

Волчек А.А., Дашкевич Д.Н.

## СУММАРНОЕ ИСПАРЕНИЕ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ И ЕГО ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ

**Введение.** Суммарное испарение – один из основных расходных элементов водного баланса речных водосборов. При решении большого круга 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, впрочем, как и расчетные методы дают существенные ошибки. Кроме того, ограничивающим моментом является малый объем исходной выборки, вследствие чего неизбежно искажение статистических модельных представлений структуры испарения в точке. В рядах наблюдений имеются пропуски, отмечается нестационарность 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 величины, 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 и сопоставление полученных результатов с данными о радиационном балансе, испаряемости и, конечно, с измеренными значениями суммарного испарения данными водобалансовых исследований.

Целью настоящего исследования является 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 года), Волковыск (с 1981 года), Полесская (с 1980 года) и Шарковщина (с 1962 года), а также среднемесячными величинами дефицита влажности воздуха, атмосферными осадками, температурой приземного воздуха по 40 метеостанциям за период с 1950 по 2010 гг., фондовые материалы различных организаций и учреждений, а также картографические и опубликованные источники.

Методологической основой исследований являются научные положения о стохастической природе изменчивости суммарного испарения, что позволило использовать современные статистические методы анализа временных рядов. Широко использованы методы водного и теплоэнергетического балансов подстилающей поверхно-

сти, математического моделирования. Системный анализ накопленной информации и сравнительно-географический метод использован для выявления закономерности пространственно-временных колебаний суммарного испарения.

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

а) критерий Стьюдента

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{n_x \cdot \hat{\sigma}_x^2 + n_y \cdot \hat{\sigma}_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_x \cdot n_y \cdot (n_x + n_y - 2)}{n_x + n_y}}, \quad (1)$$

где  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  – выборочные средние;  $\hat{\sigma}_x^2$  и  $\hat{\sigma}_y^2$  – выборочные дисперсии;  $n_x$  и  $n_y$  – объемы выборок.

Полученное значение  $t$  критерия Стьюдента сравнивалось с его критическим значением при заданном уровне значимости  $\alpha = 5\%$ . Если  $t > t_{\alpha}$ , принимается гипотеза статистического различия двух выборочных средних.

б) критерий Фишера

$$F = \frac{\hat{\sigma}_x^2}{\hat{\sigma}_y^2}, \quad (2)$$

где  $\hat{\sigma}_x^2$  и  $\hat{\sigma}_y^2$  – выборочные дисперсии.

Гипотеза статистического различия выборочных дисперсий принималась, если имело место неравенство  $F > F_{\alpha}$ , где  $F_{\alpha}$  – критическое значение критерия Фишера.

Оценка тенденций изменений суммарного испарения осуществлялась с помощью линейного тренда:

$$E_i = E_o \pm \Delta E \cdot t_i, \quad (3)$$

где  $E_i$  – значение суммарного испарения в  $i$ -ый период, мм;  $E_o$  – значение суммарного испарения в начальный период, мм;  $\pm \Delta E$  – изменение значений суммарного испарения за расчетный интервал, мм/год;  $t_i$  – время, год.

В качестве меры оценки изменений временного ряда использовался градиент  $\alpha$ , численно равный изменению суммарного испарения за 10 лет ( $\alpha = 10 \cdot \Delta E$ ).

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.

В связи с тем, что метеостанций на которых ведутся наблюдения за суммарным испарением недостаточно для объективной оценки его пространственной структуры использован метод гидролого-климатических расчетов (ГКР) [2, 3].

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

$$E(I) = E_m(I) \left[ 1 + \left( \frac{\frac{E_m(I)}{W_{HB}} + V(I)^{1-r(I)}}{KX(I) + g(I)} + V(I) \right)^{\frac{n(I)}{n(I)}} \right]^{\frac{1}{n(I)}}, \quad (4)$$

**Волчек Александр Александрович**, д.г.н., профессор, декан факультета водоснабжения и гидрометеорологии Брестского государственного технического университета.

**Дашкевич Д.Н.**,

Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

$$V(I+1) = V(I) \cdot \left( \frac{V_{cp}(I)}{V(I)} \right)^{r(I)}, \quad (5)$$

$$V_{cp}(I) = \left( \frac{KX(I) + g(I) + V(I)}{\frac{W_{HB}}{E_m(I)} + V(I)^{1-r(I)}} \right)^{\frac{1}{r(I)}}, \quad (6)$$

где  $E_m(I)$  – максимально возможное суммарное испарение – водный эквивалент теплоэнергетических ресурсов климата, мм;  $W_{HB}$  – наименьшая влагоемкость деятельного слоя почвогрунтов, мм;  $V(I) = W(I)/W_{HB}$  – относительная влажность почвогрунтов на начало расчетного периода;  $KX(I)$  – 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 как:

$$LE_m = R^+ + P^+ + \Delta B - \Delta E_m, \quad (7)$$

где  $L$  – скрытая теплота испарения;  $R^+$  – положительная составляющая радиационного баланса, Дж/см<sup>2</sup>;  $P^+$  – положительная составляющая турбулентного теплообмена, Дж/см<sup>2</sup>;  $\Delta B$  – изменение теплопасов деятельного слоя почвы, Дж/см<sup>2</sup>;  $\Delta E_m$  – расход тепла на таяние снега, льда, прогревание почвы, Дж/см<sup>2</sup>.

Система уравнений (4–6) 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, подбирая параметры  $W_{HB}$ ,  $r(\tau)$  и  $n(\tau)$  и используя систему уравнений (4)–(6), производится настройка модели на измеренные значения суммарного испарения по одной из ближайших четырех метеостанций. Наименьшая влагоемкость  $W_{HB}$  почвы изменяется в пределах от 60 до 220 мм, параметр  $r$  – от 1 до 2,5, параметр  $n$  – от 2 до 3,4. 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, используя параметры, полученные при моделировании суммарного испарения по конкретной метеостанции. Расчет суммарного испарения исследуемой территории производится с учетом конкретных особенностей рассматриваемого участка суши.

**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 см<sup>2</sup> 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 суток – 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  $E$ , мм слоя воды рассчитывалось по формуле:

$$E = \frac{10}{S} \cdot (P_1 - P_2) + X - G, \quad (8)$$

где  $S$  – площадь испарителя, см<sup>2</sup>;  $P_1$  и  $P_2$  – 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 (наблюдения ведутся с 1959 г.) и является репрезентативной. Агрометеостанция Василевичи расположена в центральной части Гомельской области, 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 Волковской возвышенности преимущественно со сглаженным волнисто-холмистым моренным рельефом и ведет наблюдения с 1981 г.. Местность в радиусе 10 км пересеченная 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 З 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 З и в 2–3 км к С, СВ и ЮВ от метеостанции. Остальная местность занята сельскохозяйственными 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 см – суглинок, 40–100 см – глина. Глубина залегания грунтовых вод 24 м (определена по ближайшему колодцу).

Метеорологическая станция Полеская была оборудована в 1953 году на неосушенном болоте в 6,5 км к ЮЗ от суходольной. 1 апреля 1970 года метеонаблюдения на естественном болоте прекращены и 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 (службное помещение) находится в 50 м к З от метеоплощадки. В 70 м к Ю проходит осушительный канал. Ближайший лес расположен в 2–2,5 км к З, 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 области, наблюдения ведутся с 1962 г. Окружающая местность представляет собой равнину с небольшими возвышенностями. Лесов в окрестностях мало. Преимущественно распространены

ны 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, несомненно, 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 [5]). Вектор тенденций в величинах суммарного испарения носит разнонаправленный характер (таблица 1).

В летние месяцы (июнь, июль) имеют место процессы характерные для всей территории Беларуси, причем в июне наблюдается уменьшение величин суммарного испарения, а 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 разнонаправленностью их векторов.

Как известно суммарное испарение формируется под воздействием многих факторов. Наиболее существенными климатическими факторами 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, 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-ем метеостанциям). Увеличение градиентов дефицитов влажности воздуха имеет значащее значения 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 два интервала: 1959-1986 гг. и 1987-2010 гг.) и Шарковщина (интервалы: 1962-1986 гг. 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 г. и 1981 г. соответственно). Результаты статистической проверки приведены в таблицах 2, 3.

**Таблица 1.** Градиенты ( $\alpha / 10 \text{ лет}$ ) (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	<u>2,6</u> 0,10	<u>-9,6</u> -0,32	<u>5,8</u> 0,22	<u>-0,36</u> -0,02	<u>-2,9</u> -0,17	<u>-1,9</u> -0,21	<u>-6,3</u> -0,11
Волковыск	<u>-0,7</u> -0,03	<u>-0,1</u> -0,01	<u>3,9</u> 0,12	<u>-2,7</u> -0,09	<u>0,1</u> 0,01	<u>-1,3</u> -0,14	<u>-0,8</u> -0,01
Полесская	<u>-4,2</u> -0,13	<u>-8,4</u> -0,21	<u>3,2</u> 0,09	<u>4,9</u> 0,14	<u>7,1</u> 0,24	<u>3,1</u> 0,21	<u>5,5</u> 0,06
Шарковщина	<u>3,8</u> 0,14	<u>-8,2</u> -0,24	<u>3,4</u> 0,10	<u>-4,4</u> -0,12	<u>-0,7</u> -0,03	<u>-5,6</u> <b>-0,46</b>	<u>-11,7</u> -0,12
атмосферные осадки							
Василевичи	<u>19</u> <b>0,54</b>	<u>-24</u> <b>-0,40</b>	<u>16</u> 0,25	<u>-16</u> -0,24	<u>-10</u> -0,23	<u>15</u> 0,36	<u>0,08</u> 0,0
Волковыск	<u>12</u> 0,38	<u>-10</u> -0,22	<u>14</u> 0,23	<u>1</u> 0,03	<u>-16</u> -0,3	<u>9</u> 0,23	<u>1,76</u> 0,10
Полесская	<u>7</u> 0,27	<u>-16</u> -0,34	<u>32</u> <b>0,42</b>	<u>13</u> 0,19	<u>-18</u> 0,37	<u>9</u> 0,32	<u>4,6</u> 0,28
Шарковщина	<u>15</u> 0,3	<u>-18</u> -0,29	<u>9</u> 0,14	<u>6</u> 0,10	<u>-23</u> <b>-0,54</b>	<u>16</u> 0,4	<u>0,67</u> 0,03
температура воздуха							
Василевичи	<u>0,16</u> -0,07	<u>0,06</u> 0,03	<u>0,87</u> <b>0,41</b>	<u>0,41</u> 0,23	<u>0,74</u> 0,37	<u>0,78</u> <b>0,48</b>	<u>0,45</u> <b>0,55</b>
Волковыск	<u>0,05</u> -0,02	<u>0,46</u> 0,29	<u>1,05</u> <b>0,42</b>	<u>0,69</u> 0,36	<u>1,09</u> <b>0,51</b>	<u>0,44</u> 0,22	<u>0,61</u> <b>0,64</b>
Полесская	<u>-0,13</u> -0,06	<u>0,46</u> 0,28	<u>0,94</u> 0,39	<u>0,46</u> 0,26	<u>0,91</u> <b>0,44</b>	<u>0,53</u> 0,29	<u>0,53</u> <b>0,62</b>
Шарковщина	<u>-0,37</u> -0,18	<u>-0,08</u> -0,04	<u>0,75</u> 0,31	<u>0,52</u> 0,28	<u>0,96</u> <b>0,45</b>	<u>0,41</u> 0,21	<u>0,37</u> <b>0,39</b>
дефициты влажности воздуха							
Василевичи	<u>-0,22</u> -0,14	<u>0,68</u> 0,33	<u>0,56</u> 0,20	<u>0,27</u> 0,12	<u>0,64</u> <b>0,49</b>	<u>0,07</u> 0,18	<u>0,33</u> 0,33
Волковыск	<u>0,03</u> 0,02	<u>0,76</u> <b>0,44</b>	<u>0,69</u> 0,20	<u>0,41</u> 0,16	<u>0,81</u> <b>0,58</b>	<u>-0,12</u> -0,16	<u>0,43</u> <b>0,39</b>
Полесская	<u>-0,18</u> -0,13	<u>0,64</u> <b>0,40</b>	<u>0,44</u> 0,14	<u>-0,01</u> -0,01	<u>0,52</u> <b>0,42</b>	<u>-0,15</u> -0,19	<u>0,21</u> 0,24
Шарковщина	<u>-0,39</u> -0,26	<u>0,35</u> 0,20	<u>0,40</u> 0,14	<u>0,19</u> 0,08	<u>0,46</u> <b>0,47</b>	<u>-0,11</u> -0,22	<u>0,15</u> 0,14

**Примечание.** Критическое значение коэффициента корреляции на 5 % уровне значимости при  $n = 24$ ,  $r_{кр} = 0,39$

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

**Примечание:** Выделены статистически значимые величины. Знак «+» обозначает увеличение средних

**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	<b>2,40</b>	<b>2,57</b>	1,28	1,20	0,44	<b>3,21</b>
температура воздуха	<b>0,55</b>	<b>0,88</b>	<b>0,93</b>	1,32	<b>0,96</b>	<b>0,55</b>	<b>0,52</b>
атмосферные осадки	<b>0,97</b>	1,02	1,35	1,32	1,77	1,62	<b>0,72</b>
дефицит влажности воздуха	0,18	0,22	0,37	0,31	0,11	0,05	0,09
скорость ветра	<b>2,6</b>	<b>2,16</b>	<b>3,13</b>	<b>3,3</b>	1,5	<b>2,18</b>	<b>2,4</b>
Шарковщина							
суммарное испарение	<b>0,73</b>	0,34	<b>0,54</b>	<b>0,91</b>	<b>0,52</b>	1,69	<b>0,50</b>
температура воздуха	0,48	1,08	1,58	1,48	<b>0,86</b>	<b>0,75</b>	<b>0,61</b>
атмосферные осадки	1,50	<b>2,67</b>	<b>1,96</b>	<b>1,96</b>	<b>0,68</b>	1,33	1,94
дефицит влажности воздуха	0,16	0,16	0,40	0,37	0,06	0,04	0,10
скорость ветра	<b>2,93</b>	<b>5,52</b>	<b>2,48</b>	<b>2,48</b>	<b>2,12</b>	<b>3,51</b>	<b>3,72</b>

**Примечание:** Выделены статистически значимые величины

Как видно из таблицы 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, таких как уменьшение средней скорости ветра.

Материалы таблицы 3 показывают различия в колебаниях рассматриваемых рядов суммарного испарения наблюдаются в июне, июле, (мае-октябре) по метеостанции Василевичи, по которой 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.

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

О пространственном распределении суммарного испарения по территории Беларуси нельзя судить только по четырем метеостанциям, по которым ведутся наблюдения. Поэтому необходимо использовать расчетные методы определения суммарного испарения. В качестве такого метода нами был использован метод гидролого-климатических расчетов. Применимость данного метода обусловлена достаточной точностью между измеренными и рассчитанными величинами суммарного испарения.

В таблице 4 представлены результаты сравнения среднего зна-

чения измеренного суммарного испарения за период до 2010 года включительно и суммарного испарения рассчитанного методом ГКР в программе «Баланс», а так же точность расчета.

При анализе данных таблицы 4 можно констатировать, что погрешность расчета в целом невелика за вегетационный период и колеблется в пределах от -0,3 % до 13,3 %. Превышение более 20 % наблюдается только для отдельных метеостанций в сентябре, октябре. Это может быть обусловлено меньшими величинами испарения в данные месяцы, что приводит к более значительным относительным ошибкам. Таким образом, метод ГКР может быть использован для дальнейшего моделирования суммарного испарения по метеостанциям Беларуси.

На заключительном этапе в программе «Баланс» произведены расчеты среднееголетнего суммарного испарения на 2010 и 2020 годы по результатам прогнозных значений атмосферных осадков, температур и дефицитов влажности воздуха на 2020 год [6]. В таблице 5 представлены изменения прогнозного суммарного испарения на 2020 год относительно 2010 года.

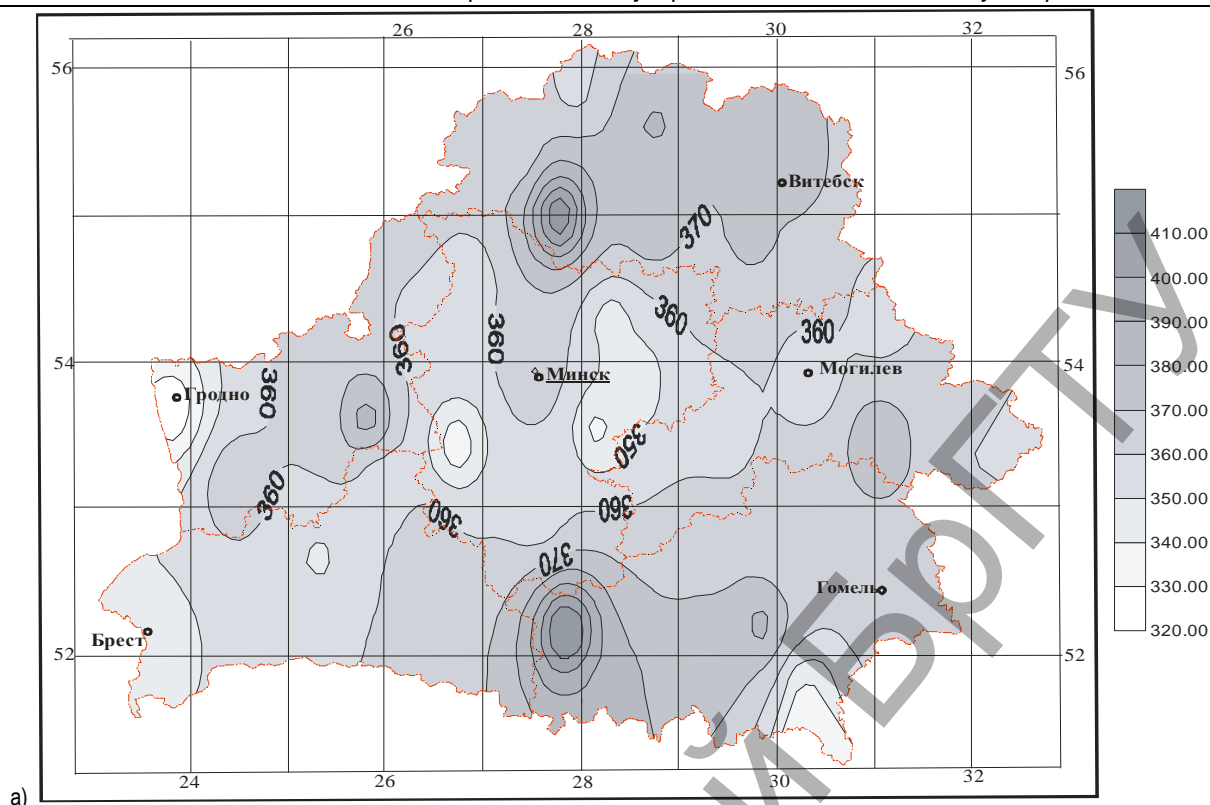
Анализ таблицы 5 показывает, что нет четкой направленности колебаний суммарного испарения, для каждого месяца характерны различные изменения суммарного испарения. Имеет место, как увеличение, так и уменьшение суммарного испарения на территории Беларуси. Наименьшая трансформация суммарного испарения произойдет в мае (от -7 % до 9 %), наибольшая – в осенние месяцы (от -29 % до 26 % (исключение составляет метеостанция Борисов – 48 %)), что вполне согласуется с таблицей 4, показывающей максимальные погрешности в сентябре и октябре. В октябре практически по всем метеостанциям наблюдается наибольшее изменение суммарного испарения в сторону уменьшения 10 %, достигая максимального значения до 29 %. В летние месяцы видна положительная тенденция изменения суммарного испарения в сторону увеличения, за исключением нескольких метеостанций. В целом за вегетационный период суммарное испарение изменяется в пределах  $\pm 10\%$ .

Таблица 4. Значения суммарного испарения по метеостанциям Беларуси

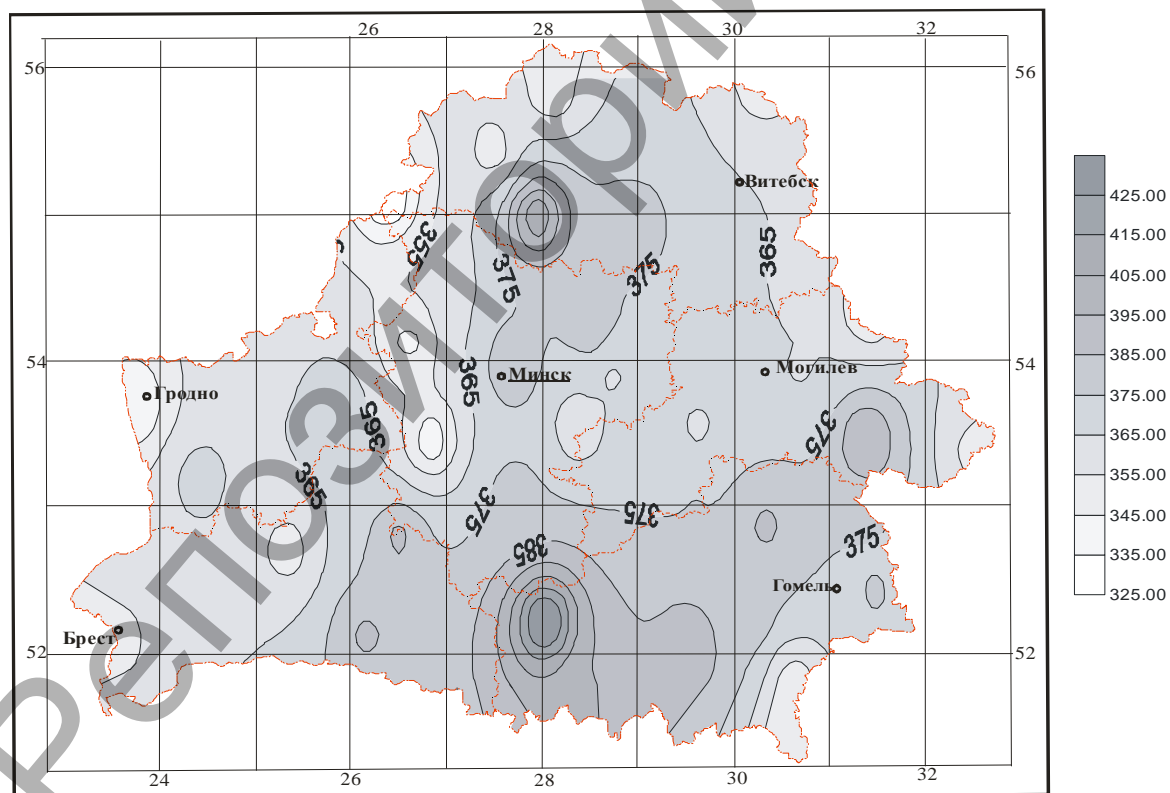
Показатель	Интервал осреднения						
	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	май-октябрь
<b>Василевичи</b>							
среднее значение за период наблюдений, мм	77,0	89,4	85,0	63,2	35,7	21,4	371,6
прогноз в программе «Баланс», мм	79,9	83,9	86,1	63,3	40	29,8	383
отклонение, %	-3,8	6,1	-1,3	-0,1	-12,0	<b>-39,4</b>	-3,1
<b>Волковыск</b>							
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	<b>33,7</b>	-16,5	0,4
<b>Полесская</b>							
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	<b>28,3</b>	11,9	10,4
<b>Шарковщина</b>							
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	<b>32,5</b>	7,2	10,1

Таблица 5. Изменения среднееголетних величин суммарного испарения на 2020 год по метеостанциям Беларуси, в % по отношению к 2010 г.

Метеостанция	Интервал осреднения						
	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	май-октябрь
Барановичи	1	<b>20</b>	<b>14</b>	4	<b>-21</b>	<b>-14</b>	4
Березино	5	<b>35</b>	8	6	-6	<b>-21</b>	8
Бобруйск	5	4	<b>11</b>	7	-9	<b>-29</b>	3
Борисов	9	9	4	<b>22</b>	<b>48</b>	<b>-16</b>	<b>11</b>
Брагин	2	3	5	1	<b>10</b>	4	4
Брест	3	6	8	5	4	<b>-21</b>	3
Василевичи	6	<b>-11</b>	<b>11</b>	-1	<b>-26</b>	<b>15</b>	0
Верхнедвинск	-2	1	-2	-1	-4	<b>-15</b>	-2
Вилейка	1	3	0	9	<b>10</b>	<b>-20</b>	2
Витебск	3	4	-8	-3	<b>-14</b>	-8	-3
Волковыск	-7	3	6	3	4	<b>-13</b>	0
Воложин	-3	-7	<b>-11</b>	<b>14</b>	7	<b>-24</b>	-3
Ганцевичи	1	3	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>-20</b>	5
Гомель	3	1	<b>10</b>	8	-4	<b>-16</b>	3
Горки	2	<b>13</b>	0	-5	<b>-18</b>	<b>-26</b>	-2
Гродно	-5	7	<b>12</b>	<b>10</b>	9	<b>-17</b>	4
Докшицы	-9	5	-8	6	<b>15</b>	<b>-17</b>	-2
Езерище	1	-2	-12	-8	<b>-21</b>	<b>-10</b>	-8
Житковичи	5	3	5	4	3	-3	3
Жлобин	3	6	<b>17</b>	<b>13</b>	-3	<b>-16</b>	7
Ивацевичи	-1	2	4	8	1	<b>-24</b>	1
Кличев	-1	0	<b>17</b>	<b>15</b>	-8	<b>-23</b>	4
Костюковичи	2	1	4	-6	<b>-16</b>	<b>-14</b>	-2
Лельчицы	-1	3	5	3	6	-8	2
Лепель	1	1	4	7	-3	<b>-10</b>	2
Лида	-1	4	2	6	4	<b>-22</b>	1
Лынтупы	-7	<b>-10</b>	<b>-14</b>	<b>-15</b>	<b>-18</b>	<b>-14</b>	<b>-12</b>
Марьяна горка	7	<b>22</b>	0	<b>11</b>	2	<b>-18</b>	6
Минск	1	6	8	<b>15</b>	-1	<b>-28</b>	3
Могилев	5	-5	8	8	9	-6	4
Мозырь	3	4	<b>10</b>	7	1	-8	5
Новогрудок	-2	-1	-1	9	<b>-18</b>	<b>-18</b>	-3
Орша	-2	3	0	2	<b>-19</b>	-9	-2
Пинск	8	0	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>-20</b>	7
Полоцк	-3	-3	-5	2	-5	<b>-21</b>	-4
Сенно	1	6	-4	2	-7	<b>-20</b>	-1
Славгород	0	8	<b>18</b>	5	-9	<b>-28</b>	4
Слуцк	0	<b>11</b>	9	<b>16</b>	<b>26</b>	<b>-14</b>	8
Столбцы	-1	4	2	8	5	<b>-12</b>	2
Шарковщина	-7	-1	-1	4	-4	<b>-22</b>	-3



а)



б)

Рисунок. Суммарное испарение на территории Беларуси: а) в 2010 г., б) в 2020г., мм

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

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 (Бере-

зино, Борисов, Пинск, Слуцк), где испарение может увеличиваться до 8 % и более. В июле наблюдается уменьшение испарения в Витебской и Минской (северо-западная часть) областях 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 рост суммарного испарения, 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 этого режима, взаимокомпенсационности этих факторов между собой.

**Заключение.** По результатам исследований, можно констатировать о наметившейся тенденции изменения режима суммарного испарения на территории Беларуси, вызванной современными природными и антропогенными факторами, в том числе потеплением климата. Происходящие процессы роятся 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 года [6].

Поставленная проблема далека от своего полного решения, полученные результаты требуют дальнейшей всесторонней проверки,

так как изменение режима суммарного испарения потребует пересмотра нормативов при проектировании водохозяйственных объектов и разработки компенсационных мероприятий.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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. Ч. 1. / В.С. Мезенцев [и др.]. – Омск, 1980 – 80 с.
4. Волчек, А.А. Методика определения максимально возможного испарения по массовым метеоданным (на примере Белоруссии) // Научно-техническая информация по мелиорации и водному хозяйству (Минводхоз БССР), 1986. – № 12. – С. 17–21.
5. 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). – Москва, 2008. – Режим доступа: [http://climate2008.igce.ru/2008/pdf/resume\\_teh.pdf](http://climate2008.igce.ru/2008/pdf/resume_teh.pdf). - Дата доступа: 25.10.2011.
6. Волчек, А.А. Возможные изменения речного стока в зависимости от прогнозируемого изменения климата / А.А. Волчек, Д.Н. Дашкевич, О.П. Мешик, В.Е. Валуев // Экологический вестник. – 2011. – № 3. – С. 5–13.

*Материал поступил в редакцию 10.05.12*

#### VOLCHAK A.A., DASHKEVICH D.N. Total evaporation on territories of Belarus and its look-ahead estimations

In article 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 parametres on 2020r is carried out. Values of percentage change of total evaporation for 2020 concerning 2010r are received. It is established that there is no accurate orientation of fluctuations of total evaporation. Takes place, both increase, and reduction of total evaporation by territories of Belarus. The least transformation of total evaporation will occur in May (from-7 % to 9 %), the greatest – in autumn months (from-29 % to 26 %).

УДК 551.58.57 (476)

**Валуев В.Е., Волчек А.А., Мешик О.П., Шпока И.Н.**

### СПЕЦИФИКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В КОНТЕКСТЕ АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТЕЙ ТRENDA

**Введение.** Опасные метеорологические явления (ОМЯ) снижают устойчивость и влияют на динамику развития экономики Беларуси. К опасным метеоявлениям, создающим угрозу хозяйству страны, здоровью и жизни людей относят [1]: заморозки, засухи и засушливые явления, нехарактерные для местных условий дожди, грозы, град, шквалы и смерчи, туманы, оттепели, метели, критически низкие температуры воздуха и почвы. В настоящей работе освещается опыт исследования пространственного распределения на территории Беларуси максимальных суточных величин атмосферных осадков, максимальных и минимальных температур воздуха. При этом, в качестве основного используется картографический метод исследований. Построение карты в изолиниях основано на интерполяции данных между эмпирическими точками и экстраполяции картируемой информации на периферию. Допускается, что наблюдаемые в точке ( $m$ ) и в близлежащих точках значения ОМЯ тесно коррелированы. Так как картируемая переменная положительно автокоррелирована на малых расстояниях, между точками можно построить непрерыв-

ную поверхность. При картографировании ОМЯ на территории Беларуси использована выборка репрезентативных экспериментальных метеоданных по 50 эмпирическим точкам [2].

Степень пространственной непрерывности регионализированной переменной выражается вариограммой. При наличии данных в рассеянном множестве точек и известной форме вариограммы, независимое значение ОМЯ нами оценивается в любой точке, не принадлежащей выборке ( $Z$ ). В качестве критерия оценки принят крайгинг [3].

Крайгинг нами использован для целей картирования ОМЯ в изолиниях, так как его отличают оптимальные статистические свойства (измерение ошибки или неопределенности поверхности изображаемой изолиниями, возможности использования полувариограммы для нахождения оптимального множества весов, оценки поверхности в точках, отличных от эмпирических, в функции расстояния и веса, изменяющихся в соответствии с географическим положением используемых точек наблюдений за ОМЯ).

**Валуев Владимир Егорович**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета.

**Мешик Олег Павлович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

**Шпока Ирина Николаевна**, ассистент кафедры географии Беларуси Брестского государственного университета им. А.С. Пушкина.

Беларусь, БрГУ им. А.С. Пушкина, 224016, г. Брест, бульвар Космонавтов, 21.