % в пределах от -10 до 25 мм. В летние месяцы видна положительная тенденция изменения суммарного испарения в сторону увеличения, за исключением нескольких метеостанций. В целом за вегетационный период среднемноголетнее значение суммарного испарения изменяется в пределах ± 10 %.

Пространственное распределение суммарного испарения за теплый период представлено на рисунке для 2010 г. (рис. а) и прогнозируемое значение на 2020 г. (рис. б).

а)

б)

*Суммарное испарение на территории Беларуси за период май-октябрь:*

*а - в 2010 г.; б - в 2020 г., мм*

Из рисунка видна явная тенденция увеличения суммарного испарения с севера на юг страны. За май-октябрь для центральной и южной частей характерно увеличение испарения от 2 до 6 %, исключение составляют отдельные локальные метеостанции (Березино, Пинск, Слуцк), где испарение может увеличиваться до 8 % и более. В июле наблюдается уменьшение испарения в Витебской и Минской (северо-западная часть) обл. в среднем до 5 %. А для остальной части Беларуси заметна положительная динамика увеличения испарения до 15 % на западе страны.

С повышением температуры воздуха должно происходить увеличение численного значения суммарного испарения. Однако не на всех метеостанциях наблюдается его рост, что обусловлено разнонаправленностью векторов факторов, формирующих процесс испарения. Интенсивность испарения зависит от тепловых, влажностных и динамических характеристик пограничного слоя атмосферы. Для установления причин многолетних направленных изменений интенсивности суммарного испарения с территории Беларуси был проведен подробный анализ изменений гидрометеорологических характеристик. Наиболее значимо изменилась временная структура скорости ветра, по всем метеостанциям наблюдается уменьшение скорости. Что еще раз доказывает о сложности физического процесса суммарного испарения, многофакторности формирования данного режима, взаимокомпенсационности этих факторов между собой.

**Заключение**

Можно говорить о наметившейся тенденции изменения режима суммарного испарения на территории Беларуси, вызванной современными природными и антропогенными факторами, в том числе потеплением климата. Происходящие процессы рознятся как по пространственному распределению, так и по скорости изменения самих процессов, которые будут усиливаться в связи с прогнозируемым изменением климата. Полученные результаты в полной мере корреспондируются с ранее полученными значениями прогнозных оценок температур и дефицитов влажности воздуха, атмосферных осадков на период до 2020 г. [7].

Поставленная проблема далека от своего полного решения, полученные результаты требуют дальнейшей всесторонней проверки, поскольку изменение режима суммарного испарения потребует пересмотра нормативов при проектировании водохозяйственных объектов и разработки компенсационных мероприятий.

**Список литературы**

1. Статистические методы в природопользовании: учеб, пособие / В. Е. Валуев [и др.]. - Брест: БрПИ, 1999.-252 с.

2. Мезенцев, В. С. Увлажненность Западно-Сибирской равнины / В. С. Мезенцев, И. В. Карнацевич. - Л.: Гидрометеоиздат, 1969. - 168 с.

3. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях / В. С. Мезенцев

[и др.]. - Омск, 1980.-Ч. І.-80 с.

4. Волчек, А. А. Методика определения максимально возможного испарения по массовым метеоданным (на примере Белоруссии) / А. А. Волчек // Научно-техническая информация по мелиорации и водному хозяйству (Минводхоз БССР). - 1986. -№ 12. - С. 17-21.

5. Волчек, А. А. Исследование пространственно-временных колебаний элементов водного баланса (на примере Белоруссии): автореф. дис. ... канд. геогр. наук / А. А. Волчек. - М., 1988. - 24 с.

6. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: техническое резюме [Электронный ресурс] / Федерал, служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). - М., 2008. - Режим доступа:

<http://climate2008.igce.ru/v2008/pdf/resume_teh.pdf>. **-** Дата доступа: 25.10.2011.

7. Возможные изменения речного стока в зависимости от прогнозируемого изменения климата / А. А. Волчек [и др.]. // Экологический вестник. - 2011. – № 3. - С. 5-13.

**A. A. Volchek, D. N. Dashkevich**

**EVALUATION OF TOTAL EVAPORATION IN BELARUS:**

**CURRENT STATUS AND OUTLOOK**

The article presents the results of research of tendencies of change of total evaporation, temperatures of air, an atmospheric precipitation, deficiencies of humidity of air in territory of Belarus are presented. The statistical analysis of change of time numbers of total evaporation and the basic climatic factors is made. The look-ahead estimation of these parameters for 2020 is carried out. Values of percentage change of total evaporation for 2020 with respect to 2010 are received. It is found that there is no accurate orientation of fluctuations of total evaporation. Both increase, and reduction of total evaporation on the territories of Belarus takes place. The least transformation of total evaporation will occur in May (from-7 %

to 9 %), the greatest - in autumn months (from-29 % to 26 %).

***А. А. Волчек, Д. Н. Дашкевич***