

УДК 556.51/.54:504.062

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОДОЗАБОРА В СТВОРЕ РЕКИ БЕЛОЙ В РАЙОНЕ Г. СТЕРЛИТАМАКА

¹Быковский Н.А., ¹Фанакова Н.Н., ¹Женин М.В., ²Фанаков В.С.¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», филиал,
Стерлитамак, e-mail: nbikovsky@list.ru;²ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа

В связи с возрастающей антропогенной нагрузкой на водные ресурсы сведения о качестве воды в водоемах имеют большое значение. Это необходимо и для водоканала, и для предприятий, использующих обессоленную воду. Нами изучено наличие примесей в воде реки в области г. Стерлитамака. Мониторинг был проведен методом анализа временных рядов по 11 показателям качества воды. Рассчитаны сезонные и случайные составляющие содержания в воде различных веществ. Показано, что для некоторых веществ их содержание в воде имеет сезонную зависимость, обусловленную временем года. Это указывает на их природное происхождение. Поступление в реку веществ, для которых отсутствует сезонная зависимость, связано с антропогенной деятельностью человека. Результаты, полученные при исследовании концентрации примесей в воде р. Белой в створе г. Стерлитамака, могут быть основой для повышения эффективности водоподготовки.

Ключевые слова: вода, временные ряды, автокорреляционная функция, сезонные зависимости

ECOLOGICAL MONITORING OF WATER WITHDRAWAL FROM THE BELAYA RIVER NEAR STERLITAMAK

¹Bykovskiy N.A., ¹Fanakova N.N., ¹Zhenin M.V., ²Fanakov V.S.¹Federal State-Funded Educational Institution of Higher Professional Education
«Ufa State Petroleum Technological University», Branch, Sterlitamak, e-mail: nbikovsky@list.ru;²Federal State-Funded Educational Institution of Higher Professional Education
«Ufa State Petroleum Technological University», Ufa

Due to increasing anthropogenic impact on water resources, information about the quality of water in water sources is of great importance. This is necessary for both water service company and for enterprises utilizing desalinated water. We have studied water condition of the source water in the Belaya River cross-section near the city of Sterlitamak. The monitoring was carried out by the method of time series analysis for 11 water quality parameters. Seasonal and random components of water content for various substances were calculated. It has been shown that for some substances their content in water has a seasonal dependence due to a season of the year. This shows their natural origin. The ingress of substances into the river for which there is no seasonal dependence is associated with human's anthropogenic activity. The results obtained in the study of water quality parameters of the Belaya River in the cross section near city of Sterlitamak can be the basis for increasing the efficiency of water treatment.

Keywords: water, time series, autocorrelation function, seasonal dependences

Одним из важнейших природных ресурсов, используемых в хозяйственной деятельности человека, является вода [1–3]. По объему ежегодного потребления она значительно превосходит все другие вместе взятые добываемые ресурсы.

С одной стороны, промышленные и сельскохозяйственные отходы, попадая в реки, озера и грунтовые воды, приводят к их загрязнению [4, 5]. С другой стороны, сведения о концентрации примесей в воде рек и озер являются необходимыми для выбора условий работы установок водоподготовки, давая возможность прогнозировать расход реагентов и сорбционный цикл ионообменных фильтров. В связи с этим мониторинг водных объектов является актуальным.

Нами изучено наличие примесей в воде реки в области г. Стерлитамака. Мониторинг был проведен методом анализа временных рядов по 11 показателям качества воды. Это такие показатели, как жесткость, перманганатная окисляемость, щелочность и концентрация ионов Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Fe^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} и SiO_3^{2-} . Для исследования состояния водоемистика были использованы результаты анализов воды в реке Белой, полученные в химической лаборатории Ново-Стерлитамакской ТЭЦ за 17 последних лет. Рядом исследователей отмечается, что показатели состояния воды водоемистиков в природе характеризуются случайной, сезонной и трендовой составляющими [6, 7]. Эти составляющие определяются при помощи анализа временных рядов. Для этого

были построены последовательности, являющиеся временными рядами. Каждая последовательность включала из 204 значения и была определена строгими временными границами – по 12 значений в году.

Определение во временных рядах сезонной составляющей проводилось расчетом автокорреляционных коэффициентов и построением коррелограмм.

Если во временном ряду наблюдаются циклические колебания, то значения каж-

дого следующего уровня определяются предыдущими. Анализом автокорреляционных функций и коррелограмм можно установить лаг, при котором наблюдается высокая корреляция, а следовательно, и лаг, при котором текущие и предыдущие уровни ряда имеют наиболее тесную связь между собой. Таким образом, анализом автокорреляционных функций и коррелограмм устанавливается структура ряда [8].

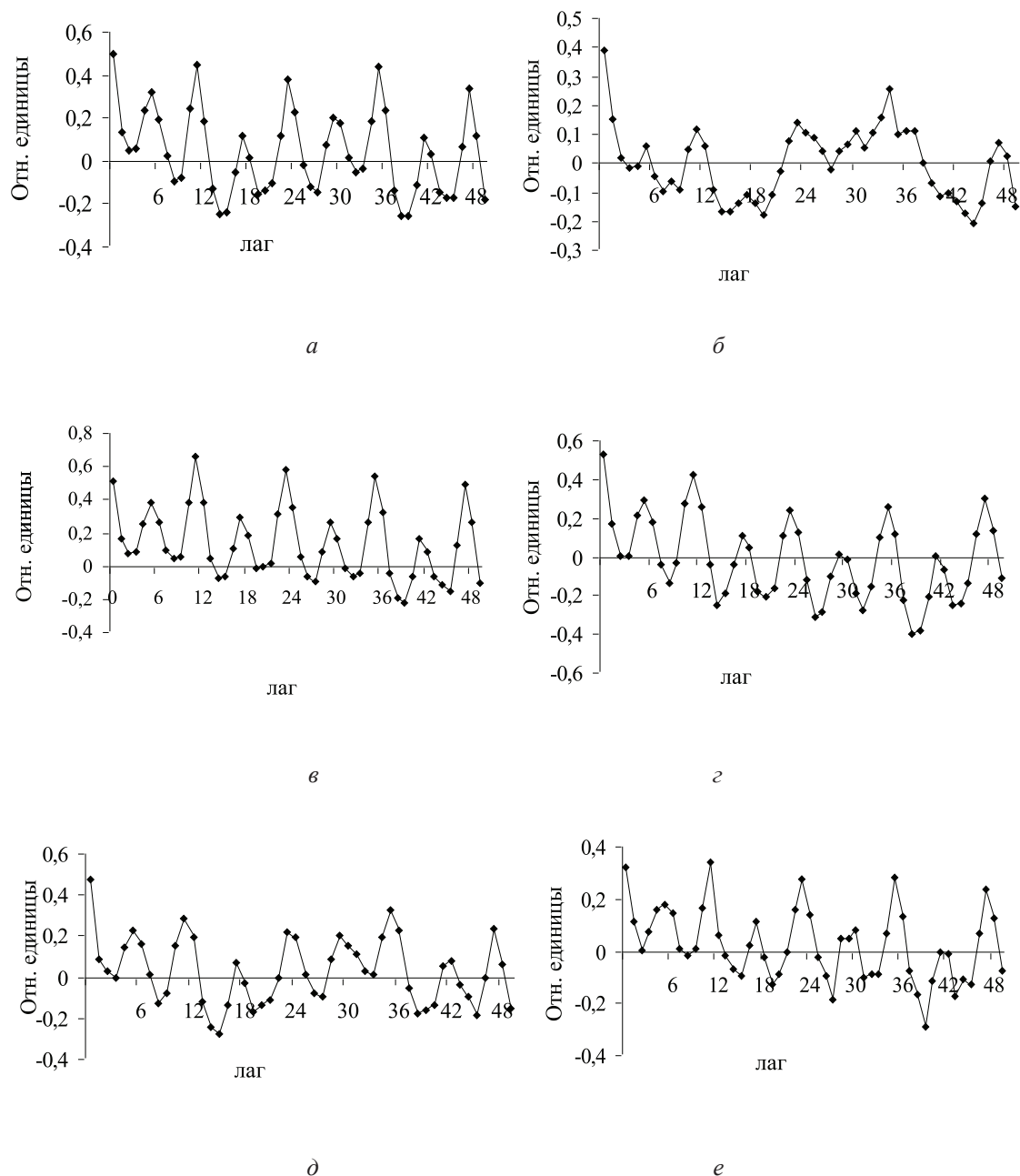


Рис. 1. Автокорреляционные функции: а) жесткость; б) окисляемость; в) щелочность; г) хлор; д) кальций; е) магний

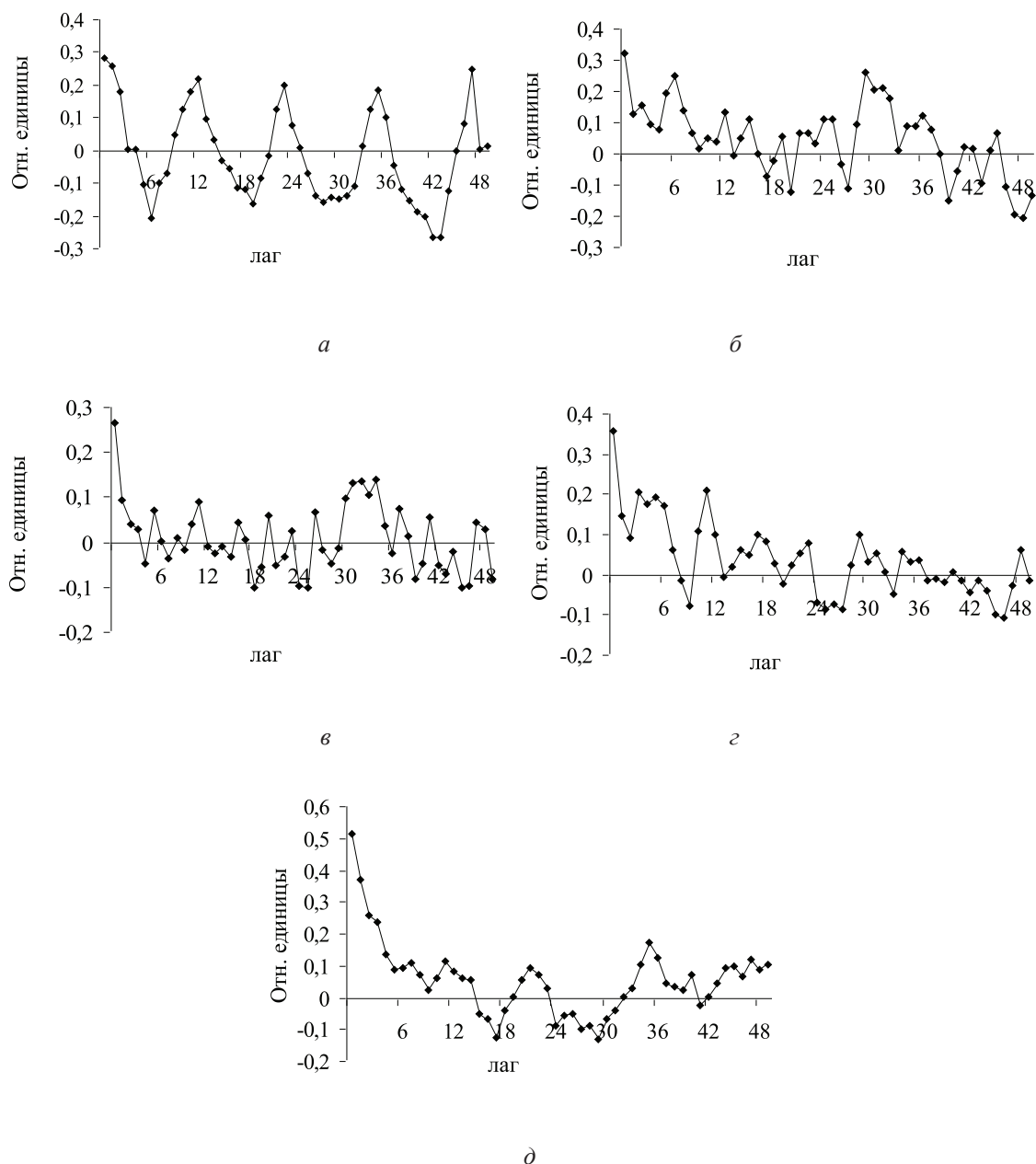


Рис. 2. Автокорреляционные функции: а) SiO_3^{2-} ; б) NH_4^+ ; в) железо; г) натрий; д) сульфаты

Наибольшая величина коэффициента корреляции первого порядка указывает на то, что для исследуемого ряда характерна только тенденция. В случае, когда наибольшее значение принадлежит коэффициенту автокорреляции n -ого порядка, то в ряду имеются циклические колебания с периодом интервалов времени равном n . Если ни один из коэффициентов ряда не является значимым, это говорит о том, что структура этого ряда не содержит циклических колебаний.

По описанной методике нами были рассчитаны автокорреляционные коэффициенты, которые приведены на рис. 1 и 2.

Используя полученные результаты, можно разделить содержание указанных примесей в воде на три группы. Показатели первой группы (см. рис. 1) включают жесткость, окисляемость, щелочность, Cl^- , Ca^{2+} и Mg^{2+} . У этих показателей наиболее высокие корреляционные коэффициенты наблюдаются в случае 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42 и 48 порядков. Это говорит о наличии

циклических изменений содержания примесей с периодом равным 6 месяцам. Ко второй группе показателей (рис. 2, а) относится SiO_3^{2-} . Для данного показателя наиболее высокие корреляционные коэффициенты наблюдаются у 12, 24, 36, 48 порядков. Это указывает на наличие циклических колебаний содержания примесей с периодом в 12 месяцев. К третьей группе относятся (рис. 2, б, в, г, д) такие показатели, как NH_4^+ , Fe^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} . У этих показателей качества воды наблюдается хаотичное изменение автокорреляционной функции. Для этих показателей характерно отсутствие какой-либо циклической зависимости.

Выделение из данных аналитических наблюдений, для которых свойственна явная циклическая зависимость, закономерной и случайной составляющей процесса было основано на концепции оценки временных рядов и регрессионно-корреляционном анализе [8]. Исследовано влияние трендов различных типов на величину сезонных индексов в расчете сезонной составляющей. Для расчета тренда скользящего среднего применена ступенчатая функция средних значений в году и среднемноголетних значений. Установлено, что это не влияет на расчетную величину сезонных индексов. Следует отметить, что значения трендов имеют несущественные отличия. Потому в качестве тренда можно рассматривать среднемноголетние величины показателей. Это позволяет перейти к определению изменения детерминированной компоненты за время, равное годовому циклу. На основании этого была выбрана аддитивная модель временного ряда. В этом случае значения сезонных компонент рассматриваются как постоянные для различных циклов.

На основании вышесказанного была проведена свертка рассматриваемого периода времени, равного 17 годам, к «предполагаемому» году, представляющему собой модель данного временного периода.

Анализом изменения закономерных составляющих величин концентраций веществ в годовом цикле р. Белой были выявлены характерные периоды.

Для таких показателей, как жесткость (рис. 3, а), щелочность, а также концентрация Ca^{2+} , Mg^{2+} и Cl^- с начала года, характерен рост концентрации, которая достигает максимального значения к марту (жесткость – 2,41 мг-экв/дм³; Ca^{2+} – 2,22 мг-экв/дм³; Mg^{2+} – 2,13 мг-экв/дм³; щелочность – 2,35 мг-экв/дм³; Cl^- – 2,11 мг-экв/дм³).

Далее начинается спад концентрации этих веществ, который достигает своего минимального значения в мае (жесткость – 0,92 мг-экв/дм³; Ca^{2+} – 1,58 мг-экв/дм³; Mg^{2+} – 1,43 мг-экв/дм³; щелочность – 0,95 мг-экв/дм³; Cl^- – 1,61 мг-экв/дм³).

После этого наблюдается увеличение содержания этих веществ в воде, которое достигает максимального значения в августе (жесткость – 2,45 мг-экв/дм³; Ca^{2+} – 2,12 мг-экв/дм³; Mg^{2+} – 2,34 мг-экв/дм³; щелочность – 2,41 мг-экв/дм³; Cl^- – 2,21 мг-экв/дм³).

Затем концентрация примесей снова понижается и достигает минимума в октябре (жесткость – 1,83 мг-экв/дм³; Ca^{2+} – 1,91 мг-экв/дм³; Mg^{2+} – 1,96 мг-экв/дм³; щелочность – 1,92 мг-экв/дм³; Cl^- – 1,91 мг-экв/дм³). Далее снова наблюдается рост содержания примесей. Данное поведение концентрации щелочности, жесткости, содержания Ca^{2+} , Mg^{2+} и Cl^- означает, что эти примеси разводятся весной и осенью паводковыми водами.

У окисляемости (рис. 3, б) сначала наблюдается снижение концентрации, которое достигает минимума в марте (1,37 мг/дм³). После чего происходит увеличение концентрации до 2,79 мг/дм³ к маю, что объясняется смывом органических веществ в реку в период паводка весной. В течение лета ХПК имеет достаточно большую величину, определяемую ростом водорослей. В третьем периоде (август) идет уменьшение ХПК до 1,83 мг/дм³ за счет разбавления воды осенними дождями. С сентября по декабрь наблюдается рост ХПК до 2,13 мг/дм³. Это можно объяснить размножением микроорганизмов.

Для сезонной компоненты содержания SiO_3^{2-} имеется хорошо выраженная циклическая зависимость автокорреляционной функции. Однако здесь не наблюдается таких резких изменений, как в предыдущем случае. Имеется незначительное уменьшение содержания SiO_3^{2-} в апреле, июне и сентябре.

Чтобы выявить полную картину в поведении веществ в воде, необходимо иметь представление о тенденции изменения концентраций этих веществ за рассматриваемый период. Для этого были рассчитаны трендовая, сезонная и случайная компоненты содержания рассматриваемых веществ в воде.

В таблице представлены трендовая, сезонная и случайная составляющие показателей качества воды в р. Белой водозабора г. Стерлитамака.

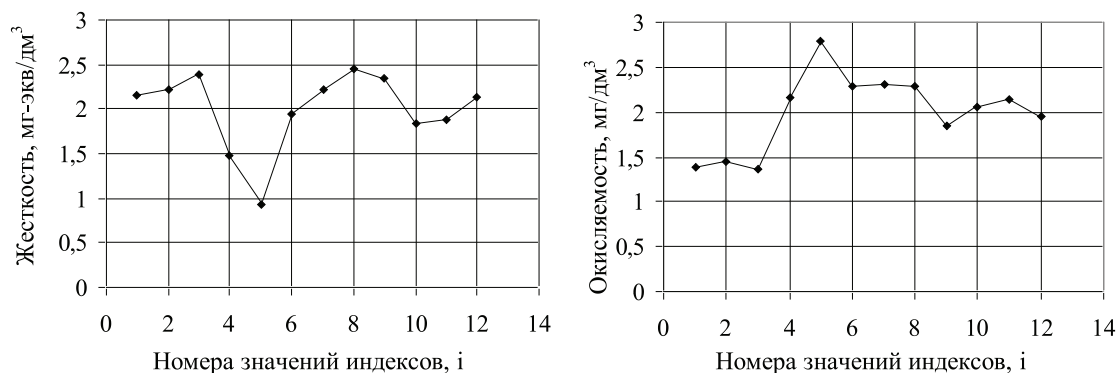


Рис. 3. Детерминированные компоненты показателей качества воды в р. Белой:
а) жесткости; б) окисляемости

Трендовая, сезонная и случайная составляющие показателей качества воды
в р. Белой водозабора г. Стерлитамака

Показатели	Величина компоненты, %		
	Тенденция	Сезонная составляющая	Случайная составляющая
1. Жесткость	9,3	33,0	57,7
2. Окисляемость	0,7	21,1	78,2
3. Щелочность	17,9	38,3	43,8
4. Cl^-	1,2	33,7	65,1
5. Ca^{2+}	6,8	21,6	71,6
6. Mg^{2+}	6,1	26,9	67,0
7. SiO_3^{2-}	0,3	23,5	76,2
8. NH_4^+	5,1	5,9	89,0
9. Fe^{2+}	0,3	13,6	86,1
10. Na^+	0,9	7,5	91,6
11. SO_4^{2-}	3,8	13,6	82,6

Закключение

Для исследования показателей качества воды в р. Белой в створе г. Стерлитамака применен метод анализа временных рядов. Расчет коэффициентов автокорреляции и изучение автокорреляционных функций позволило разделить все показатели на три части. К первой части относятся вещества, коэффициенты корреляции для которых имеют наиболее высокие значения для 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42 и 48 порядков. Это жесткость, окисляемость, щелочность, Cl^- , Ca^{2+} и Mg^{2+} . Ко второй части показателей относится SiO_3^{2-} . Этому показателю присущи наиболее высокие значения корреляционных коэффициентов для 12, 24, 36, 48 порядков. К третьей части относятся показатели NH_4^+ , Fe^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} . У этих веществ

наблюдается хаотичное изменение автокорреляционной функции. Это свидетельствует об отсутствии для этих веществ каких-либо циклических закономерностей. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что для первой и второй групп показателей наблюдается их сезонная зависимость, обусловленная временем года. В случае третьей части показателей качества воды отсутствие циклической зависимости связано со случайным поступлением этих веществ в реку. Такие поступления могут возникать при поступлении в реку сточных вод промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

Наличие сезонной зависимости у веществ, относящихся к первой группе показателей, означает влияние на величину этих показателей осенних и весенних па-

водков. Причем для таких показателей как жесткость, щелочность, Cl^- , Ca^{2+} и Mg^{2+} , в весенние и осенние паводки характерно понижение их содержания в воде, а для окисляемости, наоборот, повышение.

Для трендовой составляющей, которая характеризует тенденцию в изменении содержания примесей в воде за последние 17 лет, наблюдается как их увеличение, так и их понижение.

На основе данных, полученных при изучении изменения содержания примесей в р. Белой в районе г. Стерлитамака можно прогнозировать условия для увеличения эффективности при водоподготовке.

Список литературы

1. Jie Wang, Guijian Liu, Houqi Liu, Paul K.S. Multivariate statistical evaluation of dissolved trace elements and a water quality assessment in the middle reaches of Huaihe River, Anhui, China // *Science of The Total Environment*. – 1 April 2017. – Vol. 583. – P. 421–431.
2. Yingyuan Shi, Gaohong Xu, Yonggui Wang, Bernard A. Engel, Hong Peng, Wanshun Zhang, Meiling Cheng, Minglong Dai. Modelling hydrology and water quality processes in the Pengxi River basin of the Three Gorges Reservoir using the soil and water assessment tool // *Agricultural Water Management*. – 1 March 2017. – Vol. 182. – P. 24–38.
3. Hovhannisyan Arpine, Shahnazaryan Gayane. Determination of background concentrations of hydrochemical parameters and water quality assessment in the Akhuryan River Basin (Armenia) // *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. – August 2016. – Vol. 94. – P. 2–9.
4. Ranran Li, Zhihong Zou, Yan An. Water quality assessment in Qu River based on fuzzy water pollution index method // *Journal of Environmental Sciences*. – December 2016. – Vol. 50. – P. 87–92.
5. Ahmed Barakat, Mohamed El Baghdadi, Jamila Rais, Brahim Aghezzaf, Mohamed Slassi. Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using multivariate statistical techniques // *International Soil and Water Conservation Research*. – December 2016. – Vol. 4, Issue 4. – P. 284–292.

6. Педан В.В. Анализ структуры временных рядов весенних максимальных уровней природных вод / В.В. Педан // *Водные ресурсы*. – 2003. – т. 30, № 6. – С. 688–695.

7. Применение метода анализа временных рядов для исследования содержания аммиака и щелочности в воде реки Белая / Н.А. Быковский [и др.] // *Башкирский химический журнал*. – 2011. – т. 18, № 2. – С. 203–204.

8. Джеймс А.М. Математические модели контроля загрязнения воды / Под ред. А.М. Джеймс. – М.: Мир, 1981. – 471 с.

References

1. Jie Wang, Guijian Liu, Houqi Liu, Paul K.S. Multivariate statistical evaluation of dissolved trace elements and a water quality assessment in the middle reaches of Huaihe River, Anhui, China // *Science of The Total Environment*. 1 April 2017. Vol. 583. pp. 421–431.
2. Yingyuan Shi, Gaohong Xu, Yonggui Wang, Bernard A. Engel, Hong Peng, Wanshun Zhang, Meiling Cheng, Minglong Dai. Modelling hydrology and water quality processes in the Pengxi River basin of the Three Gorges Reservoir using the soil and water assessment tool // *Agricultural Water Management*. 1 March 2017. Vol. 182. pp. 24–38.
3. Hovhannisyan Arpine, Shahnazaryan Gayane. Determination of background concentrations of hydrochemical parameters and water quality assessment in the Akhuryan River Basin (Armenia) // *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. August 2016. Vol. 94. pp. 2–9.
4. Ranran Li, Zhihong Zou, Yan An. Water quality assessment in Qu River based on fuzzy water pollution index method // *Journal of Environmental Sciences*. December 2016. Vol. 50. pp. 87–92.
5. Ahmed Barakat, Mohamed El Baghdadi, Jamila Rais, Brahim Aghezzaf, Mohamed Slassi. Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using multivariate statistical techniques // *International Soil and Water Conservation Research*. December 2016. Vol. 4, Issue 4. pp. 284–292.
6. Pedan V.V. Analiz struktury vremennyh rjadov vesennih maksimalnyh urovnej prirodnyh vod / V.V. Pedan // *Vodnye resursy*. 2003. t. 30, no. 6. pp. 688–695.
7. Primenenie metoda analiza vremennyh rjadov dlja issledovaniya soderzhanija ammiaka i shhelochnosti v vode reki Belaja / N.A. Bykovskij [i dr.] // *Bashkirskij himicheskij zhurnal*. 2011. t. 18, no. 2. pp. 203–204.
8. Dzhejms A.M. Matematicheskie modeli kontrolja zagrjaznenija vody / Pod red. A.M. Dzhejms. M.: Mir, 1981. 471 p.