

А.М. Оснач, Б.Г. Скакальский

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ
ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК
ПОД ВЛИЯНИЕМ УРБАНИЗАЦИИ**

A.M. Osnach, B.G. Skakalsky

**THE STATISTICAL ANALYSIS OF CHANGE
IN THE HYDROCHEMICAL RIVER REGIME
UNDER THE URBANIZATION INFLUENCE**

В настоящей статье предложен коэффициент детерминации для оценки антропогенного воздействия на качество речных вод. На основе этого коэффициента выполнена типизация рек по запасу устойчивости к антропогенному загрязнению.

Ключевые слова: антропогенное загрязнение, показатели качества воды, корреляционный анализ, поверхностные воды, урбанизация, коэффициент детерминации.

In present article the coefficient of determination for the estimation of anthropogenic impact on river water quality is offered. On the base of this coefficient the classification of the rivers on the sustainability reserve against the anthropogenic pollution is carried out.

Key words: anthropogenic pollution, water quality indices, correlation analysis, surface water, urbanization, coefficient of determination.

Качество поверхностных вод водотоков, протекающих по урбанизированной территории, определяется взаимодействующим влиянием естественных и антропогенных факторов. Одной из актуальных проблем современной гидрологии является оценка степени воздействия городов на естественный гидрохимический режим рек [Скакальский].

В настоящей работе использованы регрессионный и корреляционный анализы с целью установления взаимосвязей между гидрохимическими параметрами в двух створах, расположенных выше и ниже по течению относительно городской территории, и выявления характерных особенностей поведения гидрохимических показателей внутри пунктов наблюдения. В статье рассматриваются результаты исследований:

– по сбору и обработке гидрохимической информации по 42 створам 17 рек России, Украины и Белоруссии за период 1984–1987 гг.;

– изучению корреляционных зависимостей между параметрами качества воды в двух створах в пределах городской территории с помощью коэффициента детерминации R^2 ;

– поиску регрессионных зависимостей для прогнозирования качества воды в нижнем створе по уравнению регрессии;

– выявлению степени воздействия урбанизированной территории на изменение качества поверхностных вод.

Таблица 1 (файл Таблица на с. 95)

Анализ полученной корреляционной матрицы (табл. 1) связей между параметрами качества воды в двух створах, расположенных выше и ниже по течению относительно территории города, позволяет выявить те реки, на гидрохимическом режиме которых в большей степени сказывается хозяйственная деятельность.

Изучение корреляционных зависимостей в работе ведется с помощью коэффициента детерминации R^2 , который равен квадрату коэффициента корреляции r [Коэффициент детерминации]. Коэффициент детерминации часто более предпочтителен, чем коэффициент корреляции, так как его можно использовать для количественного определения характеристики, связывающей две переменные. Значение R^2 дает пропорцию общего изменения переменной (Y), которую можно объяснить изменением переменной (X).

Так, высокое значение коэффициента детерминации R^2 свидетельствует в пользу природного генезиса водного стока. Ситуация, когда $R^2 = 1$ подразумевает, что изменения показателя качества воды в нижнем створе на 100% вызваны изменениями этого показателя в верхнем створе, и не зависят от влияния сточных вод с урбанизированной территории. По мере нарастания антропогенного воздействия, связь между показателями качества ослабевает, а значение R^2 уменьшается, что говорит о существенной величине антропогенной составляющей в суммарном стоке рассматриваемого элемента.

Порядок расположения пунктов в таблице дан в ранжированном порядке по возрастанию коэффициента водообеспеченности $K_{\text{вод}}$ от 1 (р. Урал – г. Магнитогорск) до 455 (р. Бия – г. Бийск). Коэффициент $K_{\text{вод}}$ рассчитывается для анализа степени антропогенного воздействия урбанизированной территории на водоток, как отношение местных водных ресурсов W (м^3) к количеству населения N , проживающему в городе [Список городов России]:

$$K_{\text{вод}} = W/N \text{ (м}^3\text{/чел.)}$$

Корреляционный анализ по всем пунктам наблюдения выявляет общую направленность уменьшения значения R^2 для органических веществ. Данные анализа обнаруживают существенное антропогенное воздействие на сток нефтепродуктов, фенолов. Коэффициент детерминации R^2 варьирует по этим показателям от 0, редко достигая больших значений для некоторых городов с высокими значениями $K_{\text{вод}}$ (г. Краснодар $K_{\text{вод}} = 62$, г. Новосибирск $K_{\text{вод}} = 112$).

Отсутствие связи характерно и для показателя БПК₅, по которому коэффициент детерминации только в г. Благовещенск ($K_{\text{вод}} = 320$) достигает высокой величины $R^2 = 0,89$, а для других пунктов значение R^2 остается достаточно низким. Похожая ситуация с высоким антропогенным влиянием на качество вод и по показателю бихроматной окисляемости (БО), где максимальное значение $R^2 = 0,80$ достигает только на р. Томь в г. Новокузнецке ($K_{\text{вод}} = 160$).

Таким образом, для этих показателей группы органических веществ можно говорить об утрате корреляционной связи в результате существенного воздействия антропогенных факторов.

Однако, если рассматривать органические вещества, не столь существенно антропогенное поступление взвешенных веществ; для этого параметра наблюдается высокая корреляционная связь и низкие значения R^2 только по трем пунктам (г. Бийск, г. Новосибирск, г. Куйбышев).

По данным анализа можно судить о минимальном антропогенном влиянии на сток большинства главных ионов. Установленная жесткая (почти функциональная) связь свидетельствует о превалировании природного генезиса в пробах HCO_3^- и минерализации воды $\sum u$. Незначительная доля антропогенной составляющей и в стоке ионов Cl^- , SO_4^{2-} и CO_2 .

Что касается ионов Ca^{2+} , коэффициент детерминации R^2 варьирует от слабого до значимого в зависимости от коэффициента водообеспеченности территории $K_{\text{вод}}$. Так для пунктов с высоким коэффициентом $K_{\text{вод}}$, R^2 достигает значений от 0,96 до 0,99, то есть для этих пунктов антропогенная доля в стоке иона Ca^{2+} составляет всего от 1–4%.

Данные корреляционного анализа обнаруживают незначительное антропогенное воздействие на содержание растворенного кислорода O_2 для некоторых пунктов. Так, например, содержание O_2 в нижнем створе для р. Днепр – г. Киев ($R^2 = 0,94$), р. Кубань – г. Краснодар ($R^2 = 0,91$), р. Десна – г. Чернигов ($R^2 = 0,90$) и пунктов с $K_{\text{вод}} \geq 160$, на 90–94 % зависит от содержания O_2 в верхнем створе.

Среди биогенных компонентов наибольший антропогенный вклад вносится в содержание минерального фосфора $P_{\text{мин}}$, аммонийного NH_4^+ и нитратного азота NO_3^- . Напротив, для таких показателей как железо $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и кремний Si обнаруживается уменьшение антропогенного влияния. Так, сток железа $\text{Fe}_{\text{общ}}$ для пунктов с $K_{\text{вод}} \geq 18$ на 50–96% определяется содержанием $\text{Fe}_{\text{общ}}$ в верхнем створе, кроме пункта р. Ока – г. Калуга, где $R^2 = 0,26$.

Таким образом, среди показателей качества воды, на которых в большей степени сказывается антропогенная деятельность, нужно выделить такие параметры как фенолы, нефтепродукты, БПК₅, БО, $P_{\text{мин}}$, ионы NH_4^+ и NO_3^- . Напротив, к показателям качества воды, на сток которых в меньшей степени влияет урбанизация, относятся HCO_3^- , $\sum u$, Cl^- , $\text{Fe}_{\text{общ}}$.

Следует выделить те пункты, для которых свойственно минимальное антропогенное воздействие на качество внутренних водотоков. В этих пунктах для большинства показателей качество регрессионной аппроксимации достаточно хорошее. К таким пунктам из числа изученных относятся р. Белая – г. Благовещенск, р. Обь – г. Барнаул, р. Днепр – г. Смоленск, р. Омь – г. Куйбышев.

Напротив, наиболее подвержены антропогенному влиянию р. Воронеж – г. Липецк ($K_{\text{вод}} = 14$), р. Цна – г. Тамбов ($K_{\text{вод}} = 13$), р. Сура – г. Пенза ($K_{\text{вод}} = 17$), р. Десна – г. Брянск ($K_{\text{вод}} = 18$). Надо отметить, что для этих пунктов характерно одинаково низкое значение коэффициента водообеспеченности $K_{\text{вод}}$.

Таким образом, при статистическом анализе представляется обоснованным ранжирование пунктов наблюдения по коэффициенту водообеспеченности $K_{\text{вод}}$. Так, для пунктов с $K_{\text{вод}} \geq 117$ по большинству показателей качества воды, в том числе и для органических веществ, следует отметить заметное уменьшение антропогенного влияния на их сток. Предложенный метод корреляционного анализа изменения качества речных вод с помощью коэффициента детерминации может служить одним из объективных способов оценки влияния урбанизации на речной сток.

Литература

1. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши. Т. 1 (29). Вып. 2, 5, 7, 23. 1986. Бассейны Белого, Балтийского, Черного и Каспийского морей. – Л.: Гидрометеиздат, 1987.
2. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши. Т. 1 (31). Вып. 25, 11, 24. 1984. Бассейны Камы, Иртыша, Урала. Уральское территориальное управление по гидрометеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1985.
3. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши. Т. 1 (30). Вып. 1. 1987. Северо-Кавказское территориальное управление по гидрометеорологии. – Ростов-на-Дону, 1988.
4. Скакальский Б.Г. Антропогенные изменения химического состава воды и донных отложений в загрязняемых водных объектах: Дисс. ... д-ра геогр. наук. – СПб., 1997. – 68 с.
5. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/649228> «Коэффициент детерминации».
<http://ru.wikipedia.org> «Список городов России с населением больше 100 000 человек».