

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБРЕЖНЫХ К ДОЛИННЫМ И ГОРНЫМ  
ВОДОХРАНИЛИЩАМ ТЕРРИТОРИЙ**

*И. Ш. Норматов<sup>1</sup>, М. Х. Ходжибоева<sup>2</sup>, Н. Шерматов<sup>3</sup>, М. Ашуров<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Профессор кафедры, Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан, e-mail: [inomnor@mail.ru](mailto:inomnor@mail.ru)

<sup>2</sup> Соискатель, Худжандский государственный университет, Худжанд, Таджикистан, e-mail: [zar.rakhimov@mail.ru](mailto:zar.rakhimov@mail.ru)

<sup>3</sup> Профессор кафедры, Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан, e-mail: [umarova52@gmail.com](mailto:umarova52@gmail.com)

<sup>4</sup> Доцент кафедры, Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан, e-mail: [m.ashurov@mail.ru](mailto:m.ashurov@mail.ru)

**Аннотация**

Представлены результаты сравнения степени влияния долинного Кайраккумского и горного Нурекского водохранилищ в Таджикистане на формирование микроклимата прибрежных территорий. Установлено, что за период 1960–2015 гг. в прибрежных территориях Кайраккумского водохранилища около в 2,5 раза увеличилось количество атмосферных осадков, а в прибрежных территориях Нурекского водохранилища чуть более 1 раза. Увеличение атмосферных осадков способствовало уменьшению процессов эвапотранспирации. Обнаружено, что радиус влияния как долинных, так и горных водохранилищ небольшой и составляет не более 10 км.

**Ключевые слова:** Кайраккумское водохранилище, Нурекское водохранилище, эвапотранспирация, температура, осадки, река Сырдарья, Амударья

**COMPARATIVE ANALYSIS OF METEOROLOGICAL CHARACTERISTICS OF COASTAL TO VALLEY AND MOUNTAIN RESERVOIRS TERRITORIES**

*I. Sh. Normatov, M. Kh. Khodzhiboeva, N. Shermatov, M. Ashurov*

**Abstract**

The results of comparing the degree of influence of the valley Kairakkum and mountain Nurek reservoirs in Tajikistan on the formation of the microclimate of coastal areas are presented. It has been established that for the period 1960–2015 years in the coastal area of the Kairakkum reservoir the amount of atmospheric precipitation increased about 2.5 times and in the coastal area of the Nurek reservoir a little more than 1.5 times. The precipitation increase contributed to a decrease of evapotranspiration processes. The radius of influence of valley and mountain reservoirs is small and does not exceed 10 km.

**Keywords:** Kairakkum reservoir, Nurek reservoir, evapotranspiration, temperature, precipitation, Syrdarya, Amudarya

**Введение.** Кайраккумское водохранилище ( $40^{\circ}16'00''$  с. ш.,  $69^{\circ}50'00''$  в. д.) расположено в центральной части водосборного бассейна трансграничной реки Сырдарья в 20 км от г. Худжанда центра Сугдской области Республики Таджикистан.

Водоохранилище используется для сезонного регулирования стока реки с целью обеспечения воды для орошения, а также для производства электроэнергии. Наполнение водохранилища началось в 1956 г. и окончательно введено в эксплуатацию в 1959 г. Кайраккумское водохранилище характеризуется длиной 55 км, шириной 20 км, максимальной глубиной 25 м и общим объемом воды  $4,2 \text{ км}^3$  с площадью зеркала  $513 \text{ км}^2$ . Кайраккумское водохранилище замерзает зимой, а в летнее время температура воздуха у побережья составляет  $30\text{--}35^{\circ}\text{C}$ .

Нурекское водохранилище – искусственное водохранилище, созданное на реке Вахш (притока трансграничной реки Амударьи в Центральной Азии). Строительство Нурекской плотины было начато в 1961 году и в 1979 году уже был достигнут уровень воды 890 м, а отметка НПУ (нормальный подпорный уровень), равная 910 м, была достигнута в сентябре 1983 года. Площадь водной глади Нурекского водохранилища достигает  $98 \text{ км}^2$ , объем воды  $10,5 \text{ км}^3$  (полезный объем –  $4,5 \text{ км}^3$ ), средняя глубина водоема составляет 107 м. Уровень водохранилища колеблется в пределах 53 м.

В Республике Таджикистан из 527 (430 технически возможных) Млрд. кВт·ч общих потенциальных гидроэнергетических ресурсов в настоящее время используется чуть более 5%. Следовательно, можно ожидать, что в ближайшей перспективе будет возведен не один десяток средних и крупных гидроэлектростанций с водохранилищами. Это значит, что при планировании перспективы развития сельскохозяйственных районов, прибрежных к водохранилищам, необходимо учитывать фактор влияния водных резервуаров в трансформации метеорологических условий местности и внесение корректировок к нормам ирригации соответствующих культур.

Водоохранилища играют важную роль в сельскохозяйственном производстве, а также в социальной экономике и экологии [1]. За последние несколько десятилетий значительно выросло количество водохранилищ в мире. Площадь поверхности водохранилищ также увеличилась с  $4,11 \cdot 10^5 \text{ км}^2$  в 1984 году до  $4,48 \cdot 10^5 \text{ км}^2$  в 2015 году [2]. Увеличение площади водохранилищ привело к увеличению потерь на испарение из резервуара [3,4]. Испарение является важнейшим аспектом гидрологического цикла в засушливых и полузасушливых регионах. Это также является одним из основных факторов потери воды в водохранилищах [5]. Согласно статистике, годовые потери на испарение водохранилищ в засушливых и полузасушливых районах составляют около 40% объема водохранилища, что существенно усугубляет дефицит воды [6].

Идентифицированием пространственных градиентов атмосферных переменных, связанных с образованием осадков вокруг 92 крупных плотин Север-

ной Америки с использованием 30-летних записей данных реанализа показано, что большие плотины больше всего влияют на местный климат в Средиземноморье и полувлажном климате, чем во влажном [7].

Большие плотины с водохранилищами – это типы инфраструктуры, которые вызывают чаще всего крупномасштабное изменение землепользования и растительного покрова, открывающие возможности для орошения больших территорий пахотных земель, увеличения урбанизации низовий из-за снижения риска наводнения и увеличение доступности продуктов и электричества. Такие систематические изменения земного покрова могут привести к повышенной доступности местной влаги и нарастанию воздействия на мезомасштабную локальную циркуляцию в пределах 10–100 км [8,9]. Одним из таких локальных последствий изменения землепользования и растительного покрова может быть изменение количества осадков [10–12]. Таким образом, если плотины рассматриваются как катализатор систематического изменения землепользования и растительного покрова, то правдоподобно ожидать постепенного изменения местного климата и характера осадков в речном бассейне.

За последние десятилетия глобальный и региональный климат характеризуется усилением ливневых осадков, аномальной жарой, засухой, наводнением и заморской на фоне глобального потепления с увеличением выбросов парниковых газов [13–18]. Антропогенные факторы, такие как землепользование и возведение искусственных водохранилищ также могут напрямую влиять на местный или даже региональный климат через изменения в альбедо поверхности, обмен теплом и водяным паром между атмосферой и поверхностью, вырубку лесов, урбанизацию, ирригационные работы [19–23].

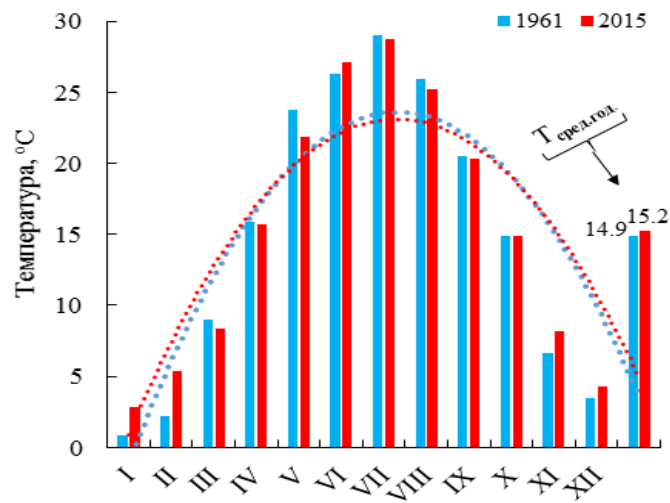
С учетом важной роли водохранилищ в реагировании на стихийные бедствия (такие как наводнения и засухи) путем регулирования стока, изучение их влияния на сток рек в условиях изменения климата важно в плане предотвращения будущих наводнений и засух [24].

Целью настоящей работы является изучение динамики метеорологических характеристик, внутригодовое распределение атмосферных осадков и температуры в районе Кайраккумского водохранилища за период начала заполнения водой (1959 г.) по 2021 г., Нурекского водохранилища с 1980 по 2021 годы и оценка влияния водохранилищ на формирование микроклимата прибрежных районов.

**Материалы и методы.** Для оценки метеорологических условий, прибрежных к Кайраккумскому и Нурекскому водохранилищам, были использованы данные метеорологических станций “Кайраккумское водохранилище” и “Яван” соответственно. Были широко использованы статистические методы обработки данных и корреляция Пирсона. Для вычисления эвапотранспирации использовалось уравнение, описанное в [25]. В определении уровня достоверности корреляционных зависимостей руководствовались методическими указаниями в [26].

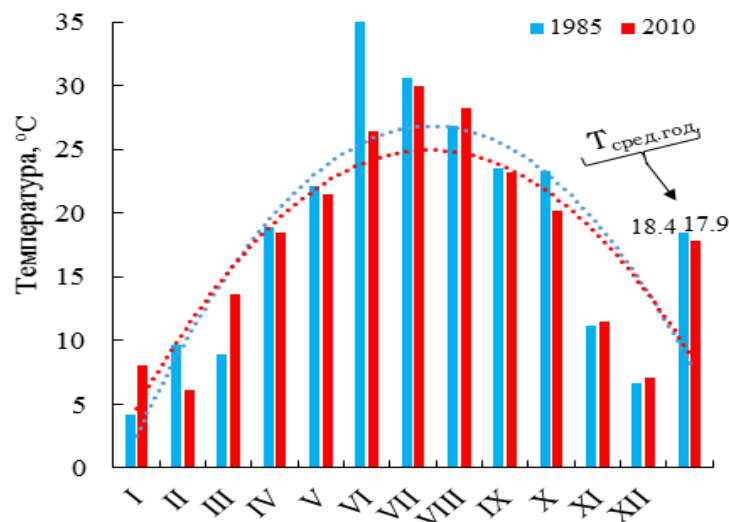
**Результаты и обсуждение.** Для оценки динамики изменения температуры и атмосферных осадков в прибрежных к Кайраккумскому водохранилищу прово-

дильсь сравнение метеорологических данных за 1961 год (начало функционирования водохранилища) и за 2015 год. На рис. 1 представлена среднегодовая температура прибрежных к Кайраккумскому водохранилищу территорий за 1961 и 2015 годы, из которой следует, что среднегодовая температура имеет тенденцию к увеличению после возведения водохранилища.

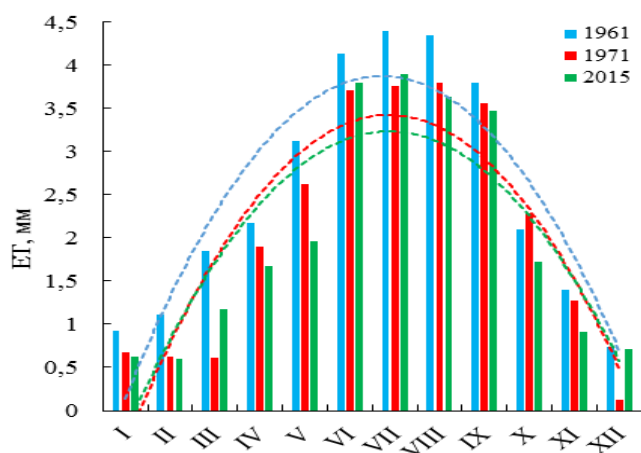


**Рисунок 1**– Среднегодовая температура прибрежных к Кайраккумскому водохранилищу за 1961 и 2015 годы

Совершенно иная картина изменения среднегодовой температуры в прибрежных к Нурекскому водохранилищу была обнаружена при сравнении данных температуры в 1985 и 2010 годы (рис. 2). Как видно из рис.2, среднегодовая температура прибрежных к водохранилищу в 2010 году ниже на 0,5°С, чем в 1985 году.



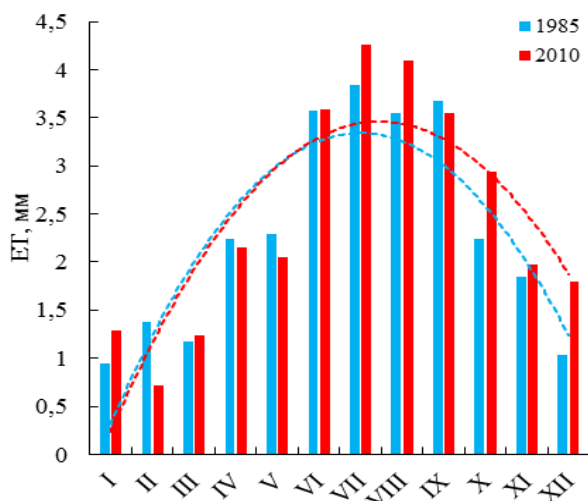
**Рисунок 2** – Среднегодовая температура прибрежных к Нурекскому водохранилищу за 1985 и 2010 годы



**Рисунок 3** – Внутригодовое распределение эвапотранспирации прибрежных к Кайракумскому водохранилищу территорий за 1961, 1971 и 2015 годы

На рис. 3 представлено изменение значений эвапотранспирации прибрежных к Кайракумскому водохранилищу территорий за 1961, 1971 и 2015 годы, что свидетельствует об уменьшающемся тренде эвапотранспирации и, следовательно, увеличивающемся количестве атмосферных осадков, так как с увеличением атмосферных осадков происходит охлаждение поверхности зеркала водохранилища и прибрежных территорий. Видно, что в 2015 году относительно 1961 года атмосферные осадки увеличились в 2,5 раза. Это можно наблюдать на рис. 4.

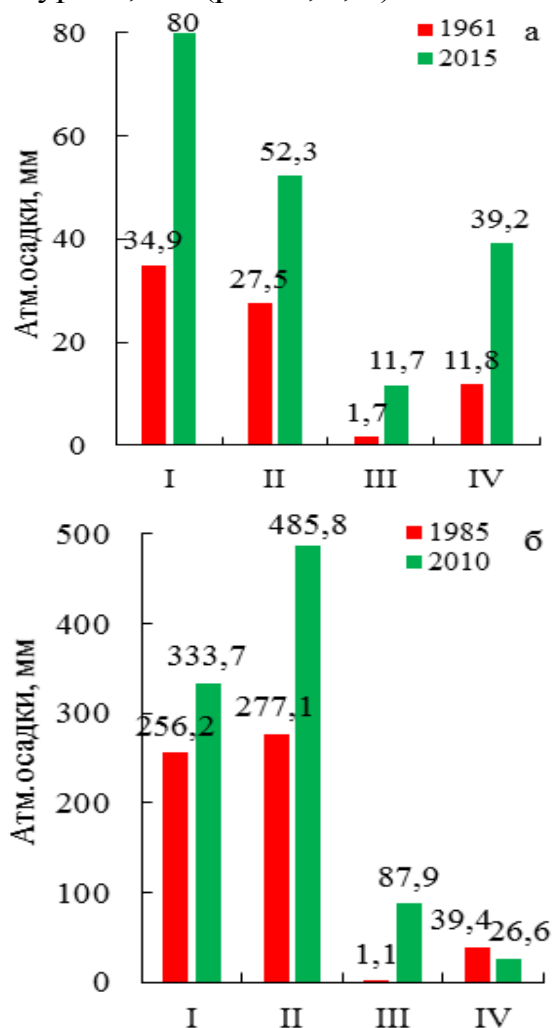
Эвапотранспирация с прибрежных к Нурекскому водохранилищу в 2015 году была выше, чем в 1985 году. Это связано с отношением количества годовых значений атмосферных осадков 2015 года к 1961 году, что составляло всего лишь чуть более 1,5, и существенным увеличением температуры в 2015 году (рис. 4).



**Рисунок 4** – Внутригодовое распределение эвапотранспирации прибрежных к Нурекскому водохранилищу территорий за 1985 и 2010 годы

Было показано, что в 2015 году относительно 1961 года атмосферные осадки в прибрежных к Кайракумскому водохранилищу территорий увеличились в

2,5 раза. На территориях прибрежных к Нурекскому водохранилищу в 2010 году атмосферные осадки по отношению к 1985 году увеличились более чем в 1,5 раза при разнице температуры 0,5°C (рис. 5, а, б).



**Рисунок 5** – Сезонное распределение атмосферных осадков в прибрежных к Кайраккумскому (а) и Нурекскому(б) водохранилищам

**Заключение.** Таким образом, полученные результаты показывают:

на прибрежных территориях как к долинному Кайраккумскому, так и горному Нурекскому водохранилищу за периоды 1960–2015 гг. и 1985–2010 гг. соответственно тренд атмосферных осадков имеет возрастающий характер;

– установлено, что эвапотранспирация с прибрежных к водохранилищам территорий, главным образом, определяется количеством атмосферных осадков;

– радиус действий как долинных, так и горных водохранилищ является ограниченным и не превышает 10 км.

#### Список цитированных источников

1.Xia, Q.Q. Identifying Reservoirs and Estimating Evaporation Losses in a Large Arid Inland Basin in Northwestern China / Q.Q. Xia, Y.N. Chen, X.Q. Zhang, J.L. Ding, G.H. Lv // Remote Sens. – 2022. – V. 14. P. 1105 –1116. <https://doi.org/10.3390/rs14051105>.

2. Zhao, G. Automatic Correction of Contaminated Images for Assessment of Reservoir Surface Area Dynamics / G. Zhao, H. GAO // *Geophys. Res. Lett.* – 2018. – V. 45. – P. 6092–6099.
3. Konapala, G. Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation / G. Konapala, A.K. Mishra, Y. Wada, M.E. Mann // *Nat. Commun.* – 2020. – V. 11. – P.1–10.
4. Zhang, H. A remote sensing method for estimating regional reservoir area and evaporative loss / H. Zhang, S.M. Gorelick, P.V. Zimba, X.D. Zhang // *J. Hydrol.* – 2017. – V. 555. – P. 213–227.
5. Bozorgi, A. Comparison of methods for estimating loss from water storage by evaporation and impacts on reservoir management / A. Bozorgi, O. Bozorg-Haddad, S. Sima, H.A. Loaiciga // *Water Environ. J.* – 2021. – V. 35. – P. 218–228.
6. Mady, B. Distribution of small seasonal reservoirs in semi-arid regions and associated evaporative losses / B. Mady, P. Lehmann, S.M. Gorelick, D. Or // *Environ. Res. Commun.* – 2020. – V.2. – 061002.
7. Degu, A. M. The influence of large dams on surrounding climate and precipitation patterns / A. M. Degu, F. Hossain, D. Niyogi, R. Pielke, J. M. Shepherd, N. Voisin, T. Chronis // *Geophys. Res. Lett.* – 2011. – V. 38. – L04405. doi:10.1029/2010GL046482.
8. Niyogi, D. Observational evidence that agricultural intensification and land use change may be reducing the Indian summer monsoon rainfall / D. Niyogi, C. M. Kishtawal, S. Tripathi, R. S. Govindaraju // *Water Resour. Res.* – 2010. – V. 46. – W03533. doi:10.1029/2008WR007082.
9. Takata, K. S. Changes in the Asian monsoon climate during 1700–1850 induced by preindustrial cultivation / K.S. Takata, T. Yasunari // *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* – 2009. – V. 106. – P. 9586–9589, doi:10.1073/pnas.0807346106.
10. Avissar, R. Three-dimensional numerical study of shallow convective clouds and precipitation induced by land surface forcing / R. Avissar, Y. Liu // *J. Geophys. Res.* – 1996. – V. 101. – P. 7499–7518. doi:10.1029/95JD03031.
11. Cotton, W. R. Human Impacts on Weather and Climate / W.R. Cotton, R. A. Pielke // Cambridge Univ. Press. Cambridge, U. K. – 2007. – 330p.
12. Pielke, R. Sr. Climate change: The need to consider human forcings besides greenhouse gases / R. Sr. Pielke, K. Beven, G.P. Brasseur // *Eos Trans. AGU.* – 2009. – V. 90(45). – P.409 – 415. doi:10.1029/2009EO450008.
13. Keeling, C.D. Climate change and carbon dioxide: An introduction / C.D. Keeling // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* – 1997. – V. 94. – P. 8273–9274. doi:10.1073/pnas.94.16.8273.
14. IPCC. Climate Change 2013 /In: *The Physical Science Basis.* T.F. Stocker (Ed). Cambridge Univ. Press. London. – 2013. – P. 1-1535.
15. Risser, M.D. Attributable human-induced changes in the likelihood and magnitude of the observed extreme precipitation during Hurricane Harvey / M.D. Risser, M.F. Wehner // *Geophys Res Lett.* – 2017. – 4456-12. <https://doi.org/10.1002/2017GL075888>.

16. Van Oldenborgh, G.J. Attribution of extreme rainfall from Hurricane Harvey / G.L. Van Oldenborgh, K. Van der Wiel, A. Sebastian, R. Singh, J. Arrighi, K.L.S. Haustein, G. Vecchi, H. Cullen // *Environ Res Lett.* – 2017. – 12:124009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa343>.
17. Williams, A.P. Large contribution from anthropogenic warming to an emerging North American mega drought / A.P. Williams, E.R. Cook, J.E. Smerdon, B.I. Cook, J.T. Abatzoglou, K. Bolles, S.H. Baek, A.M. Badger, B. Livneh // *Science.* – 2020. – V. 368. – P. 314-318. <https://doi.org/10.1126/science.aaz9600>.
18. Almazroui, M. Projected change in temperature and precipitation over Africa from CMIP6 / M. Almazroui, F. Saeed, S. Saeed, M. Nazrul Islam, M. Ismail, N.A.B. Klutse, M.H. Siddiqui // *Earth. Syst. Environ.* – 2020. – V. 4. – P. 455-475. <https://doi.org/10.1007/s41748-020-00161-x>.
19. Foley, J.A. Global consequences of land use / J.A. Foley, R. Defries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, F.S. Chapin, M.T. Coe, G.C. Daily, H.K. Gibbs, J.H. Helkowski, T. Holloway, E.A. Howard, C.J. Kucharik, C. Monfreda, J.A. Patz, I.C. Prentice, N. Ramankutty, P.K. Snyder // *Science.* – 2005. – V. 309. – P. 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>.
20. Tucker, M.A. Moving in the Anthropocene: Global reductions in terrestrial mammalian movements / M.A. Tucker, K. Böhning-Gaese, W.F. Fagan, J.M. Fryxell // *Science.* – 2018. – V. 359. – P. 466-469. <https://doi.org/10.1126/science.aam9712>.
21. Lambin, E. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity / E. Lambin, P. Meyfroidt // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* – 2011. – V. 108. – P. 3465-3472. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>.
22. Best, J. Anthropogenic stresses on the world's big rivers / J. Best // *Nature Geosci.* 2019. V. 12. P. 7–21. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0262-x>.
23. Spinoni, J. Global exposure of population and land-use to meteorological droughts under different warming levels and SSPs: a CORDEX-based study / J. Spinoni, P. Barbosa, E. Buçchignani // *Int. J. Climatol.* – 2021. – V. 41. – P. 6825-6845. <https://doi.org/10.1002/joc.7302>.
24. Men, B. The Impact of Reservoirs on Runoff Under Climate Change: A Case of Nierji Reservoir in China / B. Men, H. Liu, W. Tian, Z. Wu, J. Hui // *Water.* – 2019. – V. 11. – P. 1005–1026. doi:10.3390/w11051005 [www.mdpi.com/journal/water](http://www.mdpi.com/journal/water).
25. Droogers, P. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions / P. Droogers, R.G. Allen // *Irrigation and Drainage Systems.* –2002. – V. 16. – P. 33–45.
26. Малинин В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Учебник // В. Н. Малинин. – СПб : РГГМУ. – 2008. – 408 с.