

УДК 556.132.6 (476)

**ИЗМЕНЕНИЕ СУММАРНОГО ИСПАРЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ<sup>1</sup>****А.А. Волчек, Д.Н. Дашкевич**

Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

В статье представлены результаты исследования колебаний суммарного испарения, температуры воздуха, атмосферных осадков, дефицитов влажности воздуха на территории Беларуси. Дана прогнозная оценка суммарного испарения на 2020 год. Установлено, что нет четкой направленности колебаний суммарного испарения. Имеет место как увеличение, так и уменьшение суммарного испарения на территории Белорусского Полесья.

**Введение**

Суммарное испарение – один из основных расходных элементов водного баланса речных водосборов. Суммарное испарение широко используется в сельском хозяйстве при определении мелиоративных норм, подбора севооборотов на различных по механическому составу сельскохозяйственных землях. 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 пункты его измерения существенно ограничены. Так, на территории Белорусского Полесья только на двух метеостанциях ведутся регулярные наблюдения за испарением. 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. Поэтому, в некоторых случаях целесообразнее отказаться от наблюдаемых величин, а использовать рассчитанные величины.

Целью настоящего исследования является оценка суммарного испарения на территории Белорусского Полесья и его изменения в современных климатических условиях и на ближайшую перспективу.

**Исходные материалы и методы исследования**

Исходными данными для исследований послужили материалы наблюдений за среднемесячными величинами суммарного испарения по 2 метеостанциям за период инструментальных наблюдений: Василевичи (начало наблюдений – 1959 год) и Полесская (1980 год), а также среднемесячными величинами дефицита влажности воздуха, атмосферными осадками, температурой приземного воздуха по метеостанциям, расположенным на территории Белорусского Полесья за период с 1950 по 2010 гг., опубликованные Департаментом по гидрометеорологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 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 поверхности, 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 Стьюдента и Фишера [1].

Оценка тенденций изменений суммарного испарения осуществлялась с помощью линейного тренда:

$$E_i = E_o \pm \Delta E \cdot t_i, \quad (1)$$

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 по 1986 гг. и с 1987 (начало интенсивного изменения климата) по 2010 гг. Расчеты проводились для метеостанции Василевичи, 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]. Особенности применения метода ГКР описаны нами в работе [4].

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

$$E_p = \bar{E} \cdot (\Phi_p \cdot C_v + 1) \quad (2)$$

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований на 2011-2015 годы «Природно-ресурсный потенциал» (подпрограмма «Природопользование-2»)

дзе  $\bar{E}$  – среднемноголетнее значение суммарного испарения, мм;  $\Phi_p$  – нормированное отклонение от среднего значения ординат распределения Пирсона III-го типа ( $\Phi_{10\%} = 1,28$ ;  $\Phi_{25\%} = 0,67$ ;  $\Phi_{50\%} = 0,0$ ;  $\Phi_{75\%} = -0,67$ ;  $\Phi_{90\%} = -1,28$ );  $C_v$  – коэффициент вариации ряда годовых величин суммарного испарения [5], при этом коэффициент асимметрии  $C_s = 0$ .

**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), вектор тенденций в величинах суммарного испарения носит разнонаправленный характер (таблица 1).

В летние месяцы (июнь, июль) имеют место процессы, характерные для всей территории Белорусского Полесья, причем в июне наблюдается уменьшение величин суммарного испарения, а июле – рост. В целом же на территории Белорусского Полесья 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). Температура воздуха увеличивается в июле (Василевичи), сентябре (Полесская), октябре (Василевичи), за вегетационный период (по рассматриваемым метеостанциям). Увеличение градиентов дефицитов влажности воздуха имеет значащее значения в июне (Полесская), сентябре (по обеим метеостанциям).

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.). Метеостанция Полесская в статистическом анализе не участвовала в связи

**Таблица 1** – Градиенты ( $a / 10$  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	<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
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
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
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
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>
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>
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
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

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

**Таблица 2** – Значения критериев Стьюдента для выборочных средних основных климатических параметров по метеостанции Василевичи

Показатель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	май-октябрь
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	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

Примечание: выделены статистически значимые величины. Знак «+» обозначает увеличение средних величин

**Таблица 3** – Значения критериев Фишера для выборочных средних суммарного испарения, дефицитов влажности воздуха, температуры воздуха, атмосферных осадков и скорости ветра по метеостанции Василевичи

Показатель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	май-октябрь
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>

Примечание: выделены статистически значимые величины

**Таблица 4** – Значения суммарного испарения по метеостанциям Белорусского Полесья

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>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

с недостаточным периодом наблюдений временных рядов (начало периода наблюдений с 1980 г.). Результаты статистической проверки приведены в таблицах 2, 3.

Как видно из таблицы 2, статистически значимое увеличение суммарного испарения наблюдается в мае, что определено ростом дефицитов влажности воздуха. Уменьшение выборочных средних величин суммарного испарения в июне 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) и скорости ветра.

Таким образом, 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, что необходимо учитывать при решении задач, связанных с прогнозированием суммарного испарения.

О пространственном распределении суммарного испарения по территории Белорусского Полесья нельзя судить только по двум 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 срав-

нения среднего значения измеренного суммарного испарения за период до 2010 года включительно и суммарного испарения, рассчитанного методом ГКР в программе «Баланс», а также точность расчета.

При анализе данных таблицы 4 можно констатировать, что погрешность расчета за вегетационный период в целом невелика и колеблется в пределах от -3% до 10%. Превышение более 20% наблюдается только для 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 Белорусского Полесья. На заключительном этапе в программе «Баланс» произведены расчеты среднееголетнего суммарного испарения на 2010-2020 годы по результатам прогнозных значений атмосферных осадков, температур и дефицитов влажности воздуха на 2020 год [6]. В таблице 5 представлены изменения прогнозного суммарного испарения за вегетационный период для различных обеспеченностей 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 Белорусского Полесья. Наибольшая трансформация суммарного испарения произойдет для обеспеченности 10% в пределах от -2 мм до 29 мм, наименьшая – для обеспеченности 90% в пределах от -1 мм до 23 мм. В целом за вегетационный период среднееголетнее значение суммарного испарения изменяется в пределах  $\pm 10\%$ .

**Таблица 5** – Изменения среднееголетних величин суммарного испарение за период май-октябрь на 2020 год по метеостанциям Белорусского Полесья, в мм по отношению к 2010 г.

Метеостанция	Обеспеченность, %				
	10	25	50	75	90
Брагин	15	13	12	11	9
Брест	13	12	11	10	10
Василевичи	-2	-2	-2	-2	-1
Ганцевичи	22	20	19	18	17
Гомель	13	12	11	9	8
Житковичи	16	15	14	13	12
Ивацевичи	3	3	2	2	2
Лельчицы	9	8	8	7	6
Пинск	29	28	26	25	23

### Выводы

По результатам исследований можно судить о наметившейся тенденции изменения режима суммарного испарения на территории Белорусского Полесья, 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 года [7].

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.

### ЛИТЕРАТУРА

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.: Гидрометеоздат, 1969. – 168 с.
3. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях. Ч. I. / В.С. Мезенцев [и др.]. – Омск, 1980 – 80 с.
4. Волчек, А.А. Суммарное испарение на территории Беларуси и его прогнозные оценки / А.А. Волчек, Д.Н. Дашкевич // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2012. – №2 (74). Водохозяйственное строительство, теплотехника и геоэкология. – С. 2–8.
5. Волчек, А.А. исследование пространственно-временных колебаний элементов водного баланса (на примере Белоруссии) // Автореферат ... канд. геогр. наук. – М., 1988. – 24 с.
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.

## CHANGE IN TOTAL EVAPORATION ON THE TERRITORY OF BELARUSIAN POLESIE

A.A. Volchek, D.N. Dashkevich

The paper presents the results of the study of oscillations of the total evaporation, air temperature, precipitation, deficits of humidity in the territory of Belarus. Presented prognosis estimation of evapotranspiration in 2020. It is established that there is no clear direction of oscillations of the total evaporation. There is an increase and decrease in evapotranspiration in the Belarusian Polesie.