

УДК 502.63

ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЧНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ р. МУХАВЕЦ

А. А. Волчек, М. А. Таратенкова

Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь

Рассматривается обеспеченность гидрохимических параметров для р. Мухавец в створе выше г. Бреста, таких как растворенный кислород, БПК₅, взвешенные вещества, общая минерализация, ХПК. Подобран закон распределения для данных параметров и выведено уравнение плотности вероятности.

Введение

Интенсификация антропогенного воздействия на водные ресурсы требует изменения к нормированию и методологическому подходу при определении количественных характеристик. Зачастую использование среднегодовых гидрохимических параметров не дает возможности адекватно оценить состояние водных экосистем.

При проектировании водохозяйственных, строительных и дорожных сооружений широко применяется критерий обеспеченности гидрологических величин. Данный показатель отражает вероятность превышения характеристики среди возможных ее значений. Чаще всего требуется определить гидрологическую характеристику заданной обеспеченности, что легко решается, если известен закон распределения данной величины. Однако на практике закон распределения чаще всего не известен. Что же касается определения обеспеченности гидрохимических величин, то упоминаний в литературе, не встречается. Поэтому исследование данного вопроса представляет практический интерес для инженерно-технических расчетов при водохозяйственном проектировании.

Цель работы – установление закона распределения обеспеченности гидрохимических показателей.

Методика и объекты исследования

При проведении исследований использовались данные Государственного водного кадастра (ГВК) Республики Беларусь с 2010 по 2019 г. В качестве исходного материала применялись временные ряды по р. Мухавец в створе выше г. Бреста по следующим гидрохимическим показателям: БПК₅, взвешенные вещества, общая минерализация, ХПК, растворенный кислород.

Эмпирическая обеспеченность определялась по формуле:

$$p = \frac{m}{(n+1)} 100\%, \quad (1)$$

где m – порядковый номер x в ранжированном ряду; n – длина ряда.

По перечисленным выше гидрохимическим показателям построены эмпирические кривые обеспеченности, по которым подобран закон распределения обеспеченности. Соответствие эмпирического закона распределения обеспеченности гидрохимических параметров осуществлялось для нормального распределения по критерию согласия χ^2 .

Река Мухавец является типичной рекой Полесья, испытывающей нагрузку антропогенного характера от урбанизированной территории. Ранее в нашей работе [1] исследован гидрохимический режим реки, а также найдены закономерности между такими параметрами, как общая минерализация и удельная электропроводность от расхода. По результатам исследования [2, 3] выявлено, что распределение плотности вероятностей некоторых показателей качества воды подчиняется двухпараметрическому логнормальному закону. В работе [4] исследована синхронность распределения гидрохимических параметров на р. Мухавец на створах 1,7 км ниже г. Кобрин и 0,8 км выше г. Бреста.

Результаты и их обсуждение

В работе выдвинута гипотеза о том, что математической моделью для описания динамики гидрохимических процессов может являться случайная величина, которая характеризуется неким законом распределения. Данный подход нашел широкое применение в гидрологии, климатологии и других естественных науках. Информация о применении методов для гидрохимических параметров в литературе отсутствуют.

Как уже было сказано выше, случайная величина (x) характеризуется законом распределения. Аналитически закон выражается функцией распределения, которая описывается в виде параметрического выражения. При такой записи для каждого значения случайной величины соответствующее значение функции распределения однозначно определяется параметрами аналитического выражения [5].

При определении закона распределения гидрохимических величин выбор типа функции распределения следует производить с учетом области изменения ее аргумента. Изменения величины гидрохимических параметров обычно превышают нуль и теоретически не ограничены верхним пределом.

При рассмотрении распределения некоторых гидрохимических параметров (рисунок 1) наблюдается определенная асимметричность, что и основывает предположение о логнормальном распределении.

Логнормальное распределение предполагает, что логарифм случайной величины ($z = \ln x$) распределен по нормальному закону. Интегральная функция распределения в этом случае имеет вид:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u \exp\left(-\frac{s^2}{2}\right) ds, & x > 0 \end{cases} \quad (2)$$



Рисунок 1. – Гистограмма распределения взвешенных веществ

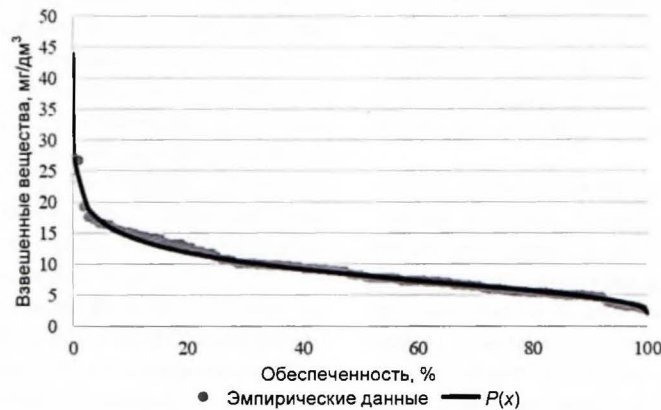


Рисунок 2. – График обеспеченности взвешенных веществ

$$u = \frac{(z - m_z)}{\sigma_z}, \quad (3)$$

где s – интегрированная переменная; m_z – математическое ожидание случайной величины z ; σ_z – среднеквадратическое отклонение случайной величины z .

Продифференцировав выражение (2), получаем функцию плотности вероятности логнормального распределения:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{1}{\sigma_z x} f(u) = \frac{1}{\sigma_z x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right), & x > 0 \end{cases} \quad (4)$$

По выражениям (2) и (3) видно, что закон распределения зависит от двух параметров: математического ожидания и среднеквадратического отклонения случайной величины.

Дисперсия, стандартное отклонение и математическое ожидание нормального распределения случайной величины и логнормального распределения связаны следующими соотношениями [5]:

$$D_z = \sigma_z^2 = \ln\left(\frac{\sigma_x^2}{m_x^2} + 1\right), \quad (5)$$

$$m_z = \ln(m_x) - \frac{\sigma_z^2}{2}. \quad (6)$$

Ряды наблюдений гидрохимических параметров имеют, как правило, ограниченную длину, что не позволяет определить значения максимальной

или большей обеспеченности. Для решения этой задачи построена аналитическая кривая распределения, которая логически определяет значение параметра любой обеспеченности. Кривые распределения обеспеченности построены для таких параметров, как БПК₅, взвешенные вещества, растворенный кислород, ХПК, общая минерализация. В качестве примера приведена кривая распределения для параметра взвешенные вещества (рисунок 2).

В таблице приведены уравнения плотности вероятности для распределения гидрохимических параметров, а также параметры логнормального распределения.

Таблица. – Параметры логнормального распределения

Показатель	Уравнение плотности вероятности логарифмически нормального распределения	Параметры логнормального распределения
БПК ₅	$f(x) = \frac{1}{0,73} \exp\left(-\frac{(\ln x - 0,29)^2}{0,87}\right)$	$m_z = 0,29$ $\sigma_z = 0,66$
Взвешенные вещества	$f(x) = \frac{1}{1,12} \exp\left(-\frac{(\ln x - 2,10)^2}{0,41}\right)$	$m_z = 2,10$ $\sigma_z = 0,45$
Минерализация	$f(x) = \frac{1}{0,28} \exp\left(-\frac{(\ln x - 5,82)^2}{0,02}\right)$	$m_z = 5,82$ $\sigma_z = 0,11$
Растворенный кислород	$f(x) = \frac{1}{0,55} \exp\left(-\frac{(\ln x - 2,14)^2}{0,10}\right)$	$m_z = 2,14$ $\sigma_z = 0,22$

Окончание таблицы

Показатель	Уравнение плотности вероятности логарифмически нормального распределения	Параметры логнормального распределения
pH	$f(x) = \frac{1}{0,06} \exp\left(-\frac{(\ln x - 2,04)^2}{0,01}\right)$	$m_z = 2,04$ $\sigma_z = 0,03$
ХПК	$f(x) = \frac{1}{0,37} \exp\left(-\frac{(\ln x - 3,75)^2}{0,06}\right)$	$m_z = 3,75$ $\sigma_z = 0,18$

Выводы

В результате исследований был выявлен тот факт, что распределение обеспеченности гидрохимических величин, таких как БПК₅, взвешенные вещества, растворенный кислород, ХПК и общая минерализация, подчиняются логнормальному закону распределения. Это позволяет определять эти параметры с заданной обеспеченностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волчек, А. А. Характеристика качества поверхностных вод Брестской области / А. А. Волчек, М. А. Таратенкова // Материалы Междунар. конф., посвящ. 145-летию УП «Минскводоканал» : в 2 ч. – Минск, 2019. – Ч. 2. – С. 32–36.
2. Волчек, А. А. Статистическое моделирование изменения макроионного состава рек на примере реки Мухавец / А. А. Волчек, М. А. Таратенкова // Сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., приурочен к 1000-летию города Бреста «Актуальные проблемы наук о Земле исследования трансграничных регионов» : в 2 ч. – Брест, 2019. – Ч. 2. – С. 6–10.
3. Волчек, А. А. Моделирование гидрохимических показателей качества реки Мухавец // А. А. Волчек, М. А. Таратенкова // Сб. материалов рег. науч.-практ. конф., приурочен к 50-летию кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов «Перспективные методы очистки природных и сточных вод». – Брест, 2019. – С. 18–23.
4. Волчек, А. А. Оценка асинхронности гидрохимических параметров / А. А. Волчек, М. А. Таратенкова // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. / сост. Л. С. Новопольцева ; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар, 2020. – С. 401–404.
5. Сикан, А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации / А. В. Сикан. – СПб. : РГГМУ, 2007. – 279 с.

**AVAILABILITY OF HYDROCHEMICAL PARAMETERS OF RIVER WATERS ON THE EXAMPLE OF THE MUKHAVETS RIVER
VOLCHAK A., TARATSENKAVA M.**

The article considers the availability of hydrochemical parameters for the Mukhavets river in the range above Brest, such as dissolved oxygen, BOC₅, suspended solids, total mineralization, COD. The distribution law for these parameters is selected and the probability density equation is derived.