

Статистические характеристики взаимосвязи мутности и расходов воды в реке, вызванных попусками водохранилища

© 2017. А. В. Ялалетдинова¹, аспирант, Л. В. Еникеева¹, ассистент, М. Ю. Возжаева^{1,2}, д. х. н., профессор, Е. А. Кантор¹, д. х. н., профессор,
¹Уфимский государственный нефтяной технический университет, 450062, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1,
²Муниципальное унитарное предприятие «Уфаводоканал», 450098, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Российская, 157/2,
 e-mail: hawk22.89@mail.ru

Проведён анализ временной изменчивости расхода и мутности воды в реке Уфа. Найдены статистические характеристики, описывающие особенности поведения указанных величин в неблагоприятные периоды (паводки): плотности распределения исследуемых параметров, вероятности появления неблагоприятных событий, связанных с ухудшением качества воды. Установлено, что для распределений вероятностей расходов воды и мутности характерны смещённые в сторону больших значений параметров, хвостовые части. Обнаружено, что неустойчивому состоянию реки Уфа, соответствуют расходы воды со значениями большими 450 м³/с. Плотность распределения расходов воды описывается степенной зависимостью $\rho_1(Q) = 98048Q^{-2.72}$, при уровне достоверности $R^2 = 0,84$. Неустойчивому состоянию реки соответствует мутность, значения которой превышают 10 мг/дм³. Степенная аппроксимация плотности распределения мутности $\rho_2(M) = 43,3M^{-2.22}$ имеет уровень достоверности $R^2 = 0,93$. Установлено, что вероятность появления неблагоприятных событий с повышенными значениями расходов воды составляет 80–93%, а для мутности – 75–88%. Определено, что в периоды паводка, с увеличением расхода воды наблюдается увеличение мутности, тогда как в области малых расходов воды (< 450 м³/с) мутность не зависит от расхода. Для оценки зависимости между мутностью и расходом воды сформировано уравнение, позволяющее рассчитать значения мутности в период паводка при значениях расхода воды, превышающих 450 м³/с.

Ключевые слова: водохранилище, расход воды, мутность, плотность распределения, вероятность распределения, квантили распределения.

Statistical characteristics of relationships between turbidity and water flow rate caused by releases of the water reservoir

A. V. Yalaletdinova¹, L. V. Enikeeva¹, M. Yu. Vozhdayeva^{1,2}, E. A. Kantor¹,
¹Ufa State Petroleum Technological University,
 1 Kosmonavtov St, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia, 450062,
²Municipal Unitary Enterprise “Ufavodokanal”,
 157/2 Rossiyskaya St., Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia, 450098,
 e-mail: hawk22.89@mail.ru

The temporal variability of water flow rate and turbidity in the Ufa River was estimated. To describe the changes in turbidity and water flow in adverse periods (like floods), such statistic characteristics as distribution density of water flow rate and turbidity and probability of occurrence of adverse events related to deterioration of water quality were found. It is determined that the tail portions of the distributions of the probabilities of water flow rate and turbidity are shifted toward larger values of the investigated parameters. It is detected that when the water flow rate exceeds 450 m³/s, it contributes to an unstable state in the Ufa River. The distribution density of water flow is well described by a power-law dependence $\rho_1(Q) = 98048Q^{-2.72}$ at a 84% coefficient of determination. Turbidity values exceeding 10 mg/dm³ conform to the unstable state of the river. Power-law approximation of the turbidity's density of distribution $\rho_2(M) = 43.3M^{-2.22}$ has a 93% coefficient of determination. It was established that the occurrence probability of adverse events with high water flow rate values is 80–93%. The occurrence probability of adverse events when turbidity has high values is 75–88%. It is determined that the increase in water flow rate during flood periods leads to an increase in turbidity. However, turbidity does not depend on water flow rate if its value is less than 450 m³/s. Assessment of the relationship between the turbidity and the water flow rate in the Ufa River gave possibility to derive an equation which allows calculating the turbidity values in the flood period when flow rates exceed 450 m³/s.

Keywords: water reservoir, water flow rate, turbidity, density of distribution, probability of distribution, quantiles of distribution.

Водоохранилища создаются, как правило, для энергоснабжения городских агломераций, характеризующихся высокой концентрацией промышленных объектов и зонами компактного проживания населения [1, 2]. Они играют существенную роль не только в экономике, но и в экологической обстановке региона. Так, водоохранилища формируют водный режим реки, аккумулируют до 95% твёрдого стока и загрязняющих веществ [3]. Эксплуатация водоохранилищ определяет значительные изменения в окружающей среде (заболачивание и подтопление земель, повышение уровня грунтовых вод, размыв русла рек, развитие процессов эвтрофикации водоёмов и др.), которые приводят к качественным изменениям воды в реках, зарегулированных водоохранилищами, изменяя их химический состав [4–10].

В регионах с высоким уровнем промышленности происходит постоянный рост населения, что, в свою очередь, приводит к увеличению потребления качественной питьевой воды. Водозаборы инфильтрационного типа не справляются с увеличивающейся нагрузкой, а это влечёт необходимость создания поверхностных водозаборов, являющихся наиболее производительными. Однако такие водозаборы более уязвимы, по сравнению с инфильтрационными. На поверхностные водозаборы оказывают влияние сезонные колебания характеристик речного стока, техногенные аварийные выбросы и др. Работа очистных сооружений, которые должны обеспечивать непрерывное снабжение населения водой надлежащего качества, значительно усложняется в периоды паводка. Так, с ростом расхода воды, в реке происходит ухудшение её качества по многим показателям [2, 11–15]. Одним из основных технологических параметров, используемых для анализа работы очистных сооружений водоподготовки, является мутность. Увеличение поверхностного стока с водосборной территории и размыв донных наносов приводят к увеличению взвеси с большим количеством загрязняющих веществ и микроорганизмов, в том числе и патогенных [16, 17]. Кроме того, повышение мутности приводит к ухудшению качества воды по таким показателям, как цветность, окисляемость, запах и др. [18–20]. Таким образом, расход воды, вызванный попусками водоохранилища, и мутность являются важными характеристиками речного стока. На основе прогноза мутности, полученного по величине интенсивности расхода, представляется возможным влиять на качество воды, в результате регулирования процесса

водоочистки, например, за счёт изменения доз коагулянта и флокулянта, времени отстаивания и так далее. Несмотря на то, что расход и мутность связаны между собой, количественные соотношения между этими параметрами в каждом конкретном случае, как правило, не известны.

Сезонное регулирование стока р. Уфа осуществляется Павловским водоохранилищем, а гидродинамический режим реки зависит от режима работы Павловской гидроэлектростанции (ПГЭС) [3]. Поверхностный водозабор (ПВ) расположен на р. Уфа ниже по течению от Павловского гидроузла. Режим работы гидроэлектростанции, во многом определяемый объёмами потребления городской агломерацией электроэнергии, воздействует на водопоток, что приводит к его существенным изменениям, по сравнению с естественными условиями. Это, в свою очередь, оказывает влияние на экологическую обстановку в регионе.

Целью работы было изучение изменений мутности в створе поверхностного водозабора, расположенного на р. Уфа, и поиск связи этих изменений с расходом воды в реке.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования послужили данные ежедневных наблюдений за качеством воды по мутности в створе поверхностного водозабора (ПВ) за 1997–2014 гг. и данные по ежедневному количеству сбрасываемой Павловской ГЭС в реку Уфа воды за 2011–2016 гг.

Статистическая обработка включает определение плотности распределения изучаемых величин (расхода воды в реке и показателей качества воды), вычисление вероятности появления неблагоприятных событий, связанных с ухудшением качества воды по исследуемому параметру и поиск зависимостей между мутностью воды и попусками водоохранилища [11, 12].

Определение плотности распределения анализируемых параметров за исследуемый период наблюдений произведено следующим образом:

- построение временных рядов величин расхода и мутности;
- разбиение на интервалы («карманы») определённой длины осей значений расходов (ΔQ) и мутности (ΔM);
- определение частоты попадания точек в i -й «карман» (N_i) для расходов и мутности;
- вычисление относительных частот в результате нормирования полученных в п. 3

значений, путём деления на общее число точек ($f_i = N_i/N$, $N = \sum N_i$);

– нахождение плотности распределения расходов $\rho_1(Q) = f_i/\Delta Q$ и мутности $\rho_2(M) = f_i/\Delta M$.

Вероятности появления неблагоприятных событий, связанных с ухудшением качества воды по исследуемым параметрам, оцениваются по значениям медленно спадающего хвоста плотностей распределений. Для этого производят обработку, описанную выше, а полученные в результате плотности распределения хвоста описывают степенной зависимостью:

$$\rho_1(Q) = A Q^{-1-\alpha} \quad (1)$$

$$\rho_2(M) = B M^{-1-\beta}, \quad (2)$$

где параметры α , β , A и B зависят от особенностей водоисточника [11, 12].

Прогнозирование возможных значений расходов и мутности осуществляют путём нахождения квантилей распределения (Q_p , M_p). Для этого вероятности распределения расходов воды в реке представляют как $F(Q)$, а мутности – как $F(M)$. В области хвоста распределения эта величина принимает вид $\bar{F}(Q) = 1 - F(Q)$ для расходов и $\bar{F}(M) = 1 - F(M)$ – для мутности. Таким образом, распределение параметров будет представлено уравнениями:

$$\bar{F}(Q) = A \alpha^{-1} Q^{-\alpha} \quad (3)$$

$$\bar{F}(M) = B \beta^{-1} M^{-\beta} \quad (4)$$

Величины Q_p и M_p определяются из соотношения $F(Q_p) = p$, $\bar{F}(Q_p) = 1 - p$, $F(M_p) = p$, $\bar{F}(M_p) = 1 - p$, где p – уровень обеспеченности ($0 < p < 1$), при условии, что вероятность $\bar{F}(Q_p)$ – это доля пребывания реки с расходом $Q > Q_p$, а вероятность $\bar{F}(M_p)$ – это доля пребывания реки с мутностью $M > M_p$:

$$Q_p = \left(\frac{A}{\alpha(1-p)} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (5)$$

$$M_p = \left(\frac{B}{\beta(1-p)} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (6)$$

Определение зависимости мутности воды в реке от расходов, вызванных попусками водохранилища, производится из условия, что расход воды и мутность – случайные величины с плотностями распределения $\rho_1(Q)$ и $\rho_2(M)$. Зависимость между величинами представляется в виде $M = f(Q)$, где $f(Q)$ – дифференцируемая и монотонно возрастающая на всём интервале изменения аргумента функция.

Согласно теореме о распределении значений функции случайной величины [12] выводится соотношение $\rho_2(M) = \rho_2(f(Q))$; $\rho_2(f(Q)) f'(Q) = \rho_1(Q)$, которое рассматривается как дифференциальное уравнение относительно неизвестной функции f : $V f^{1-\beta} f' = A Q^{-1-\alpha}$, $f = \left(C + \frac{\beta A}{\alpha B} Q^{-\alpha} \right)^{-\frac{1}{\beta}}$, где C – постоянная интегрирования.

Мутность и расход, таким образом, связываются соотношением:

$$M = \left(C + \frac{\beta A}{\alpha B} Q^{-\alpha} \right)^{-\frac{1}{\beta}}, \quad (7)$$

где параметр C определяет уровень плато, на которое выходит мутность с увеличением расхода, и вычисляется при $Q \rightarrow \infty$, $M \rightarrow C^{-\frac{1}{\beta}}$:

$$M_{max} = C^{-\frac{1}{\beta}} \quad (8)$$

Результаты и их обсуждение

Расход воды. Ледостав на реке Уфа начинается в конце октября – начале декабря, вскрытие – в апреле – начале мая. Преимущественное питание реки снеговое, поэтому основная доля стока приходится на весеннее половодье по сравнению с более слабыми дождевыми паводками осенью и сравнительно устойчивой зимней меженью.

За исследуемый шестилетний период пики половодья различной интенсивности наблюдаются в апреле– мае (рис. 1).

Максимальный годовой расход, равный 2898 м³/с, отмечен в апреле 2016 г. В 2011 г. годовой максимум попусков водохранилища пришёлся на май и составил 875 м³/с. В 2012 и 2013 гг. максимумы зафиксированы в апреле и равны 1156 и 1551 м³/с соответственно. Для 2014 и 2015 гг. максимальные расходы зарегистрированы в мае и составляют 2673 м³/с и 1956 м³/с.

Так, например, вскрытие реки Уфа в 2015 г. происходило в условиях затяжной весны, характеризующейся неустойчивым характером погоды с резкими колебаниями температуры воздуха. Из-за пассивного поступления талой воды в речную сеть разрушение ледяного покрова проходило постепенно в период с 2–16 апреля (на 2–6 дней раньше нормы). В результате дефицита осадков, сухой и солнечной погоды, установившейся в марте, происходило вымерзание влаги из снежного покрова, что привело к потере стока. Значительное влияние на формирование весеннего половодья реки Уфы оказали осадки в виде дождя. Макси-

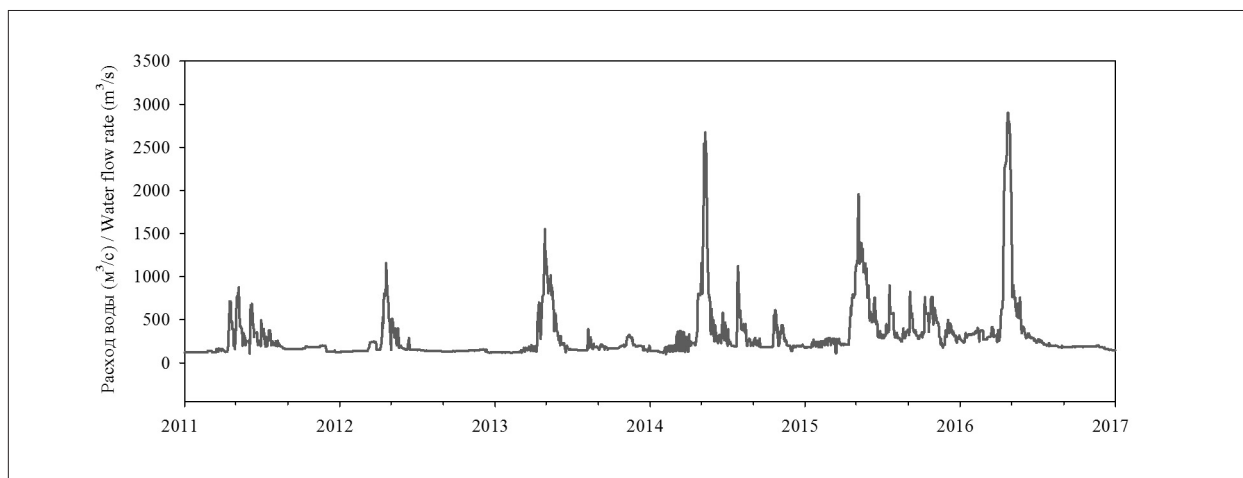


Рис. 1. Гидрограф расходов воды, проходящих через плотину Павловского водохранилища с 2011 по 2016 гг.
Fig. 1. Hydrograph of water flow rate through the dam of the Pavlovskoe reservoir from 2011 to 2016

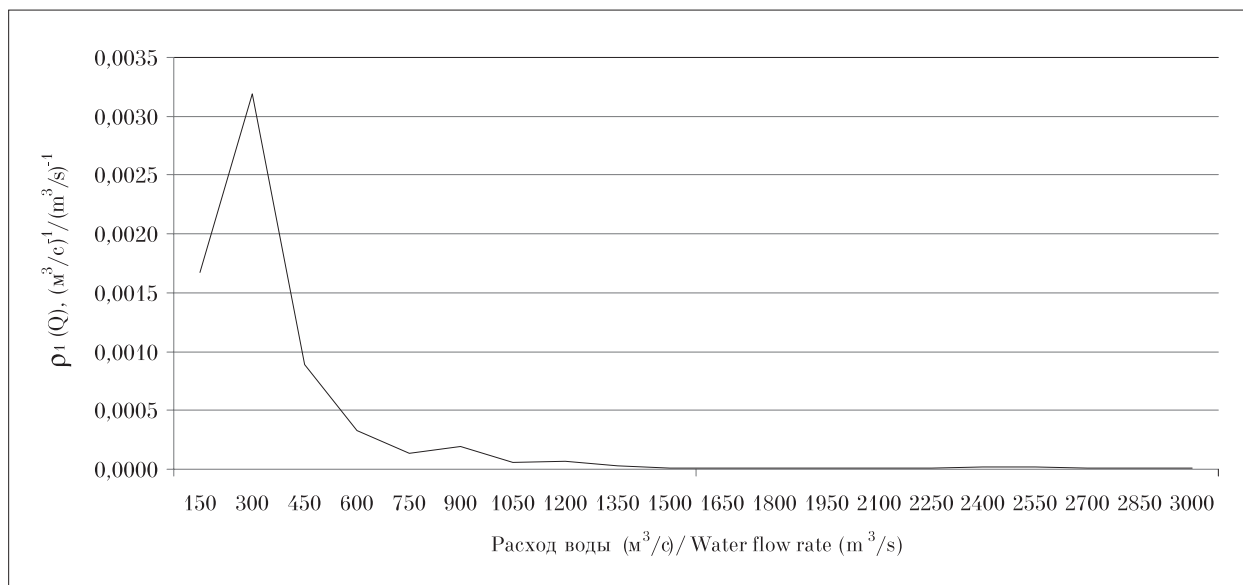


Рис. 2. Плотность распределения расходов воды в реке $\rho_1(Q)$, $(\text{m}^3/\text{c})^{-1}$
Fig. 2. The density of distribution of water flow rate in the river $\rho_1(Q)$, $(\text{m}^3/\text{s})^{-1}$

мальные уровни прошли с 27 апреля по 8 мая (отклонение от нормы составило от -4 до +10 дней) [21]. В то же время осенне-зимний период 2015–2016 гг. отмечался крайне неустойчивым характером погоды и значительными отклонениями паводкообразующих параметров от климатической нормы. По данным снегосъёмки 2016 г., запасы воды в снежном покрове близки к норме, но на 10–20% выше средних многолетних значений на весну. Вскрытие среднего и нижнего течения реки проходило со 2 по 9 апреля [22].

Плотность распределения расходов в реке (рис. 2) определялась из гидрографа, для этого ось расходов разбита на интервалы («карманы») длиной $\Delta Q = 150 \text{ м}^3/\text{с}$.

Максимальная плотность распределения расходов показывает, что наиболее вероятный расход приходится на $300 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 2), что сравнимо со средним расходом в реке Уфа, равным $304 \text{ м}^3/\text{с}$. Статистические характеристики распределения свидетельствуют об асимметрии распределения, а её величина, равная 3,2, указывает на смещение распределения в сторону больших расходов воды. Положительный эксцесс, равный 10,3, означает, что по сравнению с нормальным распределением, кривая имеет ярко выраженную остроконечность.

Расходы от $100\text{--}450 \text{ м}^3/\text{с}$ отмечаются наиболее часто. Распределение расходов имеет медленно спадающий, тяжёлый хвост при $Q > 450 \text{ м}^3/\text{с}$. Следует отметить, что большие

расходы воды в реке, которые характеризуют её неустойчивое состояние (паводок), попадают в хвост. Так как в интервале расходов от 450 до 2900 м³/с данных недостаточно, то для построения хвоста (рис. 3) взяты более крупные «карманы» $\Delta Q = 300$ м³/с.

Плотность распределения расходов воды при $Q = 450-2900$ м³/с описывается степенной зависимостью (1) и принимает вид $\rho_1(Q) = 98048Q^{-2.72}$ при уровне достоверности $R^2 = 0,84$. Параметры α и A для реки Уфа составляют 1,72 и 98048 соответственно.

Спрогнозировать возможные расходы в реке позволяют квантили распределения Q_p (5). В результате подстановки значений параметров получены расходы разного уровня обеспеченности: $Q_{0,8} = 1484$, $Q_{0,85} = 1754$, $Q_{0,9} = 2221$, $Q_{0,93} = 2732$ м³/с. Все они попадают в допустимый интервал расходов 450–2900 м³/с, где справедлива аппроксимация $\rho_1(Q) = 98048Q^{-2.72}$.

Мутность воды. Мутность определяется смывом органических и неорганических веществ с поверхности водосбора, а также продуктами эрозии речного русла [23, 24]. Несмотря на то, что в большинстве случаев значительный вклад в мутность вносят взвешенные вещества, смываемые с поверхности водосборного бассейна, с увеличением расхода воды в реке, вызванным попусками ПГЭС, происходит увеличение мутности. Это, очевидно, связано с тем, что находящийся на дне водохранилища ил с увеличением расхода в большей степени увлекается водой [3].

В реке Уфа мутность достигает максимальных значений в период весеннего паводка и достаточно быстро снижается за летние месяцы. Осенью, во время дождей, значения мутности незначительно возрастают, а наименьшие значения показателя отмечаются в зимний период (начиная с ледостава) (рис. 4).

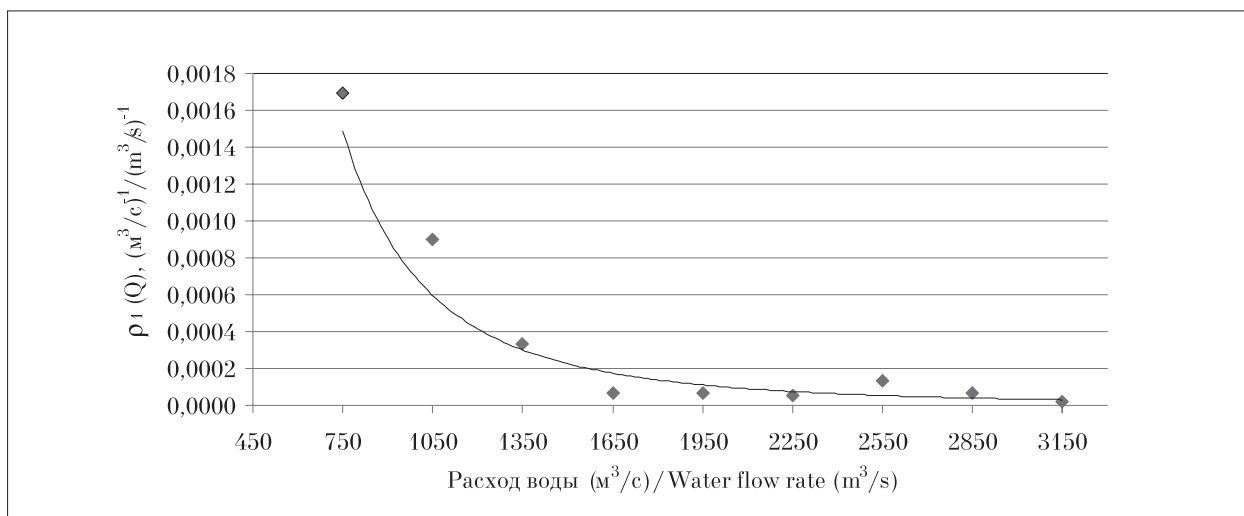


Рис. 3. Плотность распределения больших расходов воды в реке (хвост), $\rho_1(Q)$, (м³/с)⁻¹
Fig. 3. Density of distribution of a large water flow rate in the river (tail), $\rho_1(Q)$, (m³/s)⁻¹

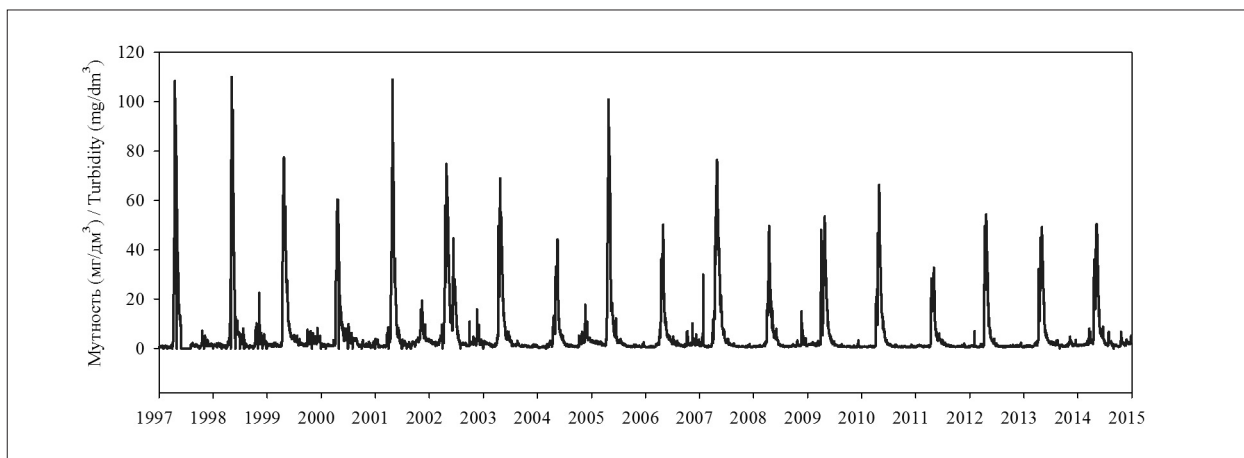


Рис. 4. Временной ряд ежедневных значений мутности воды в реке Уфа с 1997 по 2014 гг.
Fig. 4. Time series of daily values of turbidity in the Ufa river from 1997 to 2014

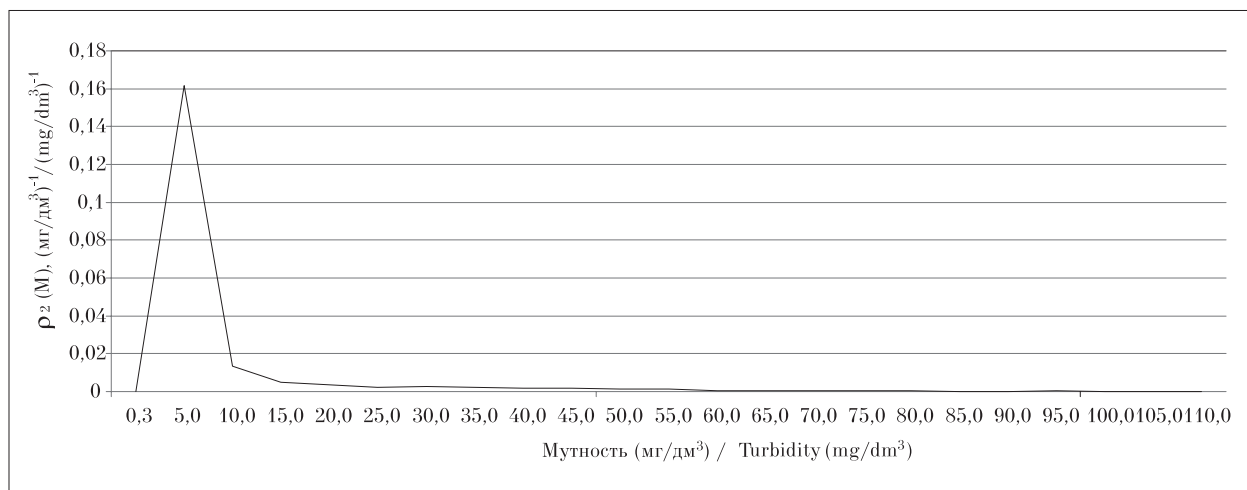


Рис. 5. Плотность распределения мутности воды в реке $\rho_2(M)$, $(\text{мг/дм}^3)^{-1}$
 Fig. 5. The density of distribution of water turbidity in the river $\rho_2(M)$, $(\text{mg/dm}^3)^{-1}$

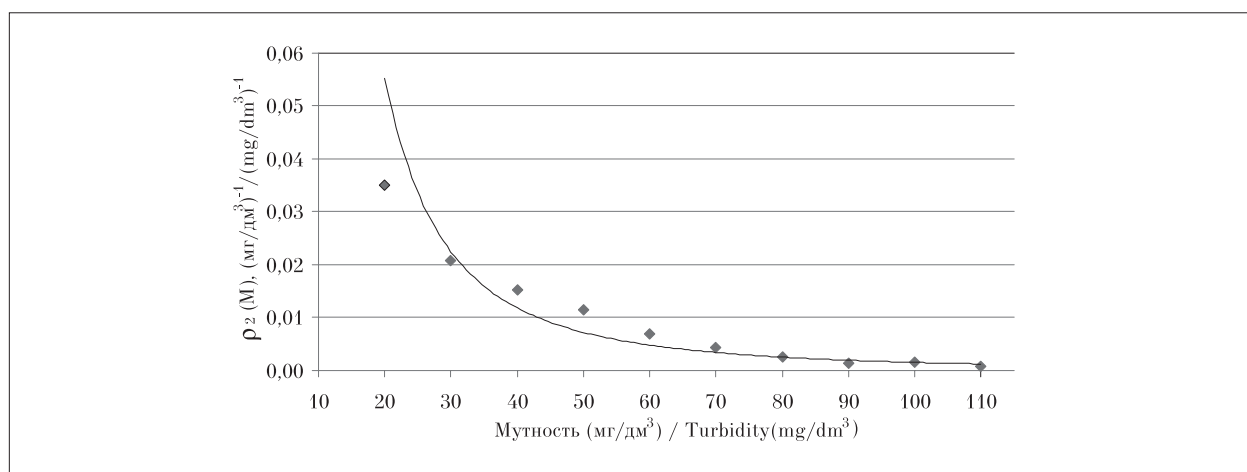


Рис. 6. Плотность распределения больших значений мутности воды в реке (хвост), $\rho_2(M)$, $(\text{мг/дм}^3)^{-1}$
 Fig. 6. Density of distribution of large turbidity values in the river (tail), $\rho_2(M)$, $(\text{mg/dm}^3)^{-1}$

Плотность распределения мутности (рис. 5) найдена путём нормирования частоты попадания значений показателя в карманы длиной $\Delta M = 5 \text{ мг/дм}^3$ каждый.

Максимум кривой плотности распределения достигается при мутности равной 5 (рис. 5), среднее значение мутности в реке составляет $5,8 \text{ мг/дм}^3$. Статистические характеристики распределения, асимметрия (4,7) и эксцесс (22,6), свидетельствуют о сильной асимметрии распределения по сравнению с нормальным.

Хвост начинается с 10 мг/дм^3 (рис. 5). Большие значения мутности воды в реке отмечаются весной, в период паводка. Вероятности больших значений мутности оценены по хвосту, для его построения использованы «карманы» $\Delta M = 10 \text{ мг/дм}^3$ (рис. 6).

Плотность распределения мутности при её значениях от 10 до 110 мг/дм^3 описывается

степенной зависимостью (2) и принимает вид $\rho_2(M) = 43,3M^{-2,22}$, при уровне достоверности $R^2 = 0,93$. Параметры β и B для реки Уфа составляют 1,22 и 43,3 соответственно.

Квантили распределения (6) позволили получить значения мутности разного уровня обеспеченности: $M_{0,75} = 58$, $M_{0,8} = 70$, $M_{0,85} = 88$, $M_{0,88} = 106 \text{ мг/дм}^3$. Все они попадают в допустимый интервал от 10 до 110 мг/дм^3 , где справедлива аппроксимация $\rho_2(M) = 43,3M^{-2,22}$.

Взаимосвязь мутности и расхода воды.

Для определения зависимости мутности воды в реке от расходов, вызванных попусками ПГЭС, будем исходить из условия, что расход воды и мутность – случайные величины с плотностями распределения $\rho_1(Q)$ и $\rho_2(M)$.

Согласно (7) и (8):

$$M = \left(C + \frac{1,22 \cdot 98048}{1,72 \cdot 43,3} Q^{-1,72} \right)^{\frac{1}{1,22}},$$

где C – постоянная интегрирования.

$$M_{\max} = C^{-\frac{1}{1,22}},$$

при $M_{\max} = 110 \text{ мг/дм}^3$, $C = 0,003$.

Таким образом, мутность и расход в реке Уфа связаны соотношением:

$$M = (0,003 + \frac{1,22 \cdot 98048}{1,72 \cdot 43,3} Q^{-1,72})^{-\frac{1}{1,22}} \quad (9)$$

Из истинных значений мутности выбрана исходная мутность ($M_{\text{ист.}}$), устанавливаемая в

реке в паводковый период 2011–2014 гг. при $Q > 450 \text{ м}^3/\text{с}$ ($M_{\text{ист.}} > 10 \text{ мг/дм}^3$), расчётные значения мутности ($M_{\text{расч.}}$) получены из соотношения (9) при условии, что $Q > 450 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 7).

Сравнение расчётных значений мутности с истинными значениями (рис. 7) показывает, что средняя погрешность прогноза составила 32%.

Паводок, относящийся к сезонным факторам, влияющим на изменение мутности воды в реке Уфа, сопровождается повышенными

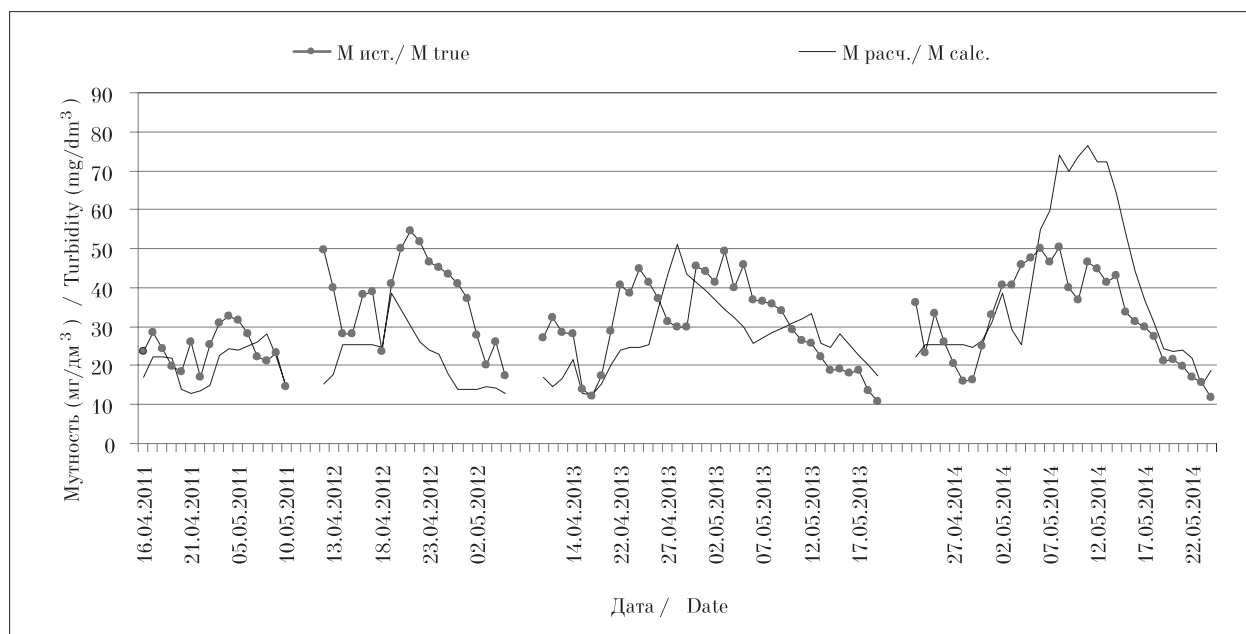


Рис. 7. Истинные ($M_{\text{ист.}}$) и расчётные ($M_{\text{расч.}}$) значения мутности воды в реке Уфа в паводковый период 2011–2014 гг. / Fig. 7. The true (M_{true}) and calculated ($M_{\text{calc.}}$) values of the turbidity of water in the Ufa River in the 2011–2014 flood period

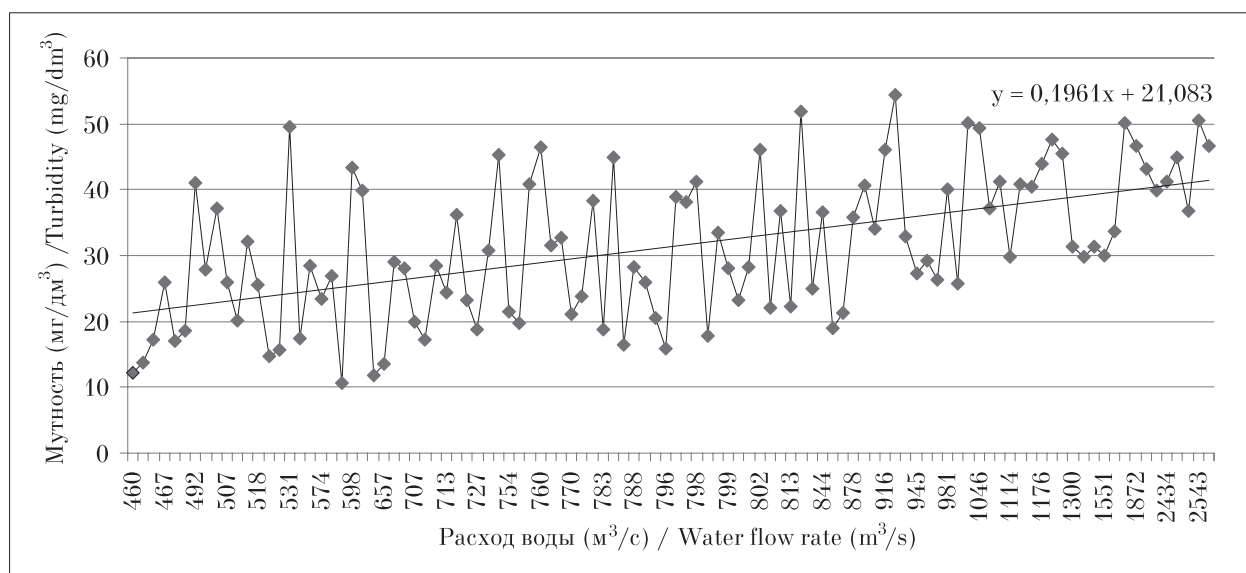


Рис. 8. Истинные значения мутности ($M_{\text{ист.}}$) воды в реке Уфа при $Q > 450 \text{ м}^3/\text{с}$ за 2011–2014 гг. / Fig. 8. The true values of the turbidity (M_{true}) of water in the Ufa River at water flow rate $> 450 \text{ м}^3/\text{с}$ for 2011–2014

значениями расходов воды (больше 450 м³/с) и мутности (больше 10 мг/дм³) (рис. 1, 4).

Коэффициент корреляции, позволяющий установить зависимости между величинами, описывает связь между расходами воды и $M_{ист.}$ как умеренную (по шкале Чеддока 0,3–0,5 [25]), и равен 0,48. Такая корреляция расходов с истинными значениями показателя связана с некоторыми неучтенными факторами, например, временем добегания воды от водохранилища до исследуемого створа, которое спрогнозировать довольно затруднительно, так как при различных значениях расхода, скорость добегания потока меняется. Следует отметить, что наблюдается тенденция увеличения истинной мутности с увеличением расхода воды (рис. 8).

Анализ временных рядов по мутности в створе ПВ показал, что наибольший вклад (от 69 до 74%) вносит сезонная величина, тогда как вклад случайной компоненты не превышает 25%. Для расходов воды значения компонент практически равны (сезонная от 47 до 48%, случайная от 41 до 43%).

Заключение

Хвостовые части распределений вероятностей (хвосты) расходов воды и мутности, образованные из-за смещения распределений от нормального, показывают, что неблагоприятным событиям в реке Уфа соответствуют расходы воды со значением, большим 450 м³/с, и мутность, превышающая 10 мг/дм³.

Хвостовые распределения расходов воды и мутности в реке Уфа описываются степенными зависимостями $\rho_1(Q) = 98048Q^{-2,72}$ и $\rho_2(M) = 43,3M^{-2,22}$ при больших уровнях достоверности (0,84 и 0,93 соответственно).

Квантили распределения, позволившие рассчитать значения расхода и мутности разной обеспеченности, показали, что вероятность неблагоприятных ситуаций, при которых параметры имеют повышенные значения, для расходов воды составляет 80–93%, а для мутности – 75–88%.

Показано, что мутность не зависит от расходов воды, когда их значения меньше 450 м³/с. В паводок, когда расходы воды достигают 450 м³/с, дальнейший рост их значений приводит к увеличению мутности в реке.

Получено уравнение:

$$M = (0,003 + \frac{1,22 \cdot 98048}{1,72 \cdot 43,3} Q^{-1,72})^{\frac{1}{1,22}}$$
, позволяющее спрогнозировать значения мутности в период паводка, с погрешностью прогноза, равной 32%.

Работа выполнена при поддержке гранта Республики Башкортостан молодым учёным и молодёжным научным коллективам в 2017 году № 5 (ГАН-02-17) «Роль Павловского водохранилища в формировании химического состава воды реки Уфа по некоторым показателям качества воды».

Литература

1. Branche E. The multipurpose water uses of hydro-power reservoir: The SHARE concept // Comptes Rendus Physique. 2017. V. 18. No. 7–8. P. 469–478.
2. 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.
3. Жигалова А.В. Системы «водохранилище – река» и роль Павловского водохранилища в формировании химического состава воды реки // Вестник молодого учёного УГНТУ. 2017. № 1(09). С. 30–35.
4. Веницианов Е.В. Проблемы управления и регулирования качества вод водных объектов России // Управление развитием крупномасштабных систем: Материалы Восьмой международной конференции. М., 2015. Т. II. С. 65–70.
5. Jeznach L.C., Hagemann M., Park Mi-Hyun, Tobiasson J.E. Proactive modeling of water quality impacts of extreme precipitation events in a drinking water reservoir // Journal of Environmental Management. 2017. V. 201. No. 10. P. 241–251.
6. Al-Nasrawia Ali K.M., Jonesa B.G., Alyazichia Y.M., Hamyltona S.M., Jameelb M.T., Hammadic A.F. Civil-GIS incorporated approach for water resource management in a developed catchment for urban-geomorphic sustainability: Tallowa Dam, southeastern Australia // International Soil and Water Conservation Research. 2016. V. 4. No. 4. P. 304–313.
7. Nilsson C., Reidy C. A., Dynesius M., Revenga C. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems // Science. 2005. V. 308. P. 405–408.
8. Humborg C., Ittekkot V., Cociasu A., Von Bodungen B. Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure // Nature. 1997. V. 386. No. 6623. P. 385–388.
9. Nilsson C., Berggren K. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation // BioScience. 2000. V. 50. No. 9. P. 783–792.
10. Jansson R., Nilsson C., Renofalt B. Fragmentation of riparian floras in rivers with multiple dams // Ecology. 2000. V. 81. No. 4. P. 899–903.
11. Долгоносков Б.М., Власов Д.Ю., Дятлов Д.В., Сурачева Н.О., Григорьева С.В., Корчагин К.А. Стати-

стические характеристики изменчивости качества воды, поступающей на водопроводную станцию // Инженерная экология. 2004. № 3. С. 2–20.

12. Dolgonosov B.M., Korchagin K.A. Statistical assessment of relationships between water flow in a river and water turbidity in water intakes // Water Resources. 2005. V. 32. No. 2. P. 175–182.

13. Jianguo C., Wenhao Z., Shanshan H., Gao Hu S. Influences of retrogressive erosion of reservoir on sedimentation of its downstream river channel – A case study on Sanmenxia Reservoir and the Lower Yellow River // International Journal of Sediment Research. 2017. V. 32. No. 3. P. 373–383.

14. Weber M., Rinke K., Hipsey M.R., Boehrer B. Optimizing withdrawal from drinking water reservoirs to reduce downstream temperature pollution and reservoir hypoxia // Journal of Environmental Management. 2017. V. 197. P. 96–105.

15. Wang Z., Xia J., Lib T., Denga S., Zhang J. An integrated model coupling open-channel flow, turbidity current and flow exchanges between main river and tributaries in Xiaolangdi Reservoir, China // Journal of Hydrology. 2016. V. 543. Part B. P. 548–561.

16. Zhang X. Water quality turbidity detection based on image recognition system design and implementation // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2016. V. 613. P. 63–70.

17. Dynesius M., Nilsson C. Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world // Science. 1994. V. 266. No. 5186. P. 753–762.

18. Gippel C.J. Potential of turbidity monitoring for measuring the transport of suspended solids in streams // Hydrological Processes. 1995. V. 9. No. 1. P. 83–97.

19. Lewis J. Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation // Water Resources Research. 1996. V. 32. No. 7. P. 2299–2310.

20. Zhang J., Wei Z., Jia H., Huang X. Factors influencing water quality indices in a typical urban river originated with reclaimed water // Frontiers of Environmental Science and Engineering. 2017. V. 11. No. 4. P. 8.

21. Уровни рек. Обзор прохождения весеннего половодья 2015 г [Электронный ресурс] <http://www.meteorb.ru/ravodok> (Дата обращения: 16.09.2017).

22. Прогноз циклических чрезвычайных ситуаций, обусловленных весенним снеготаянием, на территории Республики Башкортостан на 2016 год [Электронный ресурс] <http://ugzneft.ru> (Дата обращения: 16.09.2017).

23. Stenberg L., Tuukkanen T., Finer L., Marttila H., Piirainen S., Kløve B., Koivusalo H. Ditch erosion processes and sediment transport in a drained peatland forest // Ecological Engineering. 2015. V. 75. P. 421–433.

24. Gao P., Pasternack G.B., Bali K.M., Wallender W.W. Estimating suspended sediment concentration using turbidity in an irrigation-dominated Southeastern California watershed // Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 2008. V. 134. No. 2. P. 250–259.

25. Якушев А.А., Горбатков С.А., Габдрахманова Н.Т. Многомерные статистические методы и нейросетевые модели в экономическом анализе. Уфа: Издательский центр «Башкирский территориальный институт профессиональных бухгалтеров», 2001. 266 с.

References

1. Branche E. The multipurpose water uses of hydro-power reservoir: The SHARE concept // Comptes Rendus Physique. 2017. V. 18. No. 7–8. P. 469–478.

2. 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.

3. Zhigalova A.V. “Storage reservoir – river” systems and the role of Pavlovskoye storage reservoir in the formation chemical composition of the river water // Vestnik molodogo uchenogo UGNTU. 2017. No. 1 (09). P. 30–35 (in Russian).

4. Venitsianov E.V. Problems of water quality management and quality control in Russia // Management of the development of large-scale systems: Materialy Vosmoy mezhdunarodnoy konferentsii. Moskva, 2015. V. II. P. 65–70 (in Russian).

5. Jeznach L.C., Hagemann M., Park Mi-Hyun, Tobiasson J.E. Proactive modeling of water quality impacts of extreme precipitation events in a drinking water reservoir // Journal of Environmental Management. 2017. V. 201. No. 10. P. 244–251.

6. Al-Nasrawia Ali K.M., Jonesa B.G., Alyazichia Y.M., Hamyltona S.M., Jameelb M.T., Hammadic A.F. Civil-GIS incorporated approach for water resource management in a developed catchment for urban-geomorphic sustainability: Tallova Dam, southeastern Australia // International Soil and Water Conservation Research. 2016. V. 4. No. 4. P. 304–313.

7. Nilsson C., Reidy C. A., Dynesius M., Revenga C. Fragmentation and flow regulation of the world’s large river systems // Science. 2005. V. 308. P. 405–408.

8. Humborg C., Ittekkot V., Cociasu A., Von Bodungen B. Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure // Nature. 1997. V. 386. No. 6623. P. 385–388.

9. Nilsson C., Berggren K. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation // BioScience. 2000. V. 50. No. 9. P. 783–792.

10. Jansson R., Nilsson C., Renofalt B. Fragmentation of riparian floras in rivers with multiple dams // Ecology. 2000. V. 81. No. 4. P. 899–903.

11. Dolgonosov B.M., Vlasov D.Yu., Dyatlov D.V., Suracheva N.O., Grigoryeva S.V., Korchagin K.A. Statisti-

cal characteristics of the variability of water quality entering the waterworks // *Inzhenernaya ekologiya*. 2004. No. 3. P. 220 (in Russian).

12. Dolgonosov B.M., Korchagin K.A. Statistical assessment of relationships between water flow in a river and water turbidity in water intakes // *Water Resources*. 2005. V. 32. No. 2. P. 175–182.

13. Jianguo C., Wenhao Z., Shanshan H., Gaohu S. Influences of retrogressive erosion of reservoir on sedimentation of its downstream river channel – A case study on Sanmenxia Reservoir and the Lower Yellow River // *International Journal of Sediment Research*. 2017. V. 32. No. 3. P. 373–383.

14. Weber M., Rinke K., Hipsey M.R., Boehrer B. Optimizing withdrawal from drinking water reservoirs to reduce downstream temperature pollution and reservoir hypoxia // *Journal of Environmental Management*. 2017. V. 197. P. 96–105.

15. Wang Z., Xia J., Lib T., Denga S., Zhang J. An integrated model coupling open-channel flow, turbidity current and flow exchanges between main river and tributaries in Xiaolangdi Reservoir, China // *Journal of Hydrology*. 2016. V. 543. Part B. P. 548–561.

16. Zhang X. Water quality turbidity detection based on image recognition system design and implementation // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2016. V. 613. P. 63–70.

17. Dynesius M., Nilsson C. Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world // *Science*. 1994. V. 266. No. 5186. P. 753–762.

18. Gippel C.J. Potential of turbidity monitoring for measuring the transport of suspended solids in streams // *Hydrological Processes*. 1995. V. 9. No. 1. P. 83–97.

19. Lewis J. Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation // *Water Resources Research*. 1996. V. 32. No. 7. P. 2299–2310.

20. Zhang J., Wei Z., Jia H., Huang X. Factors influencing water quality indices in a typical urban river originated with reclaimed water // *Frontiers of Environmental Science and Engineering*. 2017. V. 11. No. 4. P. 8.

21. Levels of rivers. Review of the passage of the spring high water 2015 [Internet resource] <http://www.meteorb.ru/pavodok> (Accessed: 16.09.2017) (in Russian).

22. The forecast of cyclical emergency situations caused by spring snowmelt in the territory of the Republic of Bashkortostan for 2016 [Internet resource] <http://ugzneft.ru> (Accessed: 16.09.2017) (in Russian).

23. Stenberg L., Tuukkanen T., Finer L., Marttila H., Piirainen S., Kløve B., Koivusalo H. Ditch erosion processes and sediment transport in a drained peatland forest // *Ecological Engineering*. 2015. V. 75. P. 421–433.

24. Gao P., Pasternack G.B., Bali K.M., Wallender W.W. Estimating suspended sediment concentration using turbidity in an irrigation-dominated Southeastern California watershed // *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2008. V. 134. No. 2. P. 250–259.

25. Yakushev A.A., Gorbatkov S.A., Gabdrakhmanova N.T. Multivariate statistical methods and neural network models in economic analysis. Ufa: Izdatelskiy tsentr “Bashkirskiy territorialnyy institut professionalnykh bukhgalterov”, 2001. 266 p (in Russian).