

Бакуменко Ю. С.
аспирант,
Подлипенская Л. Е.
к.т.н., доцент

Донбасский государственный технический институт, г. Алчевск, ЛНР

ПОСТРОЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Водная проблема является одной из самых значительных среди экологических проблем современности. Главные ее черты — это дефицитность водных ресурсов, пригодных для использования, неудовлетворительное качество воды ввиду высокой загрязненности и нерациональное использование воды человеком. Все эти проблемы наблюдаются на территории Донбасса — поверхностные воды малочисленны и сильно загрязнены, в то время как потребность у населения в воде соответствующего качества велика и в настоящее время в значительной степени не удовлетворена. Для повышения экологической безопасности в области использования и охраны водных объектов необходимо регулярно осуществлять наблюдения за экологическим состоянием водоемов и водотоков. Особенно актуален мониторинг водных объектов в промышленных центрах с высокой техногенной нагрузкой на окружающую среду.

Для оценки качества поверхностных вод используются разные критерии и показатели, которые определяются, прежде всего, назначением водного объекта, его значимостью в системе водопользования и состоянием как природного ресурса [1, 2]. В экологическом мониторинге водных объектов в качестве одного из основных критериев используется показатель концентрации растворенного кислорода (Р. К.), который характеризует кислородный режим водоема и имеет важнейшее значение для оценки его экологического и санитарного состояния.

Прогнозирование экологического состояния водоема требует предварительного изучения и создания математической модели на основе временных рядов его показателей, в частности, концентрации Р. К. Однако, при мониторинге многих водных объектов ЛНР временные ряды показателя Р. К. характеризуются недостаточной регулярностью, что не позволяет создавать адекватные математические модели, прогнозировать и оперативно реагировать на изменившуюся на водоемах ситуацию. Поэтому актуальной задачей является выявление таких показателей качества поверхностных вод, которые имея достаточную регулярность их измерения, были бы индикаторами изменения растворенного кислорода в воде.

Цель работы — выявление статистических связей между концентрациями растворенного кислорода и другими показателями качества поверхностных вод и построение математических моделей.

Объект исследования — поверхностные воды Исаковского водохранилища, являющегося самым крупным водоемом ЛНР и подвергающегося на всем протяжении своего существования длительному антропогенному воздействию. Имеет многоцелевое назначение, в том числе обеспечение питьевой водой Филиала № 1 «Алчевский металлургический комбинат» ООО «ЮГМК» и других предприятий города Алчевска.

Методика и материалы исследования. В данной работе использовались результаты анализов воды Исаковского водохранилища за 2014–2021 гг., полученные в химико-бактериологической лаборатории СП «Аквасервис» Филиала № 1 «Алчевский металлургический комбинат» ООО «ЮГМК». Данные имели суточную периодичность, за исключением некоторых показателей, в том числе показателя концентрации растворенного кислорода, который определялся 1 раз в месяц. Всего для первичного статистического анализа рассматривалось 35 показателей качества воды. Обработка и анализ данных производились с помощью методов математической статистики в программах Excel и Statistica.

Основные результаты. Для достижения поставленной цели проведен статистический анализ на основании исходной базы данных (35 показателей, с объемом выборки каждого из них 96 наблюдений). Решались следующие задачи:

1. Первичная обработка статистических данных — определение основных статистических характеристик для каждого показателя, интервалов варьирования их значений, законов распределения и установление предельных нормативных значений с учетом направления использования водного объекта.

2. Корреляционный анализ показателей. В результате из 35 показателей отобраны 4 показателя, связанных значимой корреляционной связью с концентрацией растворенного кислорода (показатель У): X1 — хлорпоглощаемость, мг АХ/дм³; X2 — водородный показатель; X3 — температура воды (°С) в точке отбора пробы; X4 — численность водорослей, ед./см³. Проведенный анализ подтверждает предположение о согласованном поведении показателей У и X2 (по фазе), У и X1, X3, X4 (в противофазе).

3. Выделение сезонных компонент. Анализ показателей У, X1–X4 методом сезонной декомпозиции показал наличие сезонных компонент у показателей У, X1, X3 (рис. 1) с годовой цикличностью (период равен 12 месяцев).

Сезонная цикличность показателей качества воды также подтверждается результатами автокорреляционного анализа. На рисунке 2 показан график автокорреляционной функции для растворенного кислорода, которая была определена путем расчета коэффициентов парной корреляции между исходным временным рядом и рядом, полученным из него путем сдвига на определенный лаг k (измеряется в месяцах). Значительный коэффициент автокорреляции с лагом 1 свидетельствует о наличии тренда во временном ряду показателя растворенного кислорода. В то же время наибольшего значения автокорреляционная функция достигает при лаге k = 12. Следовательно во временном ряду исследуемого показателя наблюдается цикличность с периодом 12 месяцев, которая диагностируется как сезонная компонента.

4. Построение модели множественной регрессии. Среди различных моделей множественной линейной регрессии наилучшей оказалась модель с уравнением:

$$Y = 3,2318 \cdot x_2 - 0,855 \cdot x_1 - 0,2864 \cdot x_3 - 13,4714. \quad (1)$$

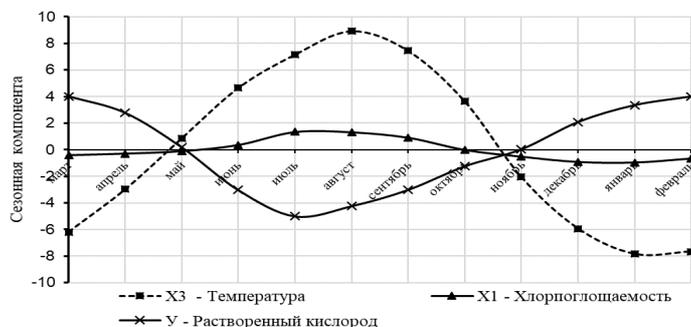


Рисунок 1 — Сезонные компоненты показателей качества воды

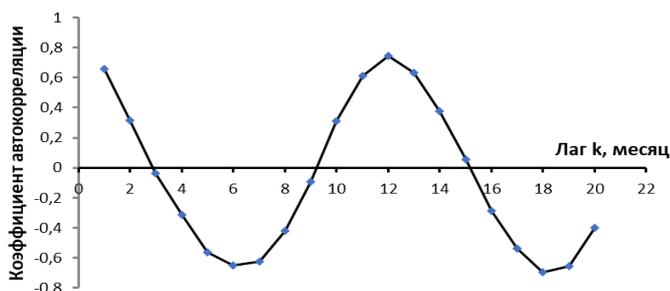


Рисунок 2 — Автокорреляционная функция показателя растворенного кислорода

Адекватность модели установлена с помощью критерия Фишера. Коэффициент множественной корреляции $R=0,811$ говорит об удовлетворительном качестве модели, все параметры регрессии значимы (значимость ошибки $\alpha \leq 0,04$). Динамика изменения растворенного кислорода с 2014 по 2021 гг. представлена на рисунке 3, где сплошной линией показан график изменения растворенного кислорода по фактическим данным, а пунктирной линией — по расчетным данным модели (1).

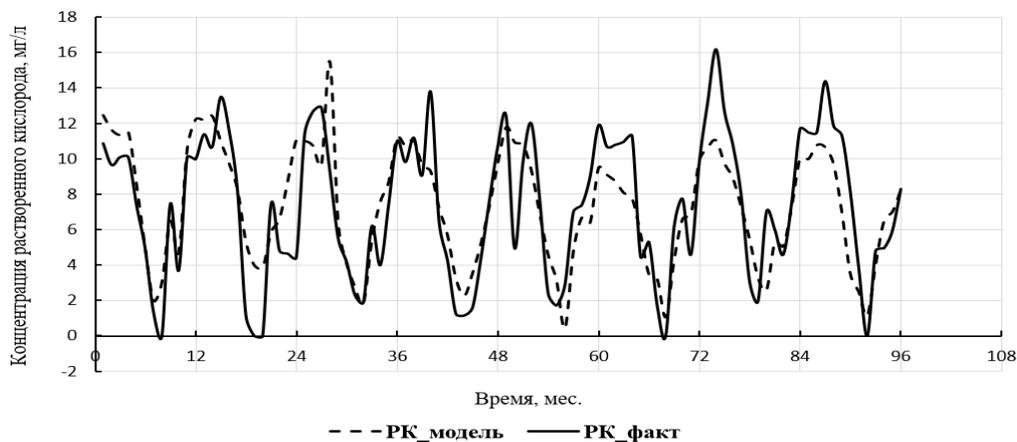


Рисунок 3 — Динамика изменения растворенного кислорода в воде Исаковского водохранилища с 2014 по 2021 гг.

Анализ результатов моделирования показывает, что в целом модель (1) правильно описывает динамику изменения концентрации растворенного кислорода. Ошибка неправильной классификации неблагоприятной экологической ситуации, когда фактическая концентрация растворенного кислорода оказывается ниже необходимого уровня, в то время как по модели прогнозируется удовлетворительная экологическая ситуация, составляет 3,8 %.

Выводы. Установленная зависимость показателя растворенного кислорода от влияющих на него факторов, а также выявленные сезонные компоненты позволяют при достаточно ограниченном наборе факторов прогнозировать изменения кислородного режима поверхностных вод водоема, и в случае их значительного ухудшения — своевременно планировать природоохранные мероприятия.

Список литературы

1. Бакуменко, Ю. С. Оценка качества вод Исаковского водохранилища как альтернативного источника водоснабжения населения / Ю. С. Бакуменко, Л. Е. Подлипенская // Инновационные перспективы Донбасса : материалы 4-й международной научно-практической конференции. — Донецк, 2018. — С. 120–124.
2. Федорова, В. С. Оценка качества поверхностных вод водоемов как объектов рекреации / В. С. Федорова, Ю. С. Бакуменко // Экологический вестник Донбасса. — Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2021. — Вып. 2. — С. 17–27.