

фракционный и вещественный состав пыли. Для конвейерных выработок и выработок с распределенными источниками пылеобразования необходимо экспериментальное определение коэффициентов корреляции массы оседающей пыли от концентрации пылевого аэрозоля.

Библиографический список

1. **Аварийность** и противоаварийная защита предприятий угольной промышленности / Информ. бюлл.- М: ЦШ ВГСЧ Минэнерго РФ, 1998-2003.
2. **Правила безопасности** в угольных шахтах / Кн.3: Инструкции по борьбе с пылью и пылевзрывозащите. - Липецк: Липецкое изд-во, 1999.-109с.

© С.Б.Романченко, Г.А.Поздняков, К.Лебецки, И.Мруз 2004

УДК 504.453

ГОЛУБЕВА Л.Г. (ДонНТУ)

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕК ТЕХНОГЕННО РАЗВИТЫХ РЕГИОНОВ В СИСТЕМЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Изложены результаты научных исследований динамики качества воды водотоков промышленно развитых регионов на примере реки Кальмиус. Описанные методы и процедуры моделирования предлагается использовать для прогнозирования и оценки динамики гидрохимических показателей состояния водных объектов в региональной системе мониторинга.

Современная антропогенная нагрузка на речные водные объекты промышленно развитых регионов по многим показателям превышает допустимый уровень и нуждается в строгом контроле. Анализ современного экологического состояния бассейнов рек Украины показал, что, помимо наднормативного загрязнения водоисточников, одной из важнейших проблем является отсутствие эффективной системы мониторинга состояния водных объектов (особенно в области оценки, анализа и прогноза) и, как следствие, недееспособность системы управления их качеством.

Водные ресурсы Донецкой области формируются за счет транзитного притока поверхностных вод, в основном по реке Северский Донец из Харьковской области, местного речного стока, сточных, шахтных и карьерных вод, а также эксплуатационных запасов подземных вод. Экстенсивный характер использования водных ресурсов во всех областях народного хозяйства предопределяет значительное напряжение в водоснабжении области. Вода всех рек области отличается высокой концентрацией солей. Одной из основных причин этого является сброс в природные водные объекты высокоминерализованных шахтно-рудничных вод, с которыми в водоемы и водотоки Донецкой области попадает около 1 млн. т солей в год. Основными загрязнителями водных объектов являются предприятия металлургической и горнодобывающей отраслей промышленности.

Большинство существующих моделей качества речной воды предполагают использование для их идентификации дополнительной информации [1 - 2], получение которой сопряжено со значительными трудностями для государственных субъектов мониторинга. В этом плане использование системного анализа совместно со статистическими методами часто является оправданным при прогнозе состояния водных объектов со сходными гидрологическими характеристиками [3]. В настоящее время не существует эффективных методов экологической оценки качества воды водотоков с высокой антропогенной нагрузкой, в основу которых положен комплексный подход, при котором оценки проводятся по ряду динамически изменяющихся показателей загрязнения.

Исследования динамики качества воды рек бассейна р. Кальмиус проводились на основе данных государственных субъектов мониторинга. База данных включала информацию о загрязнении водных объектов в среднем по 17 показателям на 17 постах с 1992 по 2003 г. Общий объем информации составил около 50 тыс. замеров. Используя сортировку и выборку данных, были сформированы 17 файлов в виде двумерных массивов 148x17, состоящих из временных рядов показателей загрязнения воды.

При анализе динамики главных ионов установлено, что содержание анионов (хлориды, сульфаты, фосфаты) в воде р. Кальмиус проявляет сходную динамику изменения во времени (рис. 1), которая может быть описана моделью авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего вида АРПСС (1,1,1):

$$\Delta x_{15(1)} = 0,5369x_{t-1} + \varepsilon_t - 0,8736\varepsilon_{t-1},$$

$$\Delta x_{14(1)} = 0,3888\phi_1 x_{t-1} + \varepsilon_t - 0,8536\varepsilon_{t-1},$$

$$\Delta x_{12(1)} = 0,2863x_{t-1} + \varepsilon_t - 0,7467\varepsilon_{t-1},$$

где $\Delta x_{15(1)}$, $\Delta x_{14(1)}$ и $\Delta x_{12(1)}$ - первые разности значений концентрации хлоридов, фосфатов и сульфатов соответственно в первой точке.

В нижнем течении реки (точка 2) структура моделей у части ионов (хлориды, фосфаты) сохраняется.

$$\Delta x_{15(2)} = 0,4416x_{t-1} + \varepsilon_t - 0,888\varepsilon_{t-1},$$

$$\Delta x_{14(2)} = 0,5948x_{t-1} + \varepsilon_t - 0,9269\varepsilon_{t-1},$$

где $\Delta x_{15(2)}$ и $\Delta x_{14(2)}$ - первые разности значений концентрации хлоридов и фосфатов во второй точке (выше г. Мариуполь) соответственно.

Исключение составляют сульфаты, динамика которых описывается в нижнем течении моделью вида $(2,1,0)Ч(1,0,0)_8$ с тремя параметрами авторегрессии. Третий параметр (сезонный) отражает периодичность с лагом 8 месяцев, что может быть вызвано изменениями сбросов сточных вод:

$$\Delta x_{12(2)} = -0,3234x_{t-1} - 0,1966x_{t-2} - 0,2164x_{t-8} + \varepsilon_t,$$

$\Delta x_{12(2)}$ - первые разности значений концентрации сульфатов во второй точке.

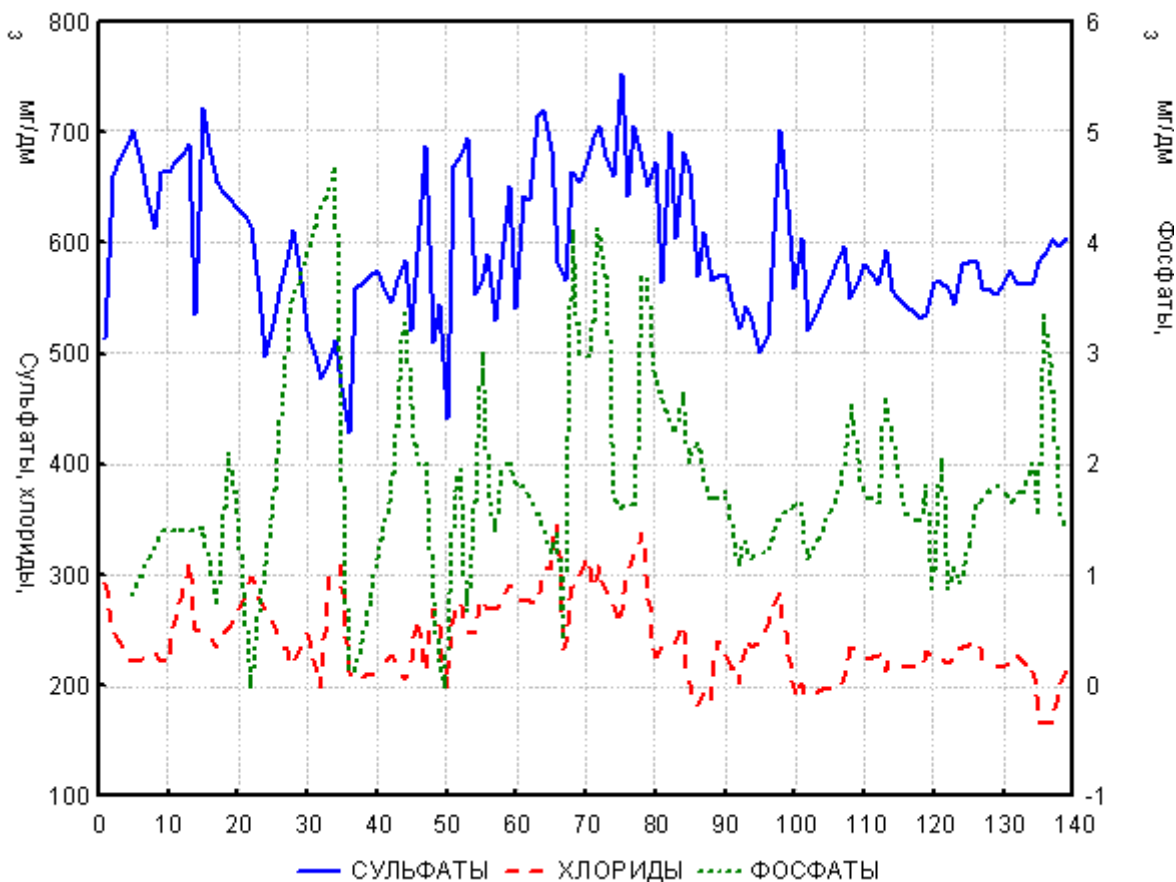


Рис. 1. Изменение содержания анионов в воде р. Кальмиус ниже г. Донецка (1992 – 2003 гг.).

Анализ динамики изменения концентрации катионов (магний, кальций) показал, что изменение концентрации магния характеризуется моделью авторегрессии (2,0,0) по всей длине водотока с постоянными параметрами авторегрессии, а изменение содержания кальция моделируется мультипликативной моделью с сезонной составляющей вида АРПСС (0,0,2)Ч(1,0,0)₁₂:

$$x_{7(1)} = 0,7542x_{t-1} + 0,2355x_{t-2} + \varepsilon_t,$$

$$x_{7(2)} = 0,7325x_{t-1} + 0,2608x_{t-2} + \varepsilon_t,$$

где $x_{7(1)}$ и $x_{7(2)}$ - значения концентрации магния в первой и второй точках соответственно.

$$x_{6(1)} = \varepsilon_t - 0,2434\varepsilon_{t-1} - 0,3145\varepsilon_{t-2} + 0,1748\varepsilon_{t-12}.$$

$$x_{6(2)} = \varepsilon_t - 0,4427\varepsilon_{t-1} - 0,2865\varepsilon_{t-2} - 0,2880\varepsilon_{t-12},$$

где $x_{6(1)}$ и $x_{6(2)}$ - значения концентрации кальция в первой и второй точках соответственно.

В группе биогенных элементов динамика концентрации солей аммония описывается моделями авторегрессии не выше второго порядка:

$$x_{1(1)} - x_{t-1} = -0,5485x_{t-1} - 0,3364x_{t-2} + \varepsilon_t,$$

$$x_{1(2)} = 0,7319 + 0,7886x_{t-1} + \varepsilon_t,$$

где $x_{1(1)}$ и $x_{1(2)}$ - значения концентрации аммоний-ионов в первой и второй точках соответственно.

Здесь функция воздействия может моделироваться распределением со средними параметрами $a = 0,0034$; $\delta = 0,3438$. Параметры модели экстраполируются линейно по длине водотока.

Изменение концентрации нитрат-ионов определяется авторегрессионной моделью не выше первого порядка с явно выраженной нестационарностью в виде линейного тренда; в нижнем течении реки наблюдается также сезонность в виде авторегрессии, отражаемой мультипликативной моделью вида АР (1,0,0)Ч(1,0,0)₁₂:

$$x_{9(1)} = 0,6172x_{t-1} + \varepsilon_t + (17,69 + 0,201 \cdot t),$$

$$x_{9(2)} = 0,8592x_{t-1} + 0,2957x_{t-12} + \varepsilon_t + (1,65 + 0,209 \cdot t),$$

где $x_{9(1)}$ и $x_{9(2)}$ - значения концентрации нитрат-ионов в первой и второй точках соответственно.

Динамика концентраций нитритов отражает сезонность по всей длине водотока, прогнозируемую функцией авторегрессии с постоянным по длине водотока параметром авторегрессии, общая модель динамики представляется мультипликативной моделью вида АРПСС (1,1,1)Ч(1,0,0)₆:

$$x_{10(1)} - x_{t-1} = 0,2928x_{t-6} + \varepsilon_t - 0,5953\varepsilon_{t-1},$$

$$x_{10(2)} = 0,2674 + 0,6927x_{t-1} + 0,2984x_{t-6} + \varepsilon_t,$$

где $x_{10(1)}$ и $x_{10(2)}$ - значения концентрации нитрит-ионов в первой и второй точках соответственно.

Содержание общего железа в верховьях реки моделируется уравнением АР (1,0,0), а в нижнем течении – моделью АРПСС (1,1,1)Ч(1,0,0)₁₂ с годовой периодичностью.

$$x_{4(1)} = 0,0865 + 0,8408x_{t-1} + \varepsilon_t,$$

$$x_{4(2)} - x_{t-1} = 0,6586x_{t-1} - 0,2687x_{t-12} + \varepsilon_t - 0,8912\varepsilon_{t-1},$$

где $x_{4(1)}$ и $x_{4(2)}$ - значения концентрации общего железа в первой и второй точках соответственно.

В группе интегральных показателей изменение содержания взвешенных веществ в верховьях характеризуется уравнением АРПСС вида $(1,1,2)Ч(1,0,0)_{12}$, а в низовьях - уравнением АРПСС $(1,1,1)$:

$$\begin{aligned}x_{3(1)} - x_{t-1} &= 0,2586x_{t-2} + \varepsilon_t - 0,3334\varepsilon_{t-1} - 0,4459\varepsilon_{t-2}, \\x_{3(2)} - x_{t-1} &= 0,5766x_{t-1} + \varepsilon_t - 0,9087\varepsilon_{t-1},\end{aligned}$$

где $x_{3(1)}$ и $x_{3(2)}$ - значения содержания взвешенных веществ в первой и второй точках соответственно.

Динамика изменения щелочности описывается функцией АРПСС $(1,1,1)$:

$$\begin{aligned}\Delta x_{16(1)} &= 0,6275x_{t-1} + \varepsilon_t - 0,9301\varepsilon_{t-1}, \\ \Delta x_{16(2)} &= 0,3578x_{t-1} - 0,8967\varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t,\end{aligned}$$

где $x_{16(1)}$ и $x_{16(2)}$ - значения щелочности в первой и второй точках соответственно.

Показатели кислородного баланса и окислительно-восстановительных условий (рН и содержание растворенного кислорода) описываются моделью АРПСС не выше порядка $(2,1,1)$:

$$\begin{aligned}x_{17(1)} &= 0,9995x_{t-1} + \varepsilon_t, \\x_{17(2)} - x_{t-1} &= 0,3990 + \varepsilon_t, \\ \Delta x_{11(1)} &= 0,4361x_{t-1} + \varepsilon_t - 0,9604\varepsilon_{t-1}, \\ \Delta x_{11(2)} &= -0,4412x_{t-1} - 0,2476x_{t-2} - 0,3613x_{t-7} + \varepsilon_t,\end{aligned}$$

где $x_{17(1)}$ и $x_{17(2)}$ - значения рН в первой и второй точках соответственно, $x_{11(1)}$ и $x_{11(2)}$ - значения концентрации растворенного кислорода в первой и второй точках соответственно.

Содержание нефтепродуктов описывается моделью не выше порядка АРПСС $(1,1,1)$:

$$\begin{aligned}x_{8(1)} &= 13255 + 0,6818x_{t-1} + \varepsilon_t + 0,2604\varepsilon_{t-1}, \\x_{8(2)} - x_{t-1} &= \varepsilon_t - 0,3436\varepsilon_{t-1},\end{aligned}$$

где $x_{8(1)}$ и $x_{8(2)}$ - значения концентрации нефтепродуктов в первой и второй точках соответственно.

В группе общего солесодержания динамика изменения количества сухого остатка характеризуется уравнением авторегрессии не выше первого порядка АР $(1,1,0)$:

$$\begin{aligned}x_{13(1)} - x_{t-1} &= -0,2752x_{t-1} + \varepsilon_t, \\x_{13(2)} - x_{t-1} &= -0,2405x_{t-1} + \varepsilon_t,\end{aligned}$$

где $x_{13(1)}$ и $x_{13(2)}$ - значения количества сухого остатка в первой и второй точках соответственно.

Показатели окислительно-восстановительных условий – БПК-5 и щелочность воды описывается следующими моделями. Для показателя БПК-5 установлены зависимости вида:

$$\begin{aligned}x_{2(1)} &= 0,7192x_{t-1} - 0,3539x_{t-2} + \varepsilon_t + 0,7371\varepsilon_{t-1}, \\x_{2(2)} - x_{t-1} &= 0,5214x_{t-1} + \varepsilon_t - 0,9722\varepsilon_{t-1},\end{aligned}$$

где $x_{2(1)}$ и $x_{2(2)}$ - значения БПК-5 в первой и второй точках соответственно.

Динамика изменения жесткости воды в верхнем течении характеризуется функцией вида АРПСС (1,0,1), а в нижнем – ПСС (0,1,1):

$$x_{5(1)} = 13255 + 0,6818x_{t-1} + \varepsilon_t + 0,2604\varepsilon_{t-1},$$

$$x_{5(2)} - x_{t-1} = \varepsilon_t - 0,3436\varepsilon_{t-1},$$

где $x_{5(1)}$ и $x_{5(2)}$ - значения жесткости воды в первой и второй точках соответственно.

В результате проведенных исследований предложен стохастический метод краткосрочного прогноза качества воды в речных водных объектах с высокой антропогенной нагрузкой, отличающийся использованием совокупности математических моделей динамики изменения концентрации загрязняющих веществ, представляющих собой передаточные функции, основанные на применении линейного фильтра и фильтра авторегрессии.

В основе прогнозирования лежит создание выборочной траектории смешанного процесса авторегрессии и скользящего среднего вида:

$$x_{i(z)}(t) = a_0 + p_1 x_{i(z)}(t-1) + p_2 x_{i(z)}(t-2) + \varepsilon(t) - q_1 \varepsilon(t-1) - q_2 \varepsilon(t-2) + p_S x_{i(z)}(t-S) - Q_S \varepsilon(t-S) \quad (1)$$

где z – длина водотока; i – индекс показателя загрязнения; ε_t - функция воздействия; S – сезонный лаг; t – время.

Функция воздействия ε_t генерируется в виде значений независимых стандартных нормальных величин со средним a и среднеквадратичным отклонением σ . Общая модель вида (1) представляет собой сумму передаточных функций, использующих линейный фильтр, фильтр авторегрессии и нестационарный периодический фильтр.

В результате проведенных исследований предложен стохастический метод краткосрочного прогноза качества воды в речных водных объектах с высокой антропогенной нагрузкой, отличающийся использованием совокупности математических моделей динамики изменения концентрации загрязняющих веществ, представляющих собой передаточные функции, основанные на применении линейного фильтра и фильтра авторегрессии. Случайное воздействие имитируется для каждого показателя качества воды в виде нормально распределенной случайной величины с заданным средним и дисперсией, которые задаются в виде постоянных величин или экстраполируются линейными зависимостями по длине водотока.

Общий алгоритм прогноза параметров $x_{i(z)}$ на k шагов вперед для системы моделей (1) представлен на рис. 2.

На основе приведенного алгоритма были проведены прогнозные расчеты по оценке уровня антропогенного загрязнения реки Кальмиус [4].

На основе приведенного алгоритма были проведены прогнозные расчеты по оценке уровня антропогенного загрязнения реки Кальмиус. Для проверки адекватности моделей прогноз проводился для различных участков временных рядов с упреждением не более 1/3 длины взятого исходного ряда. Временные ряды показателей загрязнения за период с 1992 по 2003 гг. разбивались на участки по 30 - 40 непрерывных замеров. Данные участки являлись основой для осуществления прогноза на год вперед (12 замеров). Полученный прогноз сравнивался с имеющимися данными, которые занесены в базу данных показателей контроля загрязнения р. Кальмиус. Выполненные оценки показали, что разработанный стохастический метод прогноза достаточно достоверен и может быть использован для оценки антропогенного загрязнения на краткосрочные периоды 6-12 месяцев.

Описанные методы и процедуры моделирования и прогнозирования качества воды рек предлагается использовать для прогнозирования и оценки динамики гидрохимических показателей состояния водных объектов в региональной системе мониторинга вод.

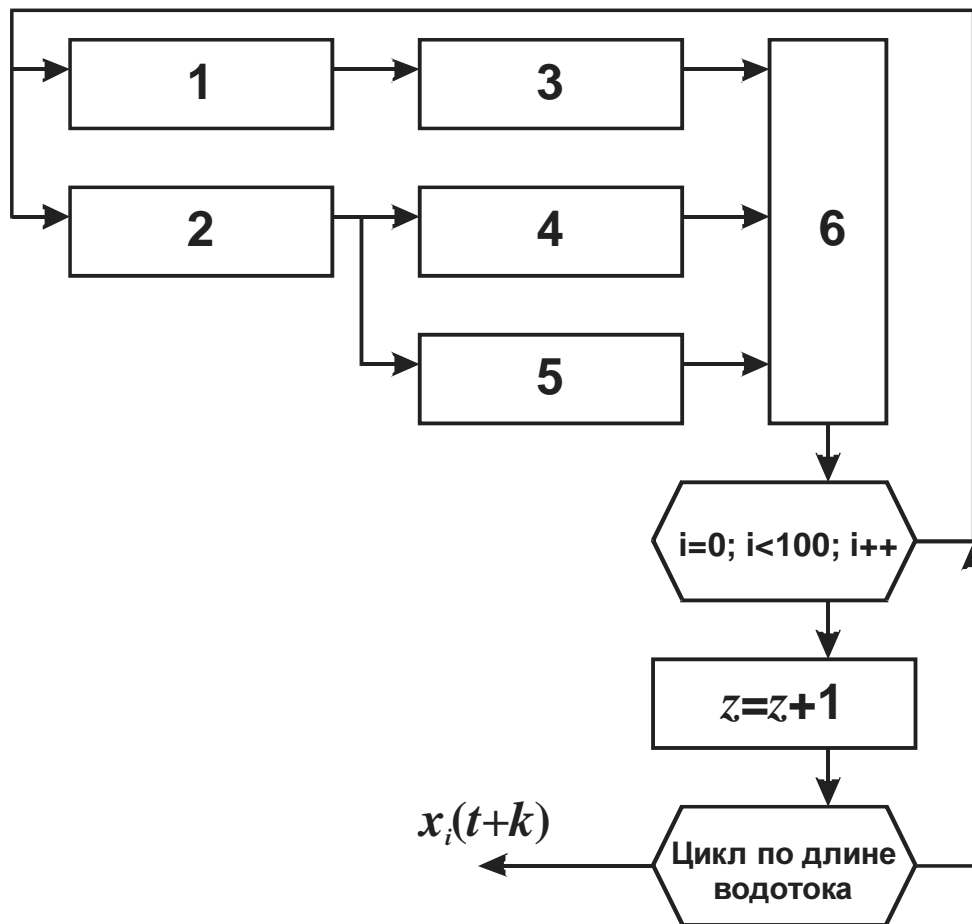


Рис. 2. Стохастический алгоритм прогноза показателей качества воды при антропогенном загрязнении речных водных объектов: 1 – генератор случайных чисел в виде нормального распределения с заданным средним и дисперсией для i -го параметра; 2 – запись в массив показателей загрязнения по данным замеров на k шагов назад во времени; 3 – линейный фильтр вида $\varepsilon(t) - q_1\varepsilon(t-1) - q_2\varepsilon(t-2)$; 4 – фильтр авторегрессии вида $a_0 + p_1x_{i(z)}(t-1) + p_2x_{i(z)}(t-2)$; 5 – нестационарный периодический фильтр вида $P_Sx_{i(z)}(t-S) - Q_S\varepsilon(t-S)$; 6 – общий фильтр суммирования.

Библиографический список

1. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. – К.: Ніка-Центр, 2001. – 264 с.
2. Яцик А.В. Водогосподарська екологія: у 4 т., 7 кн. — К.: Генеза, 2004. — Т. 2, кн. 3 – 4. – 384 с.
3. Пропозиції щодо створення системи моніторингу довкілля промислового регіону (на прикладі Донецької області). Держуправління екології та природних ресурсів в Донецькій області. ДонНТУ. – Донецьк, 2003. – 40 с.
4. Голубева Л.Г. Мониторинг качества водных ресурсов техногенно развитых регионов с применением статистических методов моделирования // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. М.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2004. – Вып. 48. - С. 222 – 227.

© Голубева Л.Г. 2004