

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОДЕРЖАНИЯ ТРИГАЛОГЕНМЕТАНОВ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ВОДОЗАБОРА*

М.А. Малкова¹, Е.А. Кантор¹, М.Ю. Вожаева², И.А. Белолипецв³

E-mail: kykyshka2009@mail.ru

¹ ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Россия

² МУП «Уфаводоканал», г. Уфа, Россия

³ ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», г. Уфа, Россия

АННОТАЦИЯ: В статье приведены результаты статистической обработки данных наблюдений за содержанием тригалогенметанов в питьевой воде одного из инфильтрационных водозаборов реки Уфа города Уфы. С помощью методов математической статистики рассчитаны следующие параметры: плотность распределения суммарного содержания тригалогенметанов в питьевой воде, вероятности появления неблагоприятных событий, связанных с образованием тригалогенметанов в результате хлорирования питьевой воды. В результате анализа выявлено, что наиболее часто встречаемые концентрации суммарного содержания тригалогенметанов лежат в диапазоне 5,8–8,1 мкг/дм³. Установлено, что плотность распределения суммарной концентрации тригалогенметанов описывается степенной функцией $\rho(\text{ТГМ}) = 0,348 \times \text{ТГМ}^{-2,18}$ (уровень достоверности $R^2 = 0,94$). Обнаружено, что с вероятностью 1% возможно превышение суммарной концентрацией ТГМ значения 18,03 мкг/дм³ при имеющейся предельно-допустимой концентрации 100 мкг/дм³. Таким образом, ситуацию в отношении суммарного содержания тригалогенметанов на выбранном инфильтрационном водозаборе можно считать благоприятной.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тригалогенметаны, инфильтрационный водозабор, прогнозирование, мониторинг, питьевая вода, р. Уфа, квантили распределения.

Одним из основных этапов подготовки питьевой воды является ее обеззараживание хлорсодержащими агентами. В результате этого происходит образование галогенорганических соединений, к которым относят тригалогенметаны (ТГМ): хлороформ (ХФ), бромдихлорметан (БДХМ), дибром-

© Малкова М.А., Кантор Е.А., Вожаева М.Ю., Белолипецв И.А., 2019

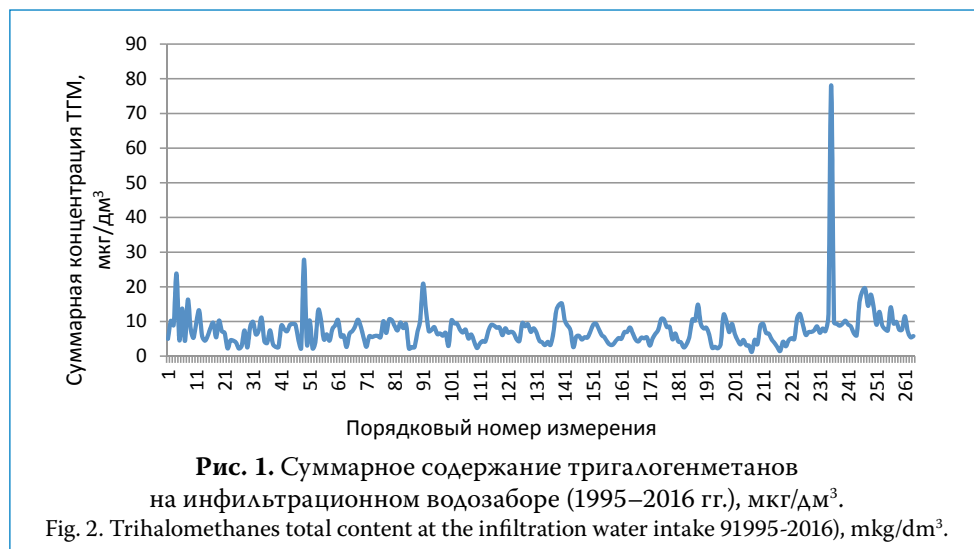
* Публикация подготовлена в рамках выполнения государственного задания № 5.12863.2018/8.9 на тему «Разработка системы идентификации и количественного анализа экологических рисков, возникающих при водоснабжении крупной городской агломерации»

хлорметан (ДБХМ) и бромформ (БФ) [1–5]. Гигиенические исследования, проведенные в России и за рубежом, выявили взаимосвязь между числом онкологических заболеваний и потреблением воды, содержащей галогенорганические соединения [1, 2]. В связи с этим мониторинг этой группы веществ в питьевой воде является крайне важным [3, 6]. Предельно допустимые концентрации (ПДК) в России составляют для ХФ 60 мкг/дм³, БФ – 100 мкг/дм³, БДХМ и ДБХМ – 30 мкг/дм³. ПДК суммы ТГМ в питьевой воде в Российской Федерации составляет 100 мкг/дм³ [6, 7].

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования выбран один из инфильтрационных водозаборов (ИВ) г. Уфы. Для расчетов используются ежемесячные данные за период 1995–2016 гг. по содержанию ХФ, ДБХМ и БДХМ. До 2000 г. БФ в составе питьевой воды обнаруживался единично, после 2000 г. БФ обнаружен не был, вследствие чего этот компонент ТГМ исключен из анализа. Суммарная концентрация ТГМ (Σ ТГМ) представляет собой алгебраическую сумму концентрации ХФ, БДХМ и ДБХМ, измеряемую в мкг/дм³ [4, 8].

Мониторинг Σ ТГМ за анализируемый период ни разу не выявил нормативного превышения этого показателя (рис.1).



В июле 2014 г. обнаружен пик содержания Σ ТГМ, который можно объяснить действием случайных факторов, однако зафиксированная концентрация имеет значение 0,8 ПДК [6, 8]. Тем не менее, важно отметить, что исследуемый водозабор располагается в черте промышленного города, т.е. в условиях повышенных антропогенных рисков.

Статистическая обработка данных включает определение плотности распределения концентраций ТГМ и вычисление вероятности появления неблагоприятных событий, связанных с ухудшением качества воды по исследуемому параметру [9–14]. Определение плотности распределения анализируемых параметров за исследуемый период наблюдений проведено по следующему алгоритму:

- построение временного ряда суммарной концентрации ТГМ (рис. 1);
- распределение на интервалы («карманы») определенной длины оси значений концентраций Σ ТГМ (Δ ТГМ);
- определение частоты попадания точек в i -й «карман» (N_i) для Σ ТГМ;
- вычисление относительных частот в результате нормирования полученных в предыдущем действии значений путем деления на общее число точек ($f_i = N_i / N$, $N = \Sigma N_i$);
- определение плотности распределения расходов ρ (ТГМ) = f_i / Δ ТГМ [11, 12].

Вероятности появления неблагоприятных событий оцениваются по значениям медленно спадающего хвоста плотностей распределений, который описывают следующей степенной зависимостью:

$$\rho(\text{ТГМ}) = A \times \text{ТГМ}^{-1-\alpha}. \quad (1)$$

Прогнозирование возможных значений суммарной концентрации компонентов ТГМ осуществляется путем нахождения квантилей распределения (ТГМ_p) [13, 15–17]. Вероятности распределения Σ ТГМ представляются, как $F(\text{ТГМ})$, в области хвоста распределения эта величина принимает вид $\bar{F}(\text{ТГМ}) = 1 - F(Q\text{ТГМ})$. Таким образом, распределение параметра будет представлено уравнением:

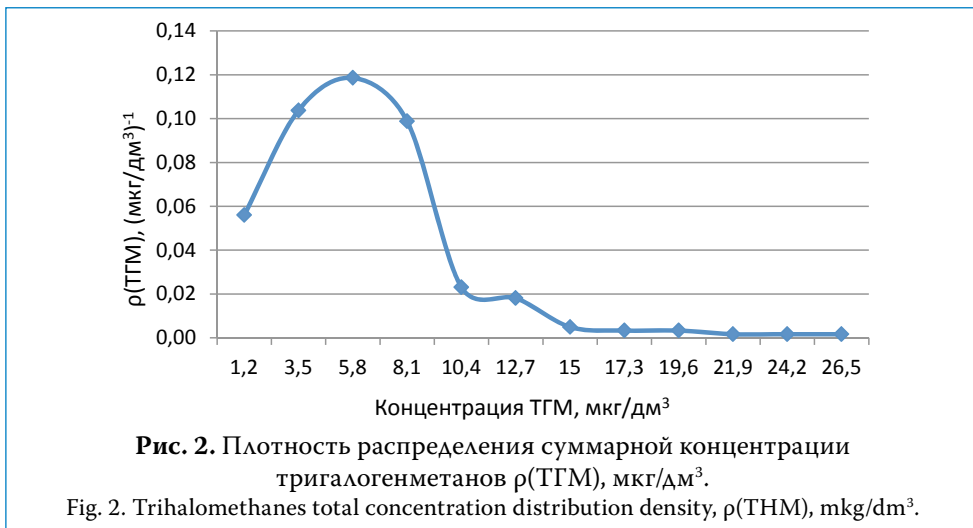
$$\bar{F}(\text{ТГМ}) = A\alpha^{-1} \times \text{ТГМ}^{-\alpha}. \quad (2)$$

Величины ТГМ_p определяются из соотношения $F(\text{ТГМ}_p) = p$, $\bar{F}(\text{ТГМ}_p) = 1 - p$, где p – уровень обеспеченности ($0 < p < 1$) при условии, что вероятность $\bar{F}(\text{ТГМ}_p)$ – это доля суммарной концентрации компонентов Σ ТГМ $\text{ТГМ} > \text{ТГМ}_p$:

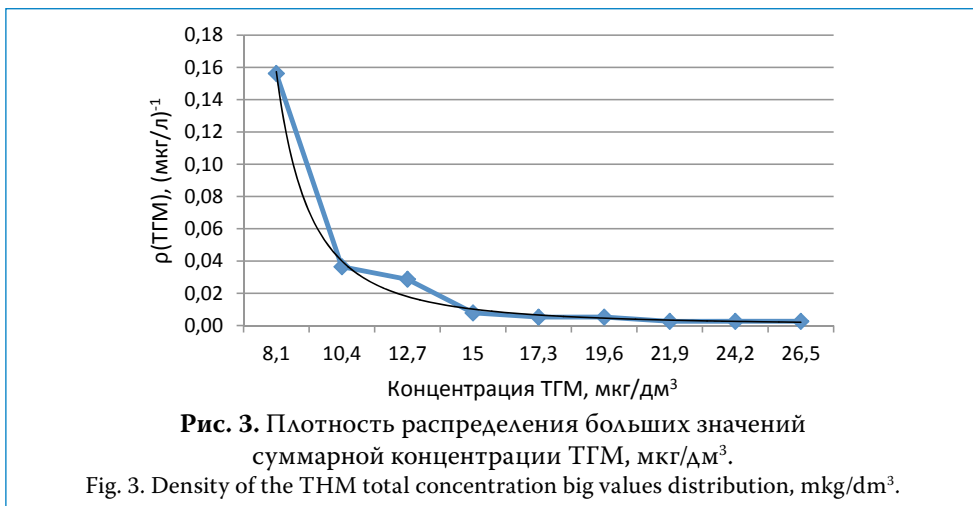
$$\text{ТГМ}_p = \left(\frac{A}{\alpha \times (1-p)} \right)^{1/\alpha}. \quad (3)$$

Плотность распределения суммарной концентрации ТГМ (рис. 2) построена, исходя из данных мониторинга (рис. 1). Ось Σ ТГМ разбита на «карманы» Δ ТГМ = 2,3 мкг/дм³.

Максимальная плотность распределения концентраций ТГМ свидетельствует о том, что наиболее вероятная концентрация приходится на 5,8 мкг/дм³ (рис. 2). Концентрации ТГМ от 1,2 до 8,1 мкг/дм³ встречаются наиболее часто. Распределение концентраций имеет медленно спадающий хвост при Σ ТГМ > 8,1 мкг/дм³ (рис. 3).



Плотность распределения суммарной концентрации ТГМ в диапазоне 8,1 – 26,5 мкг/дм³ описывается степенной зависимостью (1) и принимает вид $\rho(\text{TGM}) = 0,348 \times Q^{-2,18}$ при уровне достоверности $R^2 = 0,94$. Параметры α и A составляют 1,18 и 0,35 соответственно.



Спрогнозировать возможные концентрации ТГМ в питьевой воде позволяют квантили распределения TGM_p (3) [11, 12]. В результате подстановки значений параметров получены расходы разного уровня обеспеченности: $\text{TGM}_{0,99} = 18,03$ мкг/дм³, $\text{TGM}_{0,98} = 10,02$ мкг/дм³, $\text{TGM}_{0,97} = 8,11$ мкг/дм³ (99 %, 98 %, 97 % обеспеченности соответственно).

Все они попадают в допустимый интервал расходов 8,1 – 26,5 мкг/дм³, где справедлива аппроксимация ρ (ТГМ) = 0,348 × ТГМ^{2,18}.

ВЫВОДЫ

С помощью методов математической статистики рассчитаны вероятности появления неблагоприятных событий, связанных с образованием тригалогенметанов в результате хлорирования питьевой воды на водозаборе инфильтрационного типа. В результате проведенных численных экспериментов выявлено, что с вероятностью 99% суммарная концентрация ТГМ не превысит значения 18,03 мкг/дм³. Предельно-допустимая концентрация ТГМ при этом составляет 100 мкг/дм³.

Таким образом, ситуацию в отношении образования ТГМ на выбранном инфильтрационном водозаборе можно считать благоприятной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ивлева Г.А., Нечаев И.А., Гусев Н.Н.* Проблема обеспечения населения чистой водой // Чистая вода: проблемы и решения. 2009. № 1. С. 19–22.
2. *Рахманин Ю.А.* Качество и безопасность воды различных видов водопользования // Экологический вестник России. 2008. № 3. С. 24–28.
3. *Душкин С.С., Благодатная Г.И.* Разработка научных основ ресурсосберегающих технологий подготовки экологически чистой питьевой воды. Харьков, 2009. 95 с.
4. *Вождаева М.Ю., Цыпышева Л.Г., Кантор Л.И., Кантор Е.А.* Влияние хлорирования на состав ограниченно-летучих органических загрязнителей воды // Журнал прикладной химии. 2004. Т. 77. № 6. С. 952–955.
5. *Труханова Е.В., Вождаева М.Ю., Кантор Л.И., Кантор Е.А., Мельницкий И.А.* Исследование влияния галогенуксусных кислот на результаты определения тригалометанов в воде // Экология и промышленность России. 2011. № 2. С. 41–45.
6. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения: СанПиН 2.1.4.1074-01 от 26.09.2001.
7. ГОСТ Р 51392-99 Вода питьевая. Определение содержания летучих галогенорганических соединений газожидкостной хроматографией. М.: Стандартинформ, 2010. 17 с.
8. *Кантор Е.А., Малкова М.А., Жигалова А.В.* Содержание тригалогенметанов в питьевой воде некоторых водозаборов г. Уфы // Свид-во о госуд.регистр.и базы данных № 2016620652 от 23.05.2016.
9. *Schletterer M., Hofer B., Obendorfer R., Hammer A., Hubmann M., Schwarzenberger R., Boschi M., Haun S., Haimann M., Holzapfel P., Habersack H., Brock B., Schmalzer B., Hauer C.* Integrative monitoring approaches for the sediment management in alpine reservoirs: Case study Gepatsch (HPP Kaunertal, Tyrol) // River Sedimentation- Proceedings of the 13th International Symposium on River Sedimentation. 2016. P. 1161–1169.

10. Jeznach L.C., Hagemann M., Park Mi-Hyun, Tobiason J.E. Proactive modeling of water quality impacts of extreme precipitation events in a drinking water reservoir // *Journal of Environmental Management*. 2017. Vol. 201. P. 241–251.
11. Долгоносов Б.М., Власов Д.Ю., Дятлов Д.В., Сурачева Н.О., Григорьева С.В., Корчагин К.А. Статистические характеристики изменчивости качества воды, поступающей на водопроводную станцию // *Инженерная экология*. 2004. № 3. С. 2–20.
12. Ялалетдинова А.В., Еникеева Л.В., Вожаева М.Ю., Кантор Е.А. Статистические характеристики взаимосвязи мутности и расходов воды в реке, вызванных попусками в водохранилища // *Теоретическая и прикладная экология*. 2018. № 1. С. 33–42.
13. Елисеева И.И., Курьшева С.В., Костеева Т.В. и др. Эконометрика. М.: Статистика и финансы, 2001. 344 с.
14. Большев Л.Н. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1983. 416 с.

Для цитирования: Малкова М.А., Кантор Е.А., Вожаева М.Ю., Белолипцев И.А. Статистические характеристики содержания тригалогенметанов в питьевой воде инфильтрационного водозабора // *Водное хозяйство России*. 2019. № 3. С. 141–148.

Сведения об авторах:

Малкова Мария Александровна, аспирант, кафедра «Прикладная экология» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», 450062, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов 1; e-mail: kykyshka2009@mail.ru

Кантор Евгений Абрамович, д-р хим.наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», 450062, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов 1; e-mail: evgkantor@mail.ru

Вожаева Маргарита Юрьевна, д-р хим.наук, начальник отдела мониторинга органических загрязнителей воды центральной химико-бактериологической лаборатории МУП «Уфаводоканал», 450098, г. Уфа, ул. Российская, 157/2; e-mail: vozhaeva@mail.ru

Белолипцев Илья Игоревич, канд.техн.наук, преподаватель кафедры «Математика и информатика» ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», Уфимский филиал, 450015, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Мустая Карима 69/1; e-mail: beloliptsev.ilya@yandex.ru

SOME STATISTICAL CHARACTERISTICS OF THE TRIHALOMETHANES CONTENT IN DRINKING WATER OF INFILTRATION WATER INTAKE

Maria A. Malkova¹, Evgeny A. Kantor¹, Margarita Y. Vozhdaeva², Ilya I. Beloliptsev³

E-mail: kykyshka2009@mail.ru

¹ *Ufa State Oil Technical University, Ufa, Russia*

² *MUP Ufavodokanal, Ufa, Russia*

³ *Financial University under the Government of the Russian Federation, Ufa, Russia*

Abstract: The article deals with statistical processing of monitoring data for the content of trihalomethanes in drinking water of one of the infiltration Ufa water intakes. Using the methods of mathematical statistics, the following parameters were revealed: the distribution density of the total content of trihalomethanes in drinking water, the likelihood of occurrence of adverse events associated with the formation of trihalomethanes as a result of the chlorination of drinking water. As a result of the analysis, it was found that the most common concentrations of the total content of trihalomethanes lie in the range 5.8-8.1 $\mu\text{g} / \text{dm}^3$. It was found that the distribution density of the total concentration of trihalomethanes is described by the power dependence $\rho(\text{TGM}) = 0.348 \times Q^{-2.18}$ (confidence level $R^2 = 0.94$). It was concluded that the situation at the selected infiltration water intake can be considered favorable, since with a probability of 99%, the total concentration of THM does not exceed 18.03 $\mu\text{g} / \text{dm}^3$ with an available maximum concentration of 100 $\mu\text{g} / \text{dm}^3$.

Key words: trihalomethanes, chloroform, dibromochloromethane, bromodichloromethane, infiltration water intake, forecasting, monitoring, distribution density, probability of distribution, quantiles of distribution.

About the authors:

Maria A. Malkova, post-graduate student, Department of Applied Ecology, Ufa State Petroleum Technical University, ul. Kosmonavtov, 1, Ufa, 450062, Republic of Bashkortostan, Russia; e-mail: kykyshka2009@mail.ru

Evgeny A. Kantor, Doctor of Chemical Sciences, Professor; Head, Department of Physics, Ufa State Petroleum Technical University, ul. Kosmonavtov, 1, Ufa, 450062, Republic of Bashkortostan, Russia; e-mail: evgkantor@mail.ru

Margarita Y. Vozhdaeva, Doctor of Chemical Sciences, Head, Department of Monitoring of Organic Water Pollutants, Central Chemical and Bacteriological Laboratory of Municipal Unitary Enterprise Ufavodokanal, ul. Rossiyskaya, 157/2, Ufa, 450098, Republic of Bashkortostan, Russia; e-mail: vozhdaeva@mail.ru

Ilya I. Beloliptsev, Ph.D., Lecturer, Department of Mathematics and Informatics, Financial University under the Government of the Russian Federation (Ufa Branch), ul. Mustyaa Karima 69/1, Ufa, 450015, Republic of Bashkortostan, Russia; e-mail: beloliptsev.ilya@yandex.ru

For citation: Malkova M.A., Kantor E.A., Vozhdaeva M.Y., Beloliptsev I.I. Some Statistical Characteristics of the Trihalomethanes Content in Drinking Water of Infiltration Water Intake // *Water Sector of Russia*, 2019. No. 3. P. 141-148.

REFERENCES

1. Ivleva G.A., Nechaev I.A., Gusev N.N. Problema obespecheniya naseleniya chistoy vodoy [The problem of providing the population with clean water] // *Clean water: problems and solutions*. – 2009. – № 1. – S. 19–22. [in Russian].
2. Rakhmanin Y.A. Kachestvo i bezopasnost vody razlichnykh vidov vodopolzovaniya [Water quality and safety of different types of water use] // *Ecological Herald of Russia*. – 2008. – №3. – P. 24–28. [in Russian].
3. Dushkin S.S., Blagodatnaja G.I. Razrabotka nauchnykh osnov resursosbergayushchikh tekhnologiy podgotovki ekologicheskoi chistoy pitevoy vody [Development of scientific foundations of resource-saving technologies for the preparation of ecologically clean drinking water]: monographs / Kharkov. nat. acad. city. households. – Kharkov, 2009. – 95 p. [in Russian].
4. Vozhdaeva M.Y., Tsypysheva L.G., Kantor L.I., Kantor E.A. Influence of chlorination on the composition of limited – volatile organic pollutants of water // *Journal of Applied Chemistry*. – 2004. T. 77. – № 6. – P. 952–955.

5. *Trukhanova E.V., Vozhdaeva M.Y., Kantor L.I., Kantor E.A., Melnitskiy I.A.* Issledovaniye vliyaniya gelogenuksusnykh kislot na rezultaty opredeleniya trigalometanov v vode [Investigation of the effect of haloacetic acids on the results of determination of trihalomethanes in water] // *Ecology and industry of Russia*. – 2011. – № 2. – P. 41–45. [in Russian].
6. Pityevaya voda. Gigiyenicheskiye trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pityevogo vodosnabzheniya [Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems]. Quality control. Hygienic requirements for ensuring the safety of hot water systems]: SanPiN 2.1.4.1074–01 from 26.09.2001 [in Russian].
7. GOST R 51392–99 Voda pityevaya. Opredelenie soderzhaniya letuchikh galogenorganicheskikh soedinenij gazozhidkostnoy khromatografiy [Drinking water. Determination of volatile halogen/organic compounds with gas–liquid chromatography]. M.: Standartinform, 2010 – 17 p. [in Russian].
8. *Kantor E.A., Malkova M.A., Zhigalova A.V.* Soderzhanie trigalogenmetanov v pityevoy vode nekotorykh vodozaborov g. Ufy [The trihalomethanes content in some water intakes of Ufa] // *Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsiyi bazy dannykh* № 2016620652 ot 23.05.2016. [in Russian].
9. *Schletterer M., Hofer B., Obendorfer R., Hammer A., Hubmann M., Schwarzenberger R., Boschi M., Haun S., Haimann M., Holzapfel P., Habersack H., Brock B., Schmalzer B., Hauer C.* Integrative monitoring approaches for the sediment management in alpine reservoirs: Case study Gepatsch (HPP Kaunertal, Tyrol) // *River Sedimentation – Proceedings of the 13th International Symposium on River Sedimentation*. 2016. P. 1161–1169.
10. *Jeznach L.C., Hagemann M., Park Mi–Hyun, Tobiason J.E.* Proactive modeling of water quality impacts of extreme precipitation events in a drinking water reservoir // *Journal of Environmental Management*. 2017. Vol. 201. P. 241–251.
11. *Dolgonosov B.M., Vlasov D.Y., Dyatlov D.V., Suracheva N.O., Grigoryeva S.V., Korchagin K.A.* Statisticheskie kharakteristiki izmenchivosti kachestva vody, postupayushchey na vodoprovodnyuyu stantsiyu [Statistical characteristics of the water quality variability in case of water supplied to a pumping station] // *Inzhenernaya ekologiya*. 2004. № 3. P. 2–20 [in Russian].
12. *Yalaletdinova A.V., Enikeeva L.V., Vozhdaeva M.Y., Kantor E.A.* Statisticheskie kharakteristiki vzaimosvyazi mutnosti i raskhodov vody v reke, vyzvannykh popuskami vodokhranilishch [Statistic characteristics of the turbidity and water flow relations caused by the reservoirs' water release] [in Russian].
13. *Ekonometrika [Econometrics]: I.I. Eliseyeva, Kuryshcheva SV, Kosteeva T.V. et al.* / M: Statistics and Finance, 2001. – 344 p. [in Russian].
14. *Bolshev L.N.* Tablitsy matematicheskoy statistiki [Tables of mathematical statistics] / L.N. Bolshev, N.V. Smirnov. Moscow: Nauka, 1983. – 416 p. [in Russian].