

data on precipitation observed at the Pskem meteorological station and mean monthly water discharges measured on the Pskem and Ugam rivers were used. The meteorological drought indices (SPI) and hydrological drought indices (SSI) were calculated using SPI generator computer program. Statistical relations between SPI and SSI indices for the selected rivers were estimated on Pearson correlation coefficient. The "hit-score" values, that allow predicting hydrological drought for selected period based on meteorological drought, were determined, The results showed that there is a possibility of using the hit-score method for predicting hydrological drought.

Keywords: river, river basin, precipitation, water discharge, SPI and SSI drought indices, statistical correlation, correlation coefficient, hit-score method, forecasting.

REFERENCES

Agal'tseva N.A., Pak A.V., Novikova V.A. Hidrologicheskaya zasuha v Uzbekistane, analiz prichin i vozmoonosti prognozirovaniya [Hydrological drought in Uzbekistan, analysis of the causes and possibilities of forecasting] // Trudy Nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo instituta. – Tashkent: Vyp. 12(257). 2010. – S. 55-63. (in Russian)

Alekseyev G.A. Ob'yektivniye metodi vyravnivaniya i normalizatsii korrelyatsionnih svyazey [Objective methods of alignment and normalization of correlations]. – L.: Gidrometeoizdat, 1971. – 363 s. (in Russian)

Svoboda M., Khayyes M., Vud D. Rukovodstvo dlya pol'zovateley standartizirovannogo indeksa osadkov [Guidance for users of the standardized precipitation index]. – VMO, Jeneva, 2012 (1090). – 36 s. (in Russian)

Khikmatov F.Kh., Turgunov D.M. Malovodnie godi na gornikh rekah, voprosi rascheta ih normi i parametrov uglubleniya [Low-water years in mountain rivers, issues of calculating their rates and deepening parameters] // Vesnik NUUZ. № 3/1. Yestestvennye nauki. – Tashkent, 2017. – S. 330-335. (in Russian)

Khikmatov F.Kh., Aytboyev D.P. Gidrometeorologiyada statistik usullar [Statistical methods in hydrometeorology]. – Toshkent: Universitet, 2007. – 88 b. (in Uzbek)

Chub V.Ye. Izmeneniye klimata i ego vliyaniye na gidrometeorologicheskiye protsessi, agroklimaticheskkiye i vodnye resursy Respubliki Uzbekistan [Climate change and its impact on hydrometeorological processes, agroclimatic and water resources of the Republic of Uzbekistan]. – Tashkent: Voris-nashriyot, 2007. – 132 s. (in Russian)

УДК: 551.573:631.67

ОЦЕНКА РАСЧЁТНОГО ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКОГО МЕТОДА ИСПАРЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ

М.Л. АРУШАНОВ¹, Г.М. ХАМДАМОВА^{1,2*}, А.И. ВДОВЕНКО²,
Х.Д. ОДИЛОВ², Т.У. АПАКХУЖАЕВА³

¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт

² Центр гидрометеорологической службы Республики Узбекистан, gkhamdamova81@gmail.com

³ Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»

Аннотация. В статье выполнена количественная оценка испарения с почвы по расчётному методу Мезенцева в сравнении с данными, измеренными весовым испарителем ГГИ-500. Приведены результаты расчётов обеспеченности максимальных сумм годовых испарений на основе эмпирических данных в сравнении с аналогичными с использованием гамма- и

* Ответственный автор: gkhamdamova81@gmail.com, тел.: +998 91 1903791

биномиального распределений. Показано, что указанные распределения могут быть успешно использованы для расчёта обеспеченности максимальных сумм годовых испарений на территории Узбекистана.

Для получения большей точности расчёта испарения с почвы, входящие константы в формулу Мезенцева лучше получать, для исследуемой территории, на основе применения метода наименьших квадратов с использованием данных, измеренных испарителями. В целом, аналитический способ расчёта испарения с почвы, предложенный в середине 50-х годов прошлого столетия В.С. Мезенцевым, может применяться в различных областях гидрометеорологии, особенно он удобен при разработке математических моделей эвапотранспирации.

Ключевые слова: гидролого-климатический метод, осадки, температура, гамма-распределение, биномиальное распределение, кривая обеспеченности.

Введение. Испарение с почвы – один из самых сложных метеорологических параметров при исследовании элементов водного баланса. Его измерение в естественных условиях представляет определённые трудности, усугубляющиеся наличием растительного покрова.

Слагаемые суммарного испарения определяют прямыми, с использованием почвенных испарителей и лизиметров, и косвенными методами [Константинов, 1968]. Последние опираются на эмпирические связи с метеорологическими величинами или же рассчитываются как остаточный член уравнения водного баланса [Соколова, Чампен, 1976].

Прямые приборные методы, в силу их трудоёмкости и особых требований к техническому оснащению, ограничивают их применение в научных исследованиях и практической реализации. Поэтому, как правило, используется расчётные методы. Подробный обзор расчётных методов представлен в литературе [Черемисинов, Черемисинов, 2016].

В данной работе нами рассматриваются расчётный метод, предложенный В.С.Мезенцевым [Мезенцев, 1957].

Исследование точности расчётных методов испарения с почвы имеет важное значение при разработке моделей эвапотранспирации в различных условиях почвенно-климатического разнообразия. Точность расчётных методов наиболее актуальна для засушливых территорий, какой является большая часть территории Узбекистана.

Географическое местоположение, данные и методы расчёта. Географическое положение исследуемого района – Джизакская область Узбекистана, где расположены метеорологические станции Янгикишлак ($40,42^\circ$ с. ш., $67,18^\circ$ в. д.) и Галляарал ($40,02^\circ$ с. ш., $67,59^\circ$ в. д.) (рис. 1), на которых выполняются 8-ми срочные суточные метеорологические измерения.



Рис. 1. Географическое положение метеостанций

Fig. 1. Geographical situation of meteostations

В рассматриваемом районе благоприятные полугидроморфные и гидроморфные условия почвообразования, минерализации грунтовых вод. В силу физико-географических особенностей и влияния антропогенного фактора здесь сформировались орошаемые серозёмно-луговые почвы. Климат классифицируется как континентальный с засушливым, жарким летом и умеренно холодной зимой. В этом районе запланировано создание АЭС.

В работе использовались измеренные с помощью весового испарителя ГГИ-500 [Пушкарев, 1954] данные Узгидромета, полученные на станции Галляарал за 12-летний период (1972-1983 гг.). Важной особенностью такого типа испарителей является возможность с их помощью отдельно определять транспирацию и испарение с почвы.

В качестве расчётного метода взят гидролого-климатический метод Мезенцева [Мезенцев, 1957], основанный на данных о температуре воздуха и осадков. Временные ряды температуры воздуха и осадков составляют сорокапятилетний период (1972-2020 гг.) на станции Янгикишлак и 12-летний период (1972-1983 гг.) на станции Галляарал.

Согласно методу Мезенцева, рассчитывалась годовое испарение с почвы по формуле

$$E = E_{max} \times \left[\left(1 + \frac{X}{E_{max}} \right)^n \right]^{-1/n}, \quad (1)$$

где E_{max} – максимально возможное испарение, мм; n – параметр для равнинного рельефа средних широт ($n=3$); X – годовая сумма атмосферных осадков, мм, а значение E_{max} рассчитывалось по формуле:

$$E_{max} = a \sum_{t>0}^{\text{год}} t + b, \quad (2)$$

где $\sum t$ – сумма среднемесячных положительных температур воздуха за год, $a=5,88$, $b=258$ – эмпирические константы по Мезенцеву.

Однако, для повышения точности аналитического расчёта испарения, указанные параметры лучше подбирать для рассматриваемой территории на основе метода наименьших квадратов по данным приборных измерений. Эта же касается и параметра n в формуле (1).

Оценка невязки, измеренной и рассчитанной годовой испаряемости с почвы вычислялась за 12-летний период с использованием данных метеостанции Галляарал.

Численные расчёты. В табл. 1 приведены годовые суммы испарения по данным станций Галляарал и Янгикишлак, а в табл. 2 – статистические характеристики испарения по данным станции Янгикишлак: среднее многолетнее значение испарения: $\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}$;

дисперсия $\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n-1}$; коэффициент вариации $C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n-1}}$, $k_i = \frac{E_i}{\bar{E}}$.

В табл. 3 приведены оценки невязки расчётных и измеренных значений испарения по данным станции Галляарал. В качестве оценок невязки вычислялись:

$|\Delta_{max}|$ – абсолютная максимальная невязка;

$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_{из} - E_{рас})^2}$ – среднеквадратичная невязка;

$\varepsilon = \frac{S}{\sigma_{E_{из}}}$ – относительная невязка;

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (E_{из} - \bar{E}_{из})(E_{рас} - \bar{E}_{рас})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (E_{из} - \bar{E}_{из})^2 \sum_{i=1}^N (E_{рас} - \bar{E}_{рас})^2}} - \text{коэффициент корреляции.}$$

Таблица 1

Расчётные значения годовых сумм испарения с поверхности почвы по данным температуры воздуха и осадков, учтенных на метеостанциях Галляарал и Янгикишлак

Table 1

Calculated values of annual amounts of evaporation from the soil surface according to air temperature and precipitation, taken into account at the meteorological stations of the Gallyaaral and Yangikishlak

МС Галляарал												
Год	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
ΣЕ, мм	311	306	239	171	197	189	196	133	163	198	173	155
МС Янгикишлак												
Год	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
ΣЕ, мм	293	260	303	351	438	344	307	291	218	363	262	245
Год	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
ΣЕ, мм	446	260	385	331	504	349	501	307	182	298	457	448
Год	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ΣЕ, мм	340	211	218	473	464	511	327	290	386	265	414	283
Год	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
ΣЕ, мм	406	286	330	333	335	332	325	252	368	351	-	-

Таблица 2

Статистические характеристики максимального годового испарения с почвы (МС Янгикишлак)

Table 2

Statistical characteristics of the maximum annual evaporation from the soil (Yangikishlak meteorological station)

Параметр	Значение
Среднее многолетнее значение суммарных испарений, \bar{E}	340
Дисперсия, σ	83
Коэффициент вариации, C_v	0,24

Таблица 3

Оценки невязки расчётных и измеренных значений испарения по данным метеостанции Галляарал

Table 3

Estimates of the discrepancy between the calculated and measured values of evaporation according to the data of the Gallyaaral meteorological station

$ \Delta_{max} $, мм	S , мм	ϵ	r
61,21	9,03	0,41	0,89

На рис. 2 приведён график связи измеренных и рассчитанных значений испарения с почвы. Как видно из табл. 3 и рис. 2, приведённые оценки невязки двух способов получения значений испарения с почвы являются вполне удовлетворительными.

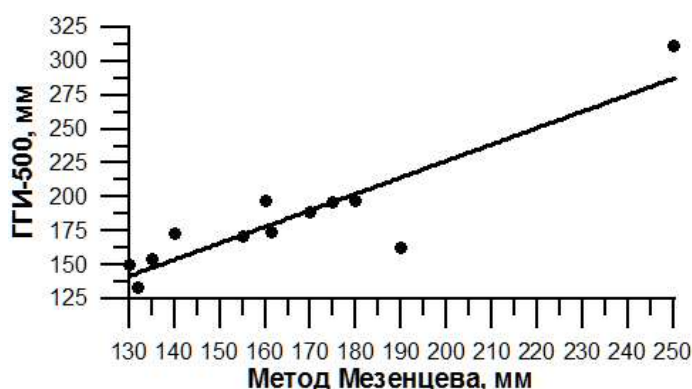


Рис. 2. График связи рассчитанных и измеренных значений испарения с почвы

Fig. 2. Relationship diagram between calculated and measured values of evaporation from the soil

График связи метеорологических характеристик и её эмпирической вероятности превышения (эмпирическая кривая обеспеченности) [СНИП 2.01.14-98, 1998], характеризующий обеспеченность максимальных испарений, построен по данным станции Янгикишлак за 46-летний период. Для этого, по ранжированному ряду суммарных годовых испарений, вычислялась вероятность превышения [Алексеев, 1971]

$$P_m = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%,$$

где: m – порядковый номер в выборке в ранжированном временном ряду; n – число членов (табл. 4).

Расчеты максимальных суммарных годовых испарений различной обеспеченности выполнены на основе гамма-распределения при значениях коэффициента вариации $C_s = \frac{[n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3]}{[\bar{c}_v^3 (n-1)(n-2)]} = K C_v$, где $K = 1.5, 2.0, 2.5$ и биномиального распределения для $K = 2.0$ [Справочник по СФ, 1979]. Результаты расчётов приведены в табл. 5.

Биномиальные и эмпирические кривые максимальных сумм годовых испарений различной обеспеченности приведены на рис. 3.

Как следует из рис. 3, рассчитанные распределения максимальных сумм годовых испарений достаточно близки к эмпирической кривой обеспеченности. Итоговые расчеты обеспеченности для 5%, 10%, 50% и 97% вероятности превышения приведены в табл. 6.

Выводы. Метод Мезенцева, предложенный для расчёта испарения с почвы для территории Узбекистана на основе полученных достаточно высоких оценок невязки с приборными измерениями испарения, может быть успешно использован в различных областях агрометеорологии, в том числе, при разработке математических моделей эвапотранспирации. Сказанное в полной мере подтверждается полученными гамма- и биномиальными распределениями максимальных сумм годовых испарений, близкие к эмпирической кривой обеспеченности.

Таблица 4
Обеспеченность (P%) максимальных испарений с поверхности почвы
(МС Янгикешлак)

Table 4

Probability (P%) of maximum evaporation from the soil surface
(Yangikishlak meteorostation)

Годы	ΣЕ	m	P, %	Годы	ΣЕ	m	P, %	Годы	ΣЕ	m	P, %
2004	511	1	2,13	1978	351	17	36,17	1982	291	33	70,21
1991	504	2	4,26	1992	349	18	38,30	2006	290	34	72,34
1993	501	3	6,38	1980	344	19	40,43	2012	286	35	74,47
2002	473	4	8,51	1999	340	20	42,55	2010	283	36	76,60
2003	464	5	10,64	2015	335	21	44,68	2008	265	37	78,72
1997	457	6	12,77	2014	333	22	46,81	1985	262	38	80,85
1998	448	7	14,89	2016	332	23	48,94	1988	260	39	82,98
1987	446	8	17,02	1990	331	24	51,06	1976	260	40	85,11
1979	438	9	19,15	2013	330	25	53,19	2018	252	41	87,23
2009	414	10	21,28	2005	327	26	55,32	1986	245	42	89,36
2011	406	11	23,40	2017	325	27	57,45	2001	218	43	91,49
2007	386	12	25,53	1994	307	28	59,57	1983	218	44	93,62
1989	385	13	27,66	1981	307	29	61,70	2000	211	45	95,74
2019	368	14	29,79	1977	303	30	63,83	1995	182	46	97,87
1984	363	15	31,91	1996	298	31	65,96				
2020	351	16	34,04	1975	293	32	68,09				

Примечание: вероятности превышения за данные годы приведены в возрастающем порядке.

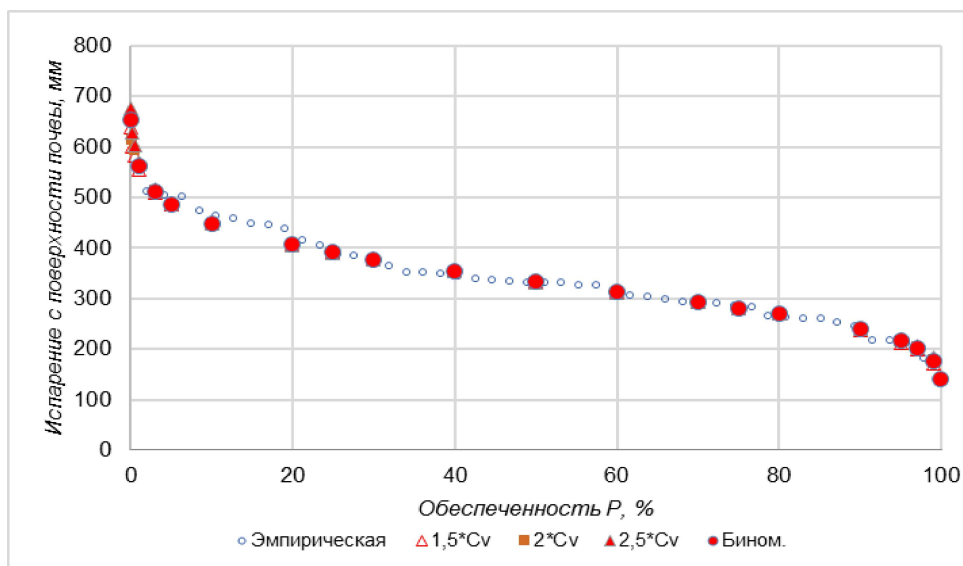


Рис. 3. Распределения максимальных сумм годовых испарений различной обеспеченности

Fig. 3. Distribution of the maximum amounts of annual evaporation of various probability

Таблица 5

Максимальные суммы годовых испарений различной обеспеченности
(МС Янгикишлак)

Table 5

The maximum amount of annual evaporation of various probability
(Yangikishlak meteostation)

Гамма-распределение						Биномиальное распределение, К=2	
К=1.5		К=2.0		К=2.5			
Р, %	ΣЕ	Р, %	ΣЕ	Р, %	ΣЕ	Р%	ΣЕ
0,10	639	0,10	657	0,10	676	0,10	-
0,30	601	0,30	614	0,30	627	0,30	654
0,50	583	0,50	593	0,50	604	0,50	561
1,0	555	1,0	561	1,0	571	1,0	512
3,0	509	3,0	514	3,0	517	3,0	486
5,0	486	5,0	487	5,0	489	5,0	449
10	449	10	449	10	449	10	407
20	408	20	406	20	405	20	392
25	393	25	392	25	390	25	378
30	380	30	377	30	377	30	354
40	357	40	355	40	354	40	334
50	335	50	333	50	332	50	313
60	314	60	313	60	312	60	292
70	293	70	292	70	292	70	281
75	281	75	281	75	281	75	270
80	269	80	270	80	270	80	239
90	238	90	239	90	241	90	216
95	213	95	217	95	220	95	202
97	199	97	203	97	207	97	177
99	172	99	179	99	184	99	-

Таблица 6

Максимальные суммарные годовые испарения (мм)
различной обеспеченности (МС Янгикишлак)

Table 6

Maximum total annual evaporation (mm)
of various probability (Yangikishlak meteostation)

Виды распределения	Обеспеченность Р, %			
	5	10	50	97
Гамма-распределение при К = 1.5	486	449	335	199
Гамма-распределение при К = 2.0	487	449	333	203
Гамма-распределение при К = 2.5	489	449	332	207
Биномиальное распределение при К = 2.0	486	449	334	202

Вклад авторов. М.Л. Арушанов: Методология, постановка проблемы, анализ, метод расчёта, проверка результатов. **Г.М. Хамдамова:** Разработка идеи статьи, методы, табличное и графическое представление результатов, описание и проверка результатов,

анализ, написание текста. **А.И. Вдовенко:** Определение объекта исследования, сбор данных, анализ, оформление. **Х.Д. Одилов:** Сбор данных, метод расчёта. **Т.А. Апахужаева:** Анализ и проверка результатов, оформление. Все авторы прочитали и согласны с опубликованной версией рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляции. Монография, – Л.: Гидрометеоздат, 1971. – 365 с.

Мезенцев В.С. Метод гидролого-климатических расчётов и опыт его применения для районирования Западно-Сибирской равнины по признакам увлажнения и теплообеспеченности // Труды Омского сельскохозяйственного института, Т. 27. 1957. – 121 с.

Пушкарев В.Ф. Исследование методов наблюдений над испарением с почвы // Труды ГГИ, вып. 45 (99). 1954. – С. 12-23.

Строительные нормы и правила (СНИП) 2.01.14-98. Определение расчётных гидрологических характеристик. Госкомархитектстрой Узбекистана. – Ташкент, 1998. – 118 с.

Соколова А.А., Чампен Т.Г. Методы расчёта водного баланса. Международное руководство по исследованиям и практике. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 120 с.

Справочник по специальным функциям. – М.: Наука, 1979. – 827 с.

Черемисинов А.А., Черемисинов А.Ю. Обзор расчётных методов определения суммарного испарения орошаемых сельскохозяйственных полей // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 1(21), 2016. – С. 113-133.

ТУПРОҚ ЮЗАСИДАН БУҒЛАНИШНИ ГИДРОЛОГИК-ИҚЛИМИЙ ҲИСОБЛАШ УСУЛИДА БАҲОЛАШ

**М.Л. АРУШАНОВ¹, Г.М. ҲАМДАМОВА^{1,2}, А.И. ВДОВЕНКО²,
Х.Д. ОДИЛОВ², Т.У. АПАХЖЎЖАЕВА³**

¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти

² Ўзбекистон Республикаси Гидрометеорология хизмати маркази, gkhamdamova81@gmail.com

³ «Тошкент ирригация ва кишлок хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти» Миллий тадқиқот университети

Аннотация. Мақолада тупроқдан буғланишни Мезенцевнинг ҳисоблаш усули бўйича аниқланган миқдорий баҳолашлари ГГИ-500 тарози буғлатгич билан ўлчанган маълумотларга таққосланган. Ўхшаш гамма ва биномиал тақсимотлар ёрдамида, эмпирик маълумотлар асосида, тупроқдан буғланишнинг йиллик максимал миқдорлари таъминланишини ҳисоблаш натижалари келтирилган. Бунда, келтирилган тақсимотлардан Ўзбекистон ҳудудида буғланишнинг йиллик максимал миқдорлари таъминланишини ҳисоблашда муваффақиятли фойдаланиши мумкинлиги кўрсатилган.

Ўрганилаётган ҳудуд учун буғлатгичлар ёрдамида ўлчанган маълумотлар асосида энг кичик квадратлар усулини қўллаш, тупроқдан буғланишни Мезенцев ҳисоблаш ифодасига киритилган константаларни янада аниқроқ олишида яхши самара беради. Умуман олганда, ўтган асрнинг 50-йиллари ўрталарида В.С. Мезенцев томонидан тақлиф этилган тупроқдан буғланишни ҳисоблашнинг аналитик усули агрометеорологиянинг турли соҳаларида қўлланилиши мумкин, айниқса у эвапотранспирациянинг математик моделларини ишлаб чиқишида қулайдир.

Калит сўзлар: гидрологик-иқлимий усул, ёгинлар, ҳарорат, гамма тақсимот, биномиал тақсимот, таъминланиши эгри чизиги.

EVALUATION OF THE CALCULATED HYDROLOGICAL-CLIMATIC METHOD OF EVAPORATION FROM THE SOIL SURFACE**M.L. ARUSHANOV¹, G.M. KHAMDAMOVA^{1,2}, A.L. VDOVENKO²,
N. H.D. ODILOV², T.U. APAKHYZHAEVA³**¹ Hydrometeorological Research Institute² Centre of Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan, gkhamdamova81@gmail.com³ National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers"

Abstract. *The article provides a quantitative assessment of the Mezentsev method for calculating evaporation from the soil in comparison with the data measured by the GGI-500 weight evaporator. The results of calculating the provision of the maximum amounts of annual evaporation based on empirical data in comparison with similar ones using gamma and binomial distributions are presented. It is shown that these distributions can be successfully used to calculate the provision of the maximum amounts of annual evaporation in the territory of Uzbekistan. The constants included in the Mezentsev formula for calculating evaporation from the soil to obtain greater accuracy, it is better to obtain for the study area on the basis of the least squares method using data measured by evaporators. In general, it is concluded that the analytical method for calculating evaporation from soil, proposed in the mid-50s of the last century by V.S. Mezentsev, can be used in various fields of agrometeorology, it is especially convenient when developing mathematical models of evapotranspiration.*

Keywords: *hydrological-climatic method, precipitation, temperature, gamma distribution, binomial distribution, probability curve.*

REFERENCE

Alekseev G.A. Ob'ektivnie metodi viravnivaniya i normalizatsiya korrelyatsii [Objective methods of alignment and normalization of correlations]. Monografiya, – L.: Gidrometeoizdat, 1971. – 365 s. (in Russian)

Mezentsev V.S. Metod gidrologo-klimaticheskikh raschetov i opit ego primeneniya dlya rayonirovaniya Zapadno-Sibirskoy ravnini po priznakam uvlajneniya i teploobespechennosti [The method of hydrological and climatic calculations and the experience of its application for zoning the West Siberian Plain on the basis of moisture and heat supply] // Izdatel'stvo Omskogo sel'skohozyaystvennogo Instituta, T. 27. 1957. – 121 p. (in Russian)

Pushkarev V.F. Issledovanie metodov nabludeniy za ispareniem s pochvi [Research of methods of observation of evaporation from soil] // Trudi Gosudarstvennogo geologicheskogo Instituta, 45 (99). 1954. – S. 12-23. (in Russian)

Stroitelnie normi i pravila (SNIP) 2.01.14-98. Opredelenie raschetnih gidrologicheskikh harakteristik [Determination of the calculated hydrological characteristics] // Goskomarhitektstroy Uzbekistana. – Tashkent, 1998. – 118 s. (in Russian)

Sokolova A.A., Champen T.G. Metodi rascheta vodnogo balansa. Mejdunarodnoe rukovodstvo po issledovaniyu i praktike [Methods for calculating the water balance. International guide to research and practice]. – L.: Gidrometeoizdat, 1976. – 120 s. (in Russian)

Spravochnik po special'nim funktsiyam [Reference for special functions]. – M.: Nauka, 1979. – 827 p. (in Russian)

Cheremisinov A.A., Cheremisinov A.Yu. Obzor raschetnih metodov opredeleniya summarnogo ispareniya s oroshaemih sel'skohozyaystvennih poley [Review of calculation methods for determining the total evaporation of irrigated agricultural fields] // Nauchniy jurnal Rossiiskogo NII problem melioratsii, No. 1 (21), 2016. – S. 113-133. (in Russian)