DOI https://doi.org/10.30525/978-9934-26-258-6-14

RETROSPECTIVE ANALYSIS AND FORECAST OF THE MAIN ABIOTIC FACTORS OF THE ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF ICHTYOFAUNA OF THE DNIPRO-BUH ESTUARY ECOSYSTEM

Kutishchev P. S., Korzhov Ye. I., Honcharova O. V.

INTRODUCTION

Modern data of the main abiotic factors of functioning of the Dnipro-Buh estuarial ecosystem are presented. The abiotic parameters for long-term periods are compared: before the regulation of the lower reaches of the Dnipro River (1877-1970), after the regulation (1948-1970), the period of the run-off formation (1986-2013) and the indicators of the modern period (2010-2020). The forecast of the main ecologically significant factors of the environment in the research region is made. The obtained results can be used in the formation of the long-term forecasts of the leading abiotic parameters, the state of the ichthyofauna environment, the indicators of biological productivity, fish productivity and determination of the rate of production and destruction processes and eutrophication.

1. The problem's prerequisites emergence and the problem's formulation

Ecologically significant abiotic components of the Dnipro-Buh estuary system along with the progressive reduction of the river run-off, ecologically unjustified mode of operation of reservoirs of the Dnipro cascade, water abstraction for industrial and domestic needs, fields irrigation, increase in irreversible water loss due to vaporization of the reservoirs surfaces, transpiration, climate change, water upsurge and down surge from the Black Sea negatively affect the ecological condition of the

aquatories and the condition of existence of ichthyofauna[1,2,3,4,5,6.] The reduction of Dnipro run-off, as a result of hydraulic engineering and use of freshwater run-off for industrial and farming needs, led to significant changes in hydrological and, as a consequence, hydro chemical regimes of the Dnipro-Buh estuary, which is complicated by the increasing of total anthropogenic load[7,8.] Most of reservoirs were created for agro-industrial needs and irrigation, gaining special importance in arid areas of Ukraine, especially in the south, the most risky natural and climatic zone for agriculture. Irrigation creates many environmental problems[9]. As a result of anthropogenic changes, the ichthyofauna suffers first of all, migration

[1] Гейна К. М., Кутіщев П. С., Шерман І. М. Екологічна трансформація Дніпровсько-Бузької гирлової системи та перспективи рибогосподарської експлуатації: монографія. Херсон: Грінь Д. С., 2015. 300 с.

[2] Коржов Є. І. Антропогенний вплив на екосистему пониззя Дніпра та можливі шляхи його послаблення. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. Вип. 267. К.: Ніка-Центр, 2015. С. 102-108.

[3] Коржов Є. І., Кутіщев П. С., Гончарова О. В., Дяченко В. В. Оцінка можливих негативних екологічних наслідків скорочення об'ємів надходження прісних вод до Дніпровсько-Бузького лиману. *Водні екосистеми та збереження їх біорізноманіття:* Збірник наукових праць. Житомир: ПНУ, 2020. С. 13-15.

[4] Сучасний екологічний стан і біорізноманіття Дніпровсько-Бузької естуарної системи у зв'язку з промисловою іхтіофауною: Наукова монографія. Щербак В. І., Шерман І. М., Кутіщев П. С., Морозова А. О., Семенюк Н. Є., Луценко Д. А. Херсон: ФОП Вишемирський В.С., 2020. 200 с.

[5] Шерман І. М., Гейна К. М., Козій М. С., Кутіщев П.С., Воліченко Ю.М. Рибництво та рибальство трансформованих річкових систем півдня України: наукова монографія. Херсон: Грінь Д.С., 2017. 345 с.

[6] Korzhov Ye. Analysis of possible negative environmental and socio-economic consequences of freshwater drain reduction to the Dnieper-Bug mouth region. Perspectives of world science and education. Abstracts of the 8th International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Osaka, Japan, 2020. P. 84-90.

[7] Коржов Є. І. Антропогенний вплив на екосистему пониззя Дніпра та можливі шляхи його послаблення. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту.* Вип. 267. К.: Ніка-Центр, 2015. С. 102-108.

[8] Коржов Є. І., Кутіщев П. С., Гончарова О. В., Дяченко В. В. Оцінка можливих негативних екологічних наслідків скорочення об'ємів надходження прісних вод до Дніпровсько-Бузького лиману. *Водні екосистеми та збереження їх біорізноманіття:* Збірник наукових праць. Житомир: ПНУ, 2020. С. 13-15.

[9] Тімченко В. М., Карпова Г. О., Гуляева О. О., Коржов Є. І. та ін. Прогноз впливу можливої реконструкції Каховської ГЕС на екосистеми пониззя Дніпра та Каховського водосховища. Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту., Сер. Біол., № 3-4 (64), 2015. С. 665–668

routes of fish and coastal ecosystems change, biodiversity decreases, the rate of eutrophication increases, and the pathways for the invasion of alien species open up[10, 11, 12, 13, 14.]

In the processes of transformation of natural river run-off, negative changes took place, which significantly worsened the living conditions of ichthyofauna of the Dnipro-Buh estuary ecosystem. Process of construction and formation of the run-off took place until the end of 70s. The results of the long-term construction of the cascade of reservoirs led to significant water consumption in the lower reaches on the Dnipro, which continue to this day[15, 16, 17,18, 19]. In the study, we used data on the

[10] Білик Г. В., Коржов Є. І. Огляд основних аспектів впливу кліматичних змін на сучасний стан іхтіофауни Дніпровсько-Бузької гирлової області. *Наукові читання, присвячені Дню науки.* Екологічні дослідження Дніпровсько-Бузького регіону. Вип. 12. Збірник наукових праць. Херсон, 2019. С. 3-10.

[11] Кутіщев П. С., Вітюков Ю. Є. Особливості розвитку Cercopagis pengoi в Дніпровсько-Бузькому лимані і зв'язок з промисловим рибальством. *Таврійський науковий вісник.* Херсон: Айлант. 2007. Вип.54. С. 164-170.

[12] Кутіщев П. С. Нові види безхребетних вселенців Дніпровсько-Бузької естуарної системи. Науково-практична конференція, 13-14 березня 2018 р. Кліматичні зміни та сільське господарство. Київ: 2018. С. 329 – 333.

[13] Кутіщев П. С. Нові види безхребетних вселенців Дніпровсько-Бузької естуарної системи. Науково-практична конференція, 13-14 березня 2018 р. Кліматичні зміни та сільське господарство. Київ: 2018. С. 329 – 333.

[14] Shevchenko I. V., Korzhov Ye. I., Kutishchev P. S., Honcharova O. V., Shevchenko V. Yu. Effect of Abiotic Factors upon Morphological Variability of Fleuria lacustris Larvae *(Diptera, Chironomidae). Hydrobiological Journal* – Begell House (United States). Vol. 56, Issue 5, 2020. P. 15-22.

[15] Гейна К. М., Кутіщев П. С., Шерман І. М. Екологічна трансформація Дніпровсько-Бузької гирлової системи та перспективи рибогосподарської експлуатації: Монографія. Херсон: Грінь Д. С., 2015. 300 с.

[16] Шерман І. М., Гейна К. М., Козій М. С., Кутіщев П.С., Воліченко Ю.М. Рибництво та рибальство трансформованих річкових систем півдня України: Наукова монографія. Херсон: Грінь Д.С., 2017. 345 с.

[17] Korzhov Ye. Analysis of possible negative environmental and socio-economic consequences of freshwater drain reduction to the Dnieper-Bug mouth region. Perspectives of world science and education. Abstracts of the 8th International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Osaka, Japan, 2020. P. 84-90.

[18] Averchev O. V., Bidnyna I. O., Bondar O. I., Boyarkina L. V. etc. Ecohydrological investigation of plain river section in the area of small hydroelectric power station influence. Collective monograph: Current state, challenges and prospects for research in natural sciences. Lviv-Toruń: Liha-Pres, 2019. P. 135-154.

[19] Korzhov Ye. I., Kucheriava A. M. Peculiarities of External Water Exchange Impact on Hydrochemical Regime of the Floodland Water Bodies of the Lower

main abiotic factors of the aquatic environment of the research region for a long-term period (1825-2020)[20, 21, 22, 23, 24, 25.] Methods of ecological and hydrological researches were used, the basic factors of hydrological conditions are studied in detail, and the climatic characteristic of the region is carried out. The forecasting methods via *Microsoft Excel – 2019* software using the *Statistica 10* statistical analysis were being used.

2. Research results and discussion

The flow of the Dnipro is more than 94% of the total inflow of the river waters and hydrophysical processes, both in the coastal section of the river and in the Dnipro and Buh estuaries, depend on its value, in most cases. The annual volume of the run-off of the Southern Buh is insignificant and does not exceed 2.0 km^3 in the modern period[26, 27.] The long-term fluctuations of the Dnipro run-off depend on the climatic aspects of the year, which is due to the amount of precipitation in the catchment area of the river system. High-water years alternate with average-water and low-water years, and this significantly limits the possibility of forecasting for

Dnieper Section / Hydrobiological Journal – Begell House (United States). Vol. 54, Issue 6, 2018. P. 104-113.

[20] Абакумов В. А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 240 с.

[21] Кліматичні дані по станціям і постам України. URL: http://www.pogodaiklimat.ru

[22] Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ.: Видавництво Раєвського, 2003. 346 с.

[23] Абакумов В. А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 240 с.

[24] Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В. Д. Романенка. К.: ЛОГОС, 2006. 408 с.

[25] Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях. М.: Гидрометеоиздат, 1973. 536 с.

[26] Korzhov Ye. Analysis of possible negative environmental and socio-economic consequences of freshwater drain reduction to the Dnieper-Bug mouth region. Perspectives of world science and education. Abstracts of the 8th International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Osaka, Japan, 2020. P. 84-90.

[27] Averchev O. V., Bidnyna I. O., Bondar O. I., Boyarkina L. V. etc. Ecohydrological investigation of plain river section in the area of small hydroelectric power station influence. Collective monograph: Current state, challenges and prospects for research in natural sciences. Lviv-Toruń: Liha-Pres, 2019. P. 135-154.

a long period by standard methods[28]. After the construction of the Dnipro HPP, the natural run-off of the Dnipro decreased by 11.5%, and before the beginning of mass hydraulic engineering during 1933-1955, it averaged by 49.5 km^3 per year. After the construction of Kakhovka and other hydroelectric power plants, there was a further reduction in the run-off. During 1956-1964, it averaged 42.7 km^3 per year, which approximately 24% lower than before the beginning of the hydraulic engineering[29], [30]. The reduction of total run-off is related to the removal of significant amounts of fresh water for the needs of industrial, domestic and agricultural complexes. As a result, there was tendency in reduction of the run-off, which directly or indirectly affected the hydrological and hydrochemical regime, and this reflected on deterioration of the aquatic organisms' habitat quality. It is important to emphasize that such tendencies are typical also for today[31, 32, 33, 34]. The Dnipro-Buh estuarine ecosystem includes the lower reaches of the Dnipro, the Southern Buh and the Dnipro-Buh estuary, and is the one whole water area bounded in the riverside by the Kakhovka and Oleksandrivka HPP dams and the Black

[28] Сучасний екологічний стан і біорізноманіття Дніпровсько-Бузької естуарної системи у зв'язку з промисловою іхтіофауною: Наукова монографія. Щербак В. І., Шерман І. М., Кутіщев П. С., Морозова А. О., Семенюк Н. Є., Луценко Д. А. Херсон: ФОП Вишемирський В.С., 2020. 200 с.

[29] Гейна К. М., Кутіщев П. С., Шерман І. М. Екологічна трансформація Дніпровсько-Бузької гирлової системи та перспективи рибогосподарської експлуатації: Монографія. Херсон: Грінь Д. С., 2015. 300 с.

[30] Коржов Е. И. Некоторые экологически значимые аспекты водного режима Нижнего Днепра. Наукові читання присвячені Дню науки. Вип.3: Зб. наук. пр. Херсон, Вид-во: ПП Вишемирський В.С., 2010. С. 4-9.

[31] Коржов Є. І. Антропогенний вплив на екосистему пониззя Дніпра та можливі шляхи його послаблення. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. Вип. 267. К.: Ніка-Центр, 2015. С. 102-108.

[32] Коржов Є. І., Кутіщев П. С., Гончарова О. В., Дяченко В. В. Оцінка можливих негативних екологічних наслідків скорочення об'ємів надходження прісних вод до Дніпровсько-Бузького лиману. Водні екосистеми та збереження їх біорізноманіття: Збірник наукових праць. Житомир: ПНУ, 2020. С. 13-15.

[33] Шерман І. М., Гейна К. М., Козій М. С., Кутіщев П.С., Воліченко Ю.М. Рибництво та рибальство трансформованих річкових систем півдня України: наукова монографія. Херсон: Грінь Д.С., 2017. 345 с.

[34] Korzhov Ye. I., Kucheriava A. M. Peculiarities of External Water Exchange Impact on Hydrochemical Regime of the Floodland Water Bodies of the Lower Dnieper Section. Hydrobiological Journal – Begell House (United States). Vol. 54, Issue 6, 2018. P. 104-113.

Sea near the Kinburn Spit. The total water surface area within these boundaries is about 1,100 km^2 [35]. The Buh estuary is an integral, the most productive and the most polluted part of the Dnipro -Buh estuarine ecosystem and has a significant impact on the overall condition of the adjoining systems[36, 37, 38, 39].

Modern climate change, which is characterized by the global warming, is the subject of research by many scientists both around the world and in Ukraine particularly[40, 41, 42, 43, 44, 45]. The climate of the Black Sea region is relatively continental with mild winters, long hot and dry summers. It is formed under the action of cold continental air masses of Scandinavia and

---

[35] Коржов Є. І. Науково-практичні рекомендації щодо покращення стану водних екосистем гирлової ділянки Дніпра шляхом регулювання їх зовнішнього водообміну. Херсон, 2018. 52 с.

[36] Безсонов Є. М., Андрєєв В. І. Забезпечення екологічної безпеки Південного Бугу в контексті сталого розвитку м. Миколаїв. Наукові праці: науково-методичний журнал. Вип. 276. Т. 288. Екологія. Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2016. 128 с.

[37] Днепровско-Бугская эстуарная экосистема. Жукинский В. Н., Журавлева Л. А., Иванов А. И. и др.; Отв. ред. Зайцев Ю. П.; АН УССР. Ин-т гидробиологии. Киев: Наукова думка, 1989. 240 с.

[38] Костяницын М. Н. Гидрология устьевой области Днепра и Южного Буга. М.: Гидрометеоиздат, 1964. 336 с.

[39] Коржов Є. І., Кучерява А. М. Вплив інтенсивності водообмінних процесів на окремі елементи гідрохімічного режиму водойм пониззя Дніпра. Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем: збірник матеріалів IV науково-практичної конференції для молодих вчених, присвяченої 100-річчу Національної академії наук України. Київ, 2017. С. 35-37.

[40] Коржов Е. И. Влияние климатических изменений на территории Украины на термический и ледовый режимы устьевого участка Днепра. Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность: сборник трудов VII международной научной конференции молодых ученых и талантливых студентов ФГБУН ИВПРАН; 11-13 декабря 2013 г. М: ИВП РАН, 2013. С. 51-54.

[41] Коржов Е. И. Некоторые экологически значимые аспекты водного режима Нижнего Днепра. Наукові читання присвячені Дню науки. Вип.3: Зб. наук. пр. Херсон, Вид-во: ПП Вишемирський В.С., 2010. С. 4-9.

[42] Barkov V. O. On the weather. Zerno – Grain. 2007. P. 118-121.

[43] Drizhiruk V. V. Global climate warming and global agriculture. Agrovisnyk. 2008. P. 37-39.

[44] Kulbida N. I. Estimation of gross winter wheat harvest fluctuations in Ukraine under different scenarios of climate change. Grain Industry-2004. Kiev: IA «APK-Inform», 2004. P. 25-29.

[45] Voloshchuk V. M., Boichenko S. G., Stepanenko S. M., Bortnyk S. Yu. Shyshscenko P. G. Global warming and climate of Ukraine: regional environmental and socio-economic aspects. Kyiv, 2002. 117 p.

Asia, as well as warm subtropical air masses of Mediterranean and Atlantic Ocean. The annual amount of precipitation varies in the range of 350-470 mm with a change in absolute values in the range of 140-650 mm. Daily maximum of precipitation often reaches 30-40 mm, and in some cases precipitation up to 120 mm per day were recorded. Also, the studied area is characterized by long rainless periods of 50-60 days[46]. The average long-term annual precipitation amount of the lowlands is 395 mm, yet in recent decades their amount has increased and exceeded the norm by 50 mm. The largest number of days with precipitation accrues to the period from November to February (12-14 days), the smallest – to August – September (6-7 days)[47].

The thermal regime of the territory is characterized by mild winters (the average temperatures of winter months are –1°…–3°C) and hot summers (the average temperatures are +22°…+23°, the maximum is more than 40°C). Absolute values of air temperatures within the region range from –24° to +43°. The average annual temperature in the last 5 years ranges from 11.4°-11.7° and has a steady tendency to increase[48]. Modern climatic conditions, which are characterized by general warming along with anthropogenic impact in the transformed water areas, are of accelerated nature. Changes in the environment affect the functioning of the ecosystem and the development of human economic activity, therefore, the analysis of the climatic conditions, and the study of the anthropogenic impact on the environment, as an impact on the development of the fishing industry, is essential[49, 50]. In this regard, it is important to determine changes in climatic conditions over a long-term

[46] Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ: Видавництво Раєвського, 2003. 346 с.

[47] Коржов Є. І., Гільман В. Л. Еколого-гідрологічна характеристика Кардашинського лиману. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. К.: Обрії. 2015. Том 2(37). С. 100-108.

[48] Коржов Е. И. Влияние климатических изменений на территории Украины на термический и ледовый режимы устьевого участка Днепра. Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность: сборник трудов VII международной научной конференции молодых ученых и талантливых студентов ФГБУН ИВПРАН; 11-13 декабря 2013 г. М: ИВП РАН, 2013. С. 51-54

[49] Дещеревская О. А., Авилов В. К., Ба Зуй Динь и др. Геофизические процессы и биосфера, 2013. 12, № 2. С. 5.

[50] Korzhov Ye. I. Kutishchev P. S., Honcharova O. V. Influence of water balance elements change on the salinity regime of the Dnieper-Bug estuary. Innovative development of science and education. *Abstracts of the 3rd International scientific and practical conference.* ISGT Publishing House. Athens, Greece, 2020. P. 225-231.

period, indicate the degree of their expression, and the impact on the water area of the Dnipro-Buh estuary ecosystem. The retrospective analysis conducted over the years clearly reflects the tendency to increase the average annual air temperature, which in 2019 was at the point of 12.2°, and in 2020 – 12,5°C. We analyzed a number of average annual air temperatures, covering 130 years (Fig. 1).

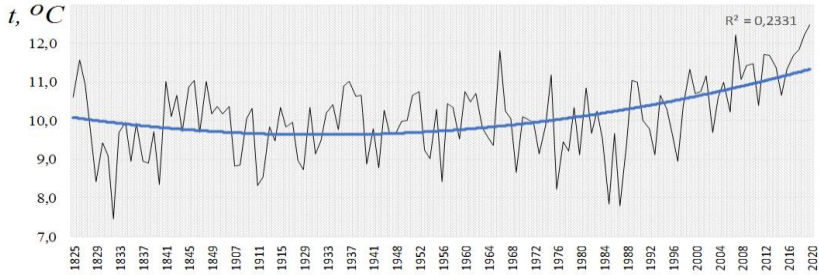

Fig. 1. The long-term dynamics of average annual air temperature (*t*)[51, 52, 53]

The average annual air temperature until the 1940s did not exceed the point of 9.8°, maintaining this rate until 1980. By 2000, it had risen by only 9.9°. Yet a surge rise in average annual temperature has been observed namely in recent decades. Thus, in 2000-2010, the temperature had risen rapidly by almost 1°C, amounting to 11.0°, and as of 2020, the average annual rate increased by 1.35° to an average 11.3°.

Abnormally warm years at the beginning of the XXI century, according to this indicator, were 2007 with an annual air temperature of 12.2°, 2019 – 12.2° and 2020 – 12.5°C. The indicators above the mark of 11.0°C significantly affected the overall increase of temperature, almost over a 200-year period, making the indicator of general global warming in Kherson region by 1.45°. The statistical analysis of frequency series

[51] Кліматичні дані по станціям і постам України. URL: http://www.pogodaiklimat.ru

[52] Кліматичні дані по станціям України. URL: https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate_stations

[53] Регіональна доповідь про стан навколишнього середовища Херсонської області у 2001–2014 рр. URL: http://www.ecology.ks.ua/index.php?module=page&id=11

reflects the modal groups of the average annual air temperature, the most distinctive of which are temperatures in the range of 10-11° (Fig. 2).

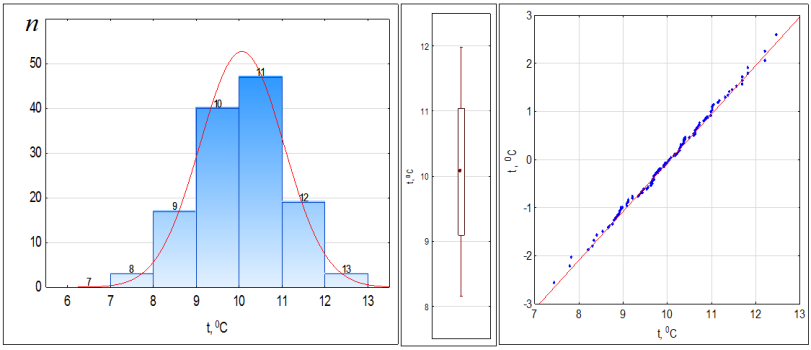

Fig. 2. Histogram of absolute frequencies and integral curve of average annual air temperatures within the Dnipro-Buh estuarine ecosystem (1825-2020). On the diagram: *n* – number of cases. Distribution parameters: average – 10.1; Standard error – 0.1; Standard deviation – 0.97; Minimum – 7.5; Maximum – 12.5; Variation level – 9.7.

In the Table 1, the results of the calculation of the determination coefficient (R^2) of the absolute values of air temperatures in the study region for many years period are presented. The results show an increase in average and maximum air temperatures that is closely related to the general increase in the climate.

Table 1

The value of the determination coefficient *(R^2)* of the absolute values of thermal indicators in Kherson region (1825-2020)

Period	Minimum air temperature *(R^2)*	Reliability of correlation at P = 95 99,9%,	Maximum air temperature *(R^2)*	Reliability of correlation at P = 99,9%,
1825-1940	0,042	0,85	0,204	0,99
1941-1980	0,065	0,86	0,171	0,86
1981-2000	0,125	0,82	0,125	0,99
2001-2020	0,013	0,87	0,181	0,99

These data show that global warming is more closely associated with an increase in the absolute values of maximum temperatures in the region than with changes of the background of the absolute minimum temperatures.

The annual precipitation amounts are characterized by significant variability and intensity during the year, while on average in Kherson region there is a slight tendency to its increase (Fig. 3).

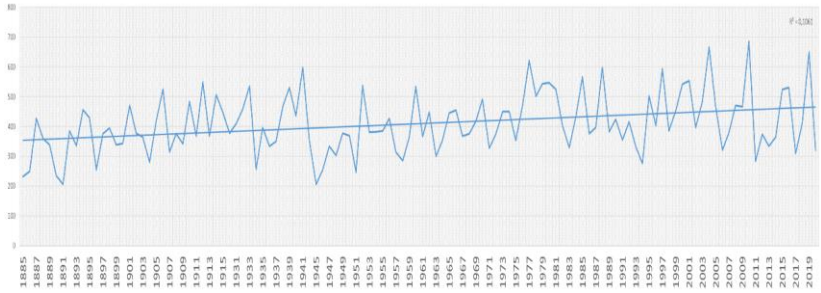

Fig. 3. The dynamics of the annual precipitation sums on the territory of the Dnipro-Buh estuarine ecosystem over a long period, mm[54, 55, 56, 57]

The annual sum of precipitation has not increased significantly compared to previous years. The average annual indicator for the long-term studied period was 409.3 mm (1825-2020). The analysis of data by periods is more illustrative, which clearly shows a weak tendency to increase precipitation in the region. Thus, for the period 1885-1950, the average amount of precipitation was 378 mm/year, in the period 1971-1990 it has reached maximum values – 453.6 mm, and during 1990-2020

[54] Бабиченко В. Н. Климатические условия. Ресурсы поверхностных вод. 1971. № 6. Вып. 2. С. 54-77.

[55] Безсонов Є. М., Андрєєв В. І. Забезпечення екологічної безпеки Південного Бугу в контексті сталого розвитку м. Миколаїв. Наукові праці: науково-методичний журнал. Вип. 276. Т. 288. Екологія. Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2016. 128 с.

[56] Гребінь В. В. Сучасні зміни окремих характеристик дощових паводків на річках України. Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія. Наук. збірник. Відп. редактор В. К. Хільчевський. К.: Обрії, 2010. Т.2. С. 74–86.

[57] Кліматичні дані по станціям України. URL: https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate_stations

it was 441.8 mm. The statistical analysis of frequency series revealed fluctuations in precipitation from 206 to 685 mm with an average value for many years at the level of 409.3 mm (Fig. 4).

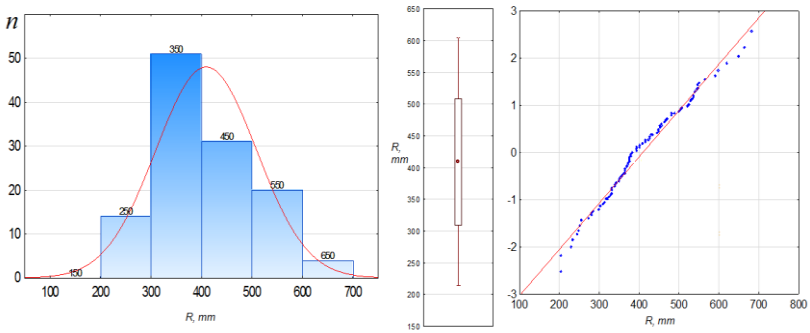

Fig. 4. Histogram of absolute frequencies and integral curve of annual precipitation sums (*R*) within the Dnipro-Buh estuarine ecosystem (1885-2020). On the diagram: *n* – number of cases. Distribution parameters: average – 409.3; Standard error – 9.1; Standard deviation – 88.4; Minimum – 206; Maximum – 685; Variation level – 24.3

Thus, according to the long-term data, the highest amount of precipitation accrues on July, the lowest – in February-March. A distinctive feature is the almost directly proportional increase in maximum fluctuations and peak precipitation points during the year from 92.0 to 166.0 mm, except for October and November (96-134 mm). The water content of the Dnipro, as noted earlier, is one of the main water balance characteristics of fresh water run-off of the Dnipro-Buh estuary

ecosystem, which is confirmed by a number of our works[58, 59, 60, 61,62, 63]. Studies of the modern period show a tendency to reduce the run-off of the Dnipro, which is directly related to the transition of the river to the low-water phase of the water content in the centuries-long cycle, which began in the 40s of the last century, as well as the climatic changes on the territory of Ukraine, which took place in the early 80s of the XIX century and continue to this day[64, 65]. The dynamics of the long-term run-off of the Dnipro at its mouth area is presented in Fig. 5.

[58] Коржов Є. І. Антропогенний вплив на екосистему пониззя Дніпра та можливі шляхи його послаблення. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. Вип. 267. К.: Ніка-Центр, 2015. С. 102-108.

[59] Коржов Є. І., Гончарова О. В. Формування режиму солоності вод Дніпровсько-Бузької гирлової області під впливом кліматичних змін у сучасний період. *Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions: Collective monograph.* Riga: Izdevniecība «Baltija Publishing», 2020. P. 315-330.

[60] Коржов Є. І., Кутіщев П. С., Гончарова О. В., Дяченко В. В. Оцінка можливих негативних екологічних наслідків скорочення об'ємів надходження прісних вод до Дніпровсько-Бузького лиману. Водні екосистеми та збереження їх біорізноманіття: Збірник наукових праць. Житомир: ПНУ, 2020. С. 13-15.

[61] Коржов Е. И. Некоторые экологически значимые аспекты водного режима Нижнего Днепра. *Наукові читання присвячені Дню науки.* Вип.3: Зб. наук. пр. Херсон, Вид-во: ПП Вишемирський В.С., 2010. С. 4-9.

[62] Korzhov Ye. Analysis of possible negative environmental and socio-economic consequences of freshwater drain reduction to the Dnieper-Bug mouth region. Perspectives of world science and education. *Abstracts of the 8th International scientific and practical conference.* CPN Publishing Group. Osaka, Japan, 2020. P. 84-90.

[63] Korzhov Ye. I. Kutishchev P. S., Honcharova O. V. Influence of water balance elements change on the salinity regime of the Dnieper-Bug estuary. Innovative development of science and education. *Abstracts of the 3rd International scientific and practical conference*. ISGT Publishing House. Athens, Greece, 2020. P. 225-231.

[64] Коржов Е. И. Некоторые экологически значимые аспекты водного режима Нижнего Днепра. Наукові читання присвячені Дню науки. Вип.3: Зб. наук. пр. Херсон, Вид-во: ПП Вишемирський В.С., 2010. С. 4-9.

[65] Korzhov Ye. I. Kutishchev P. S., Honcharova O. V. Influence of water balance elements change on the salinity regime of the Dnieper-Bug estuary. Innovative development of science and education. *Abstracts of the 3rd International scientific and practical conference*. ISGT Publishing House. Athens, Greece, 2020. P. 225-231.

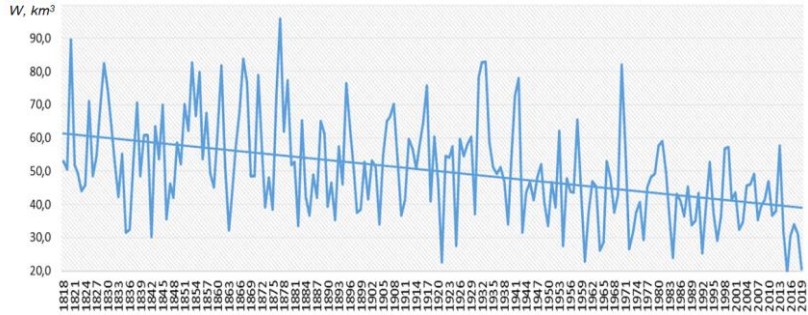

Fig. 5. The long-term distribution of annual flow volume (*W, km³*) at the mouth of the Dnipro[66, 67]

The high-water and low-water phases with different durations change sequentially there. The trend line is expressed by the equation:

$$W = -0.1014\,T + 245.12$$

and points to a gradual reduction of the Dnipro run-off over the years (*T*) on its mouth area[68, 69].

According to histogram of the absolute frequencies constructed by us for a long period (Fig. 6), the highest frequency of occurrence is in the volume of the run-off in the diapason of 40-50 and 50-60 km^3/year.

It should be noted that due to the presence of different periods of regulation of the Dnipro run-off by the cascade of HPPs, the only features that will be considered for certain periods related to hydraulic engineering are characteristic for assessing the dynamics of this indicator. Local researchers distinguish three such periods[70]:

---

[66] Коржов Е. И. Некоторые экологически значимые аспекты водного режима Нижнего Днепра. *Наукові читання присвячені Дню науки.* Вип.3: Зб. наук. пр. Херсон, Вид-во: ПП Вишемирський В.С., 2010. С. 4-9.

[67] Швец Г. И. Многовековая изменчивость стока Днепра. М.: Гидрометеоиздат, 1979 г. 84 с.

[68] Гребінь В. В. Сучасні зміни окремих характеристик дощових паводків на річках України. Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія. Наук. збірник. Відп. редактор В. К. Хільчевський. К.: Обрії, 2010. Т.2. С. 74–86.

[69] Коржов Е. И. Некоторые экологически значимые аспекты водного режима Нижнего Днепра. Наукові читання присвячені Дню науки. Вип.3: Зб. наук. пр. Херсон, Вид-во: ПП Вишемирський В.С., 2010. С. 4-9.

[70] Коржов Е. И. Некоторые экологически значимые аспекты водного режима Нижнего Днепра. Наукові читання присвячені Дню науки. Вип.3: Зб. наук. пр. Херсон, Вид-во: ПП Вишемирський В.С., 2010. С. 4-9.

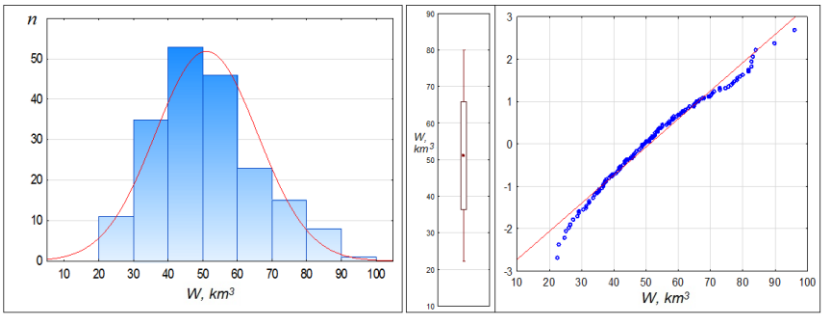

Fig. 6. Histogram of absolute frequencies and integral curve of annual volumes of the Dnipro run-off (1818-2020). On the diagram: *n* – number of cases. Distribution parameters: average – 51.1; Standard error – 1.1; Standard deviation – 14.7; Minimum – 22.6; Maximum – 95.9; Variation level – 28.9

I) The period before regulation (1818-1946);

II) The period of the run-off formation (the formation of a cascade of reservoirs) – 1947-1976:

III) The period of the run-off stabilization – from 1977 to the present.

The average long-term value of the Dnipro run-off in the period before the regulation was 55.2 km^3/year, in the period of the run-off formation – 42.9 km^3/year, and in the period of the run-off stabilization – 39.0 km^3/year[71]. During the first period, the change in the run-off volume averaged 2-3 % of the long-term norm (1.0-1.5 km^3). During the period of the run-off formation, its average value as for 2020 decreased by 16.2 km^3 [72].

Based on the existing dynamics of changes in the main abiotic factors which determine the conditions of existence of the ichthyofauna of the Dnipro-Buh estuarine ecosystem, its statistical parameters and characteristics, by mathematical modeling, using the Fourier series, we made a forecast for the period of 2020-2030 on the indicators of annual

[71] Коржов Є. І., Гончарова О. В. Формування режиму солоності вод Дніпровсько-Бузької гирлової області під впливом кліматичних змін у сучасний період. *Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions: Collective monograph.* Riga: Izdevniecība «Baltija Publishing», 2020. P. 315-330.

[72] Коржов Е. И. Некоторые экологически значимые аспекты водного режима Нижнего Днепра. *Наукові читання присвячені Дню науки.* Вип.3: Зб. наук. пр. Херсон, Вид-во: ПП Вишемирський В.С., 2010. С. 4-9.

volume of the Dnipro run-off, air temperature and annual precipitation sums (Figures 7, 8 and 9, respectively).

According to the obtained forecast data, the Dnipro run-off has a stable tendency to decrease. As a result of the analysis of time series of the Dnipro run-off volumes at its estuary area, the water content of the river is expected to decrease to the values of 28-35 km^3 per year. Forecasted values of the average annual air temperature tend to increase in the coming years from the average 11.8° in 2021 to 13.1° in 2030. However, it should be noted that such increase will be justified by a constant dynamics of global warming in the region. With cyclical climate change, the proposed dynamics can be leveled.

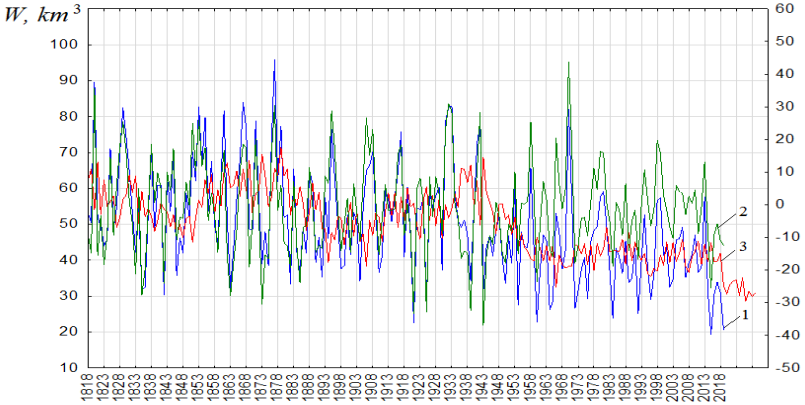

Fig. 7. The results of mathematical modeling of the dynamics of the volume of the Dnipro run-off in its estuary in 2020-2030. On the chart: 1 – actual indicators; 2 – variation (fact-forecast); 3 – forecast

The dynamics of annual precipitation sums, as opposed to the directly proportional trend to decrease in the river run-off and an increase in air temperature over the current decade, has not shown a tendency to increase or decrease. The values of precipitation sums, according to the forecast till 2030, are expected to fluctuate between 425 and 479 mm/year, without having a unidirectional tendency.

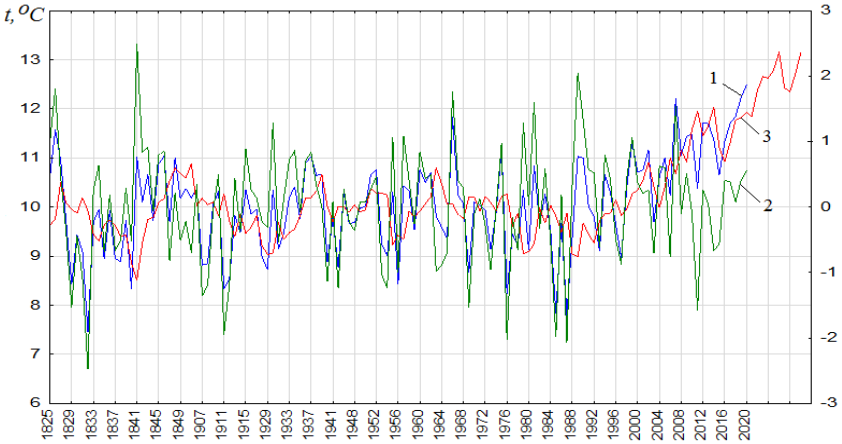

Fig. 8. The results of mathematical modeling of air temperature within the Dnipro-Buh estuarine ecosystem in 2020-2030. On the chart: 1 – actual indicators; 2 – variation (fact-forecast); 3 – forecast

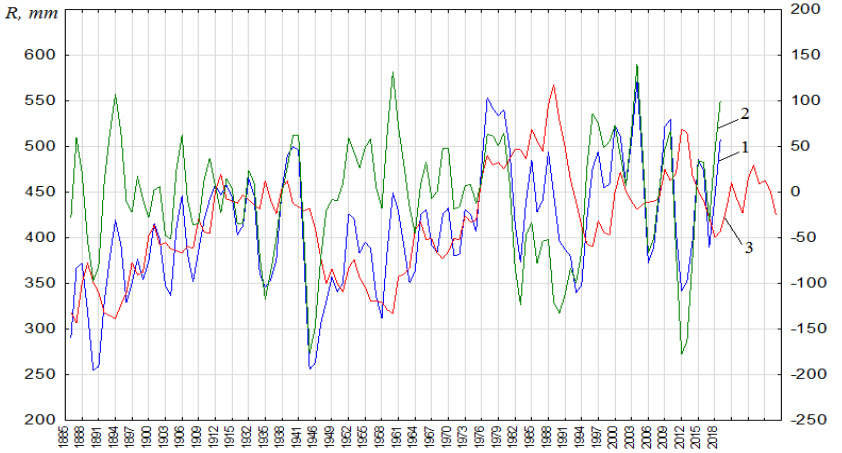

Fig. 9. The results of mathematical modeling of annual precipitation sums within the Dnipro-Buh estuarine ecosystem in 2020-2030. On the chart: 1 – actual indicators; 2 – variation (fact-forecast); 3 – forecast

CONCLUSIONS

The general warming of the climate by air temperature in Kherson region for 200-year period has increased by 1.45°. The coefficients of determination (R^2) of the climatic parameters at the level of 0.87-0.99 indicate an increase in the average maximum air temperature in close connection with the general increase in temperature. The annual precipitation sum has not increased significantly compared to previous years; the average annual indicator for the long-term period was 409.3 mm (1825-2020). There is a tendency to reduce in the freshwater run-off in the centuries-long cycle, which characterizes these changes with the transition to the centuries-long low-water phase of the Dnipro and the climate change in the territory of Ukraine.

According to the obtained forecast data, the Dnipro run-off has a stable tendency to decrease. By 2030, the water content of the river is expected to decrease to the points of 28-35 km^3/year. The forecast of average annual air temperature values, under the condition that the trend of global warming in the region with the same intensity as at the beginning of the XXI century would maintain, showed an increase in its value to the level of 13.1° by 2030. The values of precipitation sums are expected to fluctuate between 425 and 479 mm/year by 2030, without having a unidirectional tendency.

SUMMARY

The general warming of the climate in Kherson region was defined at the point of 1.45°C. The annual amount of precipitation for the long-term period was at the level of 409.3 mm (1825-2020). A tendency to reduce the river run-off in the centuries-long cycle, which characterizes these changes with the transition to the low-water phase of the Dnipro, was defined. The average diapason of the river run-off ranged from 40 to 60 km^3/year in the main modal groups. The modeling of the forecast by time series of the run-off volumes of the lower Dnipro has a steady tendency to reduce the river run-off to values of 28-35 km^3/year. The forecast air temperatures tend to increase during the coming years from an average annual 11.8°C in 2021 to 13.1°C in 2030, yet such an increase will be justified by the constant dynamics of temperatures. In cyclical climate change, the proposed dynamics can be leveled for all predicted values. The annual precipitation amounts do not tend to increase or decrease. The level of precipitation volume, at the forecast by 2030, will fluctuate between 425-479 mm without having a unidirectional character.

Bibliography

1. Абакумов В. А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 240 с.

2. Безсонов Є. М., Андрєєв В. І. Забезпечення екологічної безпеки Південного Бугу в контексті сталого розвитку м. Миколаїв. *Наукові праці:* науково-методичний журнал. Вип. 276. Т. 288. Екологія. Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2016. 128 с.

3. Білик Г. В., Коржов Є. І. Огляд основних аспектів впливу кліматичних змін на сучасний стан іхтіофауни Дніпровсько-Бузької гирлової області. *Наукові читання,* присвячені Дню науки. Екологічні дослідження Дніпровсько-Бузького регіону. Вип. 12. Збірник наукових праць. Херсон, 2019. С. 3-10.

4. Гейна К. М., Кутіщев П. С., Шерман І. М. Екологічна трансформація Дніпровсько-Бузької гирлової системи та перспективи рибогосподарської експлуатації: монографія. Херсон: Грінь Д. С., 2015. 300 с.

5. Гребінь В. В. Сучасні зміни окремих характеристик дощових паводків на річках України. Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія. Наук. збірник. Відп. редактор В. К. Хільчевський. К.: Обрії, 2010. Т.2. С. 74-86.

6. Дещеревская О. А., Авилов В. К., Ба Зуй Динь и др. Геофизические процессы и биосфера, 2013. 12, № 2. С. 5.

7. Днепровско-Бугская эстуарная экосистема. Жукинский В. Н., Журавлева Л. А., Иванов А. И. и др.; Отв. ред. Зайцев Ю. П.; АН УССР. Ин-т гидробиологии. Киев: Наукова думка, 1989. 240 с.

8. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ.: Видавництво Раєвського, 2003. 346 с.

9. Коржов Є. І. Антропогенний вплив на екосистему пониззя Дніпра та можливі шляхи його послаблення. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту.* Вип. 267. К.: Ніка-Центр, 2015. С. 102-108.

10. Коржов Є. І., Гільман В. Л. Еколого-гідрологічна характеристика Кардашинського лиману. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. К.: Обрії. 2015. Том 2(37). С. 100-108.

11. Коржов Є. І., Гончарова О. В. Формування режиму солоності вод Дніпровсько-Бузької гирлової області під впливом кліматичних змін у сучасний період. Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions: *Collective monograph.* Riga: Izdevniecība «Baltija Publishing», 2020. P. 315-330.

12. Коржов Є. І., Жежеря В. А., Дубняк С. С. До питання змін кисневого режиму водних мас руслової мережі пониззя Дніпра під час згінно-нагінних явищ. *Наукові читання, присвячені Дню науки.* Екологічні дослідження Дніпровсько-Бузького регіону. Вип. 11. Збірник наукових праць. Херсон, 2018. С. 7-12.

13. Коржов Є. І., Кутіщев П. С., Гончарова О. В., Дяченко В. В. Оцінка можливих негативних екологічних наслідків скорочення об'ємів надходження прісних вод до Дніпровсько-Бузького лиману. Водні екосистеми та збереження їх біорізноманіття**:** Збірник наукових праць. Житомир: ПНУ, 2020. С. 13-15.

14. Коржов Є. І., Кучерява А. М. Вплив інтенсивності водообмінних процесів на окремі елементи гідрохімічного режиму водойм пониззя Дніпра. Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем: *збірник матеріалів IV науково-практичної конференції для молодих вчених, присвяченої 100-річчу Національної академії наук України.* Київ, 2017. С. 35-37.

15. Коржов Е. И. Влияние климатических изменений на территории Украины на термический и ледовый режимы устьевого участка Днепра. Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность: сборник трудов VII международной научной конференции молодых ученых и талантливых студентов ФГБУН ИВПРАН; 11-13 декабря 2013 г. 2013. С. 51-54.

16. Коржов Е. И. Некоторые экологически значимые аспекты водного режима Нижнего Днепра. *Наукові читання присвячені Дню науки.* Вип.3: Зб. наук. пр. Херсон, Вид-во: ПП Вишемирський В.С., 2010. С. 4-9.

17. Кутіщев П. С., Вітюков Ю. Є. Особливості розвитку Cercopagis pengoi в Дніпровсько-Бузькому лимані і зв'язок з промисловим рибальством. *Таврійський науковий вісник.* Херсон: Айлант. 2007. Вип.54. С. 164-170.

18. Кутіщев П. С. Нові види безхребетних вселенців Дніпровсько-Бузької естуарної системи. *Науково-практична конференція*, 13-14 березня 2018 р. Кліматичні зміни та сільське господарство. Київ: 2018. С. 329-333.

19. Костяницын М. Н. Гидрология устьевой области Днепра и Южного Буга. М.: Гидрометеоиздат, 1964. 336с.

20. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В. Д. Романенка. К.: ЛОГОС, 2006. 408 с.

21. Коржов Є. І. Науково-практичні рекомендації щодо покращення стану водних екосистем гирлової ділянки Дніпра шляхом регулювання їх зовнішнього водообміну. Херсон, 2018. 52 с.

22. Регіональна доповідь про стан навколишнього середовища Херсонської області у 2001–2014 рр. URL: http://www.ecology.ks.ua/index.php?module=page&id=11

23. Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях. М.: Гидрометеоиздат, 1973. 536 с.

24. Сучасний екологічний стан і біорізноманіття Дніпровсько-Бузької естуарної системи у зв'язку з промисловою іхтіофауною. *Наукова монографія.* Щербак В. І., Шерман І. М., Кутіщев П. С., Морозова А. О., Семенюк Н. Є., Луценко Д. А. Херсон: ФОП Вишемирський В.С., 2020. 200 с.

25. Тімченко В. М., Карпова Г. О., Гуляева О. О., Коржов Є. І. та ін. Прогноз впливу можливої реконструкції Каховської ГЕС на екосистеми пониззя Дніпра та Каховського водосховища. Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту., Сер. Біол., № 3-4 (64), 2015. С. 665-668.

26. Швец Г. И. Многовековая изменчивость стока Днепра. М.: Гидрометеоиздат, 1979 г. 84 с.

27. Шерман І. М., Гейна К. М., Козій М. С., Кутіщев П.С., Воліченко Ю.М. Рибництво та рибальство трансформованих річкових систем півдня України. *Наукова монографія.* Херсон: Грінь Д.С., 2017. 345 с.

28. Шерман І. М., Кутіщев П. С., Гейна К.М. Біологічні основи рибогосподарської експлуатації оселедцевих *(Clupeidae)* Дніпровсько-Бузької гирлової системи. *Наукова монографія.* Херсон: Грінь. Д.С., 2016. 208 с.

29. Шерман І. М., Кутіщев П. С. Екологія живлення та харчові взаємовідносини промислових коропових Дніпровського лиману. *Наукова монографія.* Херсон: Грінь Д.С., 2013. 247 с.

30. Barkov V. O. On the weather. Zerno – Grain. 2007. 118-121.

31. Drizhiruk V. V. Global climate warming and global agriculture. Agrovisnyk. 2008. P. 37-39.

32. Korzhov Ye. Analysis of possible negative environmental and socio-economic consequences of freshwater drain reduction to the Dnieper-Bug mouth region. Perspectives of world science and education. *Abstracts of the 8th International scientific and practical conference*. CPN Publishing Group. Osaka, Japan, 2020. P. 84-90.

33. Averchev O.V., Bidnyna I.O., Bondar O.I., Boyarkina L.V. etc. Ecohydrological investigation of plain river section in the area of small hydroelectric power station influence. *Collective monograph*: Current state, challenges and prospects for research in natural sciences. Lviv-Toruń: Liha-Pres, 2019. P. 135-154.

34. Korzhov Ye. I., Kucheriava A. M. Peculiarities of External Water Exchange Impact on Hydrochemical Regime of the Floodland Water Bodies of the Lower Dnieper Section. *Hydrobiological Journal*. Begell House (United States). Vol. 54, Issue 6, 2018. P. 104-113.

35. Korzhov Ye. I. Kutishchev P. S., Honcharova O. V. Influence of water balance elements change on the salinity regime of the Dnieper-Bug estuary. Innovative development of science and education. *Abstracts of the 3rd International scientific and practical conference.* ISGT Publishing House. Athens, Greece, 2020. P. 225-231.

36. Kulbida N. I. Estimation of gross winter wheat harvest fluctuations in Ukraine under different scenarios of climate change. Grain Industry-2004. Kiev: IA «APK-Inform», 2004. P. 25-29.

37. Naumova L. P. On the dates of stable transition of meteorological variables through some levels. Letters of the Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeykov. 1986. P. 49-53.

38. Snizhko S. I., Skrynnyk O. A., Shcherban I. M. Features of duration of growing season and the period of active vegetation on the territory of Ukraine (trends and changes due to global warming). *Ukrainskyi Hidrometeorologichnyi Zhurnal*. Ukrainian Hidrometeorological Journal. 2007. 119-128.

39. Shevchenko I. V., Korzhov Ye. I., Kutishchev P. S., Honcharova O. V., Shevchenko V. Yu. Effect of Abiotic Factors upon Morphological Variability of Fleuria lacustris Larvae *(Diptera, Chironomidae). Hydrobiological Journal.* Begell House (United States). Vol. 56, Issue 5, 2020. P. 15-22.

40. Timchenko V. M., Korzhov Y. I., Guliayeva O. A., Batog S. V. Dynamics of Environmentally Significant Elements of Hydrological Regime of the Lower Dnieper Section. *Hydrobiological Journal.* Begell House (United States). Vol. 51, Issue 6, 2015. P. 75-83.

41. Voloshchuk V. M., Boichenko S. G., Stepanenko S. M., Bortnyk S. Yu. Shyshscenko P. G. Global warming and climate of Ukraine: regional environmental and socio-economic aspects. Kyiv, 2002. 117 p.

Information about the authors:
Kutishchev Pavlo Serhiiovych,
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Acting Head of the Department of Water Biological Resources and Aquaculture
Kherson State Agrarian and Economic University
23, Stritenska str., Kherson, 73006, Ukraine

Korzhov Yevgen Ivanovych,
Candidate of Geographic Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Water Biological Resources and Aquaculture
Kherson State Agrarian and Economic University
23, Stritenska str., Kherson, 73006, Ukraine

Honcharova Olena Viktorivna,
Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor at the Department
of Water Biological Resources and Aquaculture
Kherson State Agrarian and Economic University
23, Stritenska str., Kherson, 73006, Ukraine