

Трикозюк С. А. Решение задач подачи и распределения воды в водопроводных сетях при нечетких исходных данных // Вестник гражданских инженеров: научно-технический журнал. – 2007. – № 1(10). – С. 68–71.

6. Карамбиров С. Н., Трикозюк С. А. Реализация генетического алгоритма для оптимизации водохозяйственных систем // Природообустройство: научно-практический журнал. – 2009. – № 5. – С. 69–74.

7. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / В. В. Корнеев [и др.] – М.: Изд-во Нолидж, 2001. – 496 с.

8. Сумароков С. В. Математическое моделирование систем водоснабжения. – Новосибирск: Наука, 1983. – 167 с.

9. Кикачейшвили Г. Е. Расчет оптимальных параметров систем подачи и распределения воды. – Тбилиси: Сабчота Сапартвело, 1980. – 199 с.

Материал поступил в редакцию 11.04.14.

*Карамбиров Сергей Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Вычислительная техника и прикладная математика»*

*Тел. 8 (499) 153-97-66, 8 (499) 152-49-60*

*Бекишева Лаура Борисовна, аспирантка*

*Тел. 8-909-948-51-73*

УДК 502.656

**В. Н. МАРКИН**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»  
Институт природообустройства имени А. Н. Костякова

## РАНЖИРОВАНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БАССЕЙНА РЕКИ ИРТЫШ

*Рассмотрены вопросы использования метода ранжирования данных о загрязненности водных объектов для определения набора водоохраных мероприятий, позволяющих достичь требуемого класса качества воды.*

*Ранжирование, качество воды, водоохраные мероприятия.*

*There are considered the the questions of a data ranging method on water bodies pollution aiming at choosing a package of water protection measures allowing achieving the required class of water quality.*

*Ranging, water quality, water protection measures.*

Ранжирование – сортировка характеристик объекта по схожести на основе задаваемого признака. Ранжирование загрязненности водных объектов позволяет районировать их при проведении водоохраных мероприятий.

Загрязненность водных объектов удобно отражать с помощью комплексных показателей качества воды (задаваемый признак), например коэффициента предельной загрязненности  $K_{пз}$  [1]. Физический смысл  $K_{пз}$  – усредненная кратность превышения нормативов качества воды:

$$K_{пз} = \frac{1}{N} \cdot \sum_i^T \frac{C_i - ПДК_i}{ПДК_i - C_{pi}}, \quad (1)$$

где  $i$  – номер загрязняющего воду вещества;  $C_i$ ,  $ПДК_i$ ,  $C_{pi}$  – соответственно фактическая, предельно допустимая и фоновая концентрация  $i$ -го вещества.

Если загруженность речного фона не превышает 10 ( $C_{pi}/ПДК_i \leq 10$ ), что хорошо соответствует естественным условиям, то вместо формулы (1) можно использовать выражение (2):

$$K_{пз} = \frac{1}{N} \cdot \sum_i^N \frac{C_i}{ПДК_i} - 11. \quad (2)$$

В данном виде теоретически полученное выражение коэффициента предельной загрязненности воды соответствует широко применяемому на практике индексу загрязнения воды (ИЗВ). Это дает возможность оценить качество речной воды на основе действующей классификации, разработанной для ИЗВ. Кроме того, не требуется получение исходной информации о естественном гидрохимическом фоне, а ошибка расчетов

параметра не превышает 10 %.

Ранжирование загрязненности вод делается фасетным методом кластерного анализа, который подразумевает разделение объектов на независимые классификационные группировки, в данном

случае по классам качества воды (табл. 1). Определение принадлежности каждого объекта к той или иной группе осуществляется путем сравнения значений признака с границами выделенных групп.

Таблица 1

**Классификация качества воды по коэффициенту предельной загрязненности**

$K_{пз}$	$\leq -0,8$	$-0,8...0$	$0...1$	$1...3$	$3...5$	$>5$
Класс	Очень чистая	Чистая	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная	Очень грязная

В работе сделано ранжирование загрязненности водных объектов бассейна Иртыша. Коэффициенты предельной

загрязненности определены по данным, полученным в 30 створах на реке Иртыш и ее притоках (рис. 1) [2].

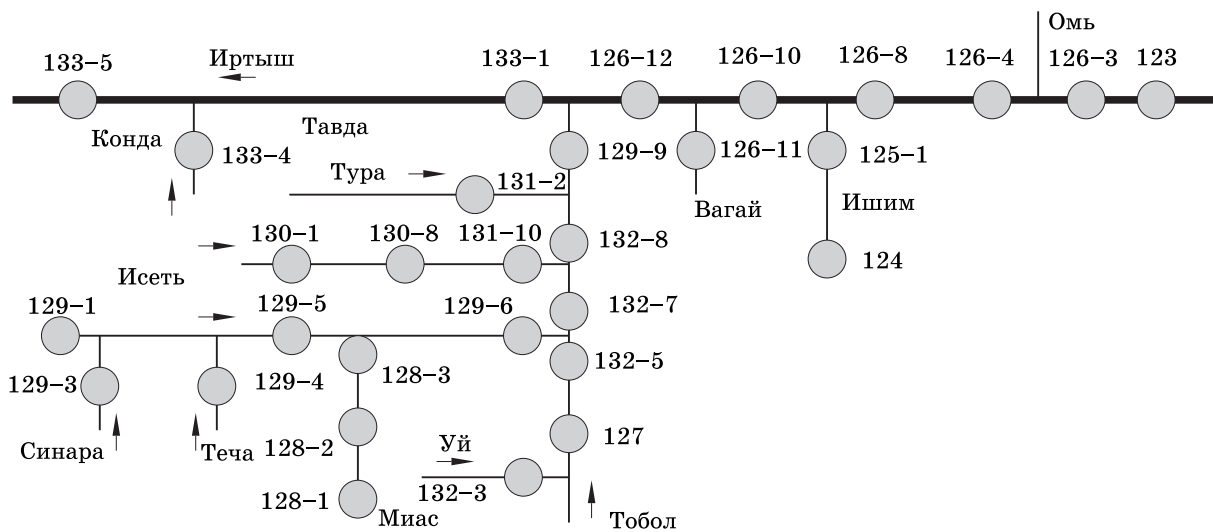


Рис. 1. Схема расположения расчетных створов в бассейне реки Иртыш

Результаты оценки качества речных вод для условий года 95% -й обеспеченности представлены на рисунке 2.

Анализ результатов показывает следующее. Фоновое качество воды рек бассейна оценивается на «умеренно загрязненном» уровне, в острымаловодный год оно превышено во всех исследуемых водотоках. Качество воды в них изменяется от «загрязненного» до «очень грязного». Частота появления класса «очень грязный» составляет 50 % (рис. 3). В многоводный год (25 % обеспеченности) картина меняется, и наиболее вероятное качество соответствует уровню «загрязненной» воды – 45 %. Естественному фону соответствует 34 %.

Требуемая эффективность водоохранных мероприятий для перехода на уровень «умеренно загрязненной» воды представлена в таблице 2. Средняя по бассейну реки Иртыш эффективность водоохранных мероприятий составляет 82 % (год 95% -й обеспеченности стока).

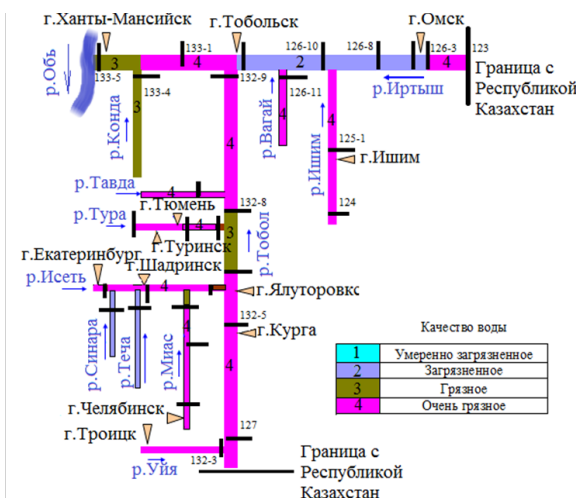


Рис. 2. Изменение качества воды в водных объектах бассейна реки Иртыш в год 95% -й обеспеченности стока

Средняя требуемая эффективность водоохранных мероприятий  $\mathcal{E}_{\text{ВОМ}}$  для перехода на уровень «умеренно загрязненной» воды, %

Класс	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная	Очень грязная
$\mathcal{E}_{\text{ВОМ}}$	0	40	70	> 80

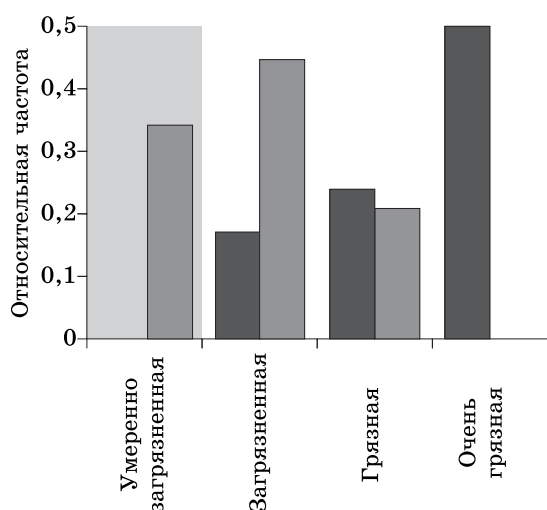


Рис. 3. Относительная частота соответствия качества воды в водных объектах бассейна реки Иртыш определённому классу (■ – год 25% -й и ■ – год 95% -й обеспеченности стока)

Классы качества воды можно согласовать с необходимым набором водоохранных мероприятий, с помощью которых достигается фоновый уровень (табл. 3). Для этого составляется список мероприятий (любой сложности) по снижению объемов загрязнений, поступающих в водный объект или повышающих самоочищающую способность воды (например, в табл. 3 дан набор водоохранных мероприятий для рассредоточенных стоков, поступающих с застроенных территорий [3]). Список должен содержать мероприятия, которые можно реализовать в конкретных условиях.

Таблица 3  
Водоохранные мероприятия и их эффективность  $\mathcal{E}$  по снижению негативного влияния сточных вод, поступающих с неканализованных городских территорий

Мероприятие	$\mathcal{E}$ , %
Регулярная уборка территории	10
Озеленение	20
Замена грунтовых покрытий на твердые и газоны	30
Обустройство водоохранной зоны	70

Определить набор требуемых водоохранных мероприятий можно с помощью модифицированного метода взвешенного попарного среднего [4]. В этом случае классифицируемое по эффективности мероприятие относится к той группе выборки, для которой оно позволяет достичь максимального эффекта. Алгоритм классификации включает ряд шагов.

1. Составляется матрица эффективности мероприятий (матрица симметричная с нулевой диагональю). Попарную эффективность мероприятий определяют по формуле

$$\mathcal{E}_{i,j}^{\text{ВОМ}} = 1 - (1 - \mathcal{E}_i) \times (1 - \mathcal{E}_j),$$

где  $i, j$  – номера водоохранных мероприятий в строке и столбце матрицы.

ВОМ	i	1	2	3	4
j	0*	0,1	0,2	0,3	0,7
1	0,1	0	0,28	0,37	0,73
2	0,2	0,28	0	0,44	0,76
3	0,3	0,37	0,44	0	0,79
4	0,7	0,73	0,76	0,79	0

\* Диагональные значения обнуляются.

2. В матрице по минимальной эффективности выделяются: столбец и строка (выделяются близкие кластеры). Кластеры  $u$  и  $v$  объединяются, образуя новый кластер  $K$ . Строки и столбцы, соответствующие кластерам  $u$  и  $v$ , удаляются из матрицы. Вместо них пересчитывается новая строка и столбец, соответствующие кластеру  $K$ . Последний образуется путем объединения кластеров  $u$  и  $v$ . Суммарная эффективность новых кластеров  $w$  определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E}[(u, v), w] = 1 - (1 - \mathcal{E}(u, v)) \times (1 - \mathcal{E}(v, w)).$$

В результате матрица сокращается на одну строку и один столбец.

ВОМ	i	1,2	3	4
j	0	0,424	0,559	0,919
1, 2	0,424	0	0,44	0,76
3	0,559	0,44	0	0,79
4	0,919	0,76	0,79	0

3. Процедура повторяется до тех пор, пока не будут объединены все кластеры.

ВОМ	i	1,2,3	4
j	0	0,75	0,98
1, 2, 3	0,75	0	0,79
4	0,98	0,79	0

ВОМ	i	1,2,3,4
j	0	0,99
1, 2, 3, 4	0,99	0

Результат кластеризации можно выразить в виде дендрограммы, которая отражает пути достижения требуемой эффективности (рис. 4).

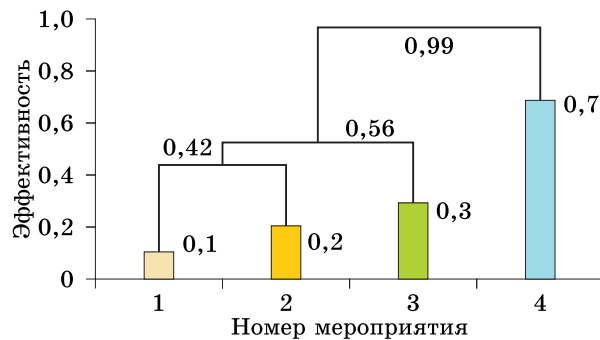


Рис. 4. Дендрограмма объединения водоохранных мероприятий в группы, обеспечивающие достижение максимальной эффективности (см. табл. 3)

4. Требуемую эффективность определяют по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = \frac{(K_{\text{пз}}^{95\%} - K_{\text{пз}}^{\Phi})}{K_{\text{пз}}^{95\%}}$$

где  $K_{\text{пз}}^{95\%}$ ,  $K_{\text{пз}}^{\Phi}$  – комплексный показатель загрязненности воды соответственно для расчетного года и естественного фона (вместо фонового уровня может приниматься приемлемый, т. е. возможный для достижения в конкретных условиях поэтапного планирования).

Полученные матрицы для каждого класса качества воды позволяют поставить набор мероприятий, с помощью которого достигается заданный (в данном примере фоновый) уровень (табл. 4). При этом соблюдается следующее условие: эффективность набора мероприятий  $\mathcal{E}^{\text{ВОМ}}$  должна быть больше требуемой  $\mathcal{E}_{\text{тр}}$ :  $\mathcal{E}^{\text{ВОМ}} > \mathcal{E}_{\text{тр}}$ .

Таблица 4

**Ранжирование водоохранных мероприятий по классу качества воды**

Класс	$\mathcal{E}_{\text{тр}}$ , %	Водоохранное мероприятие	$\mathcal{E}^{\text{ВОМ}}$ , %
Загрязненный	67	Обустройство водоохранной зоны	70,0
Грязный	80	Озеленение, обустройство водоохранной зоны	91,9
Очень грязный	90	Регулярная уборка территории, озеленение, замена грунтовых покрытий на твердые и газоны, обустройство водоохранной зоны	99,0

**Выводы и предложения**

Ранжирование показателей загрязненности водных объектов бассейна реки Иртыш позволяет разделить их на группы разного качества воды, благодаря чему возможно ранжирование водоохранных мероприятий по требуемой эффективности.

Предложена модификация метода кластерного анализа взвешенного попарного среднего для ранжирования водоохранных мероприятий с целью определения набора, позволяющего достичь требуемой эффективности. Модификация заключается в следующем:

вместо попарного среднего при формирование новых кластеров используют формулу определения попарной эффективности мероприятий;

для практических целей используют все данные об эффективности в получаемых матрицах, так как они учитывают все возможные сочетания мероприятий.

В практической деятельности следует учитывать вклад отдельных источников (сосредоточенных и рассредоточенных) загрязнения при оценке требуемой эффективности.

1. Шабанов В. В., Маркин В. Н. Метод оценки качества вод и состояния водных экосистем в схемах КИОВР (Деп. в ВИНТИ 06.11.07.) – М.: МГУП, 2007. – 81 с.

2. Шабанов В. В., Маркин В. Н. Эколого-водохозяйственная оценка водных объектов. – М.: МГУП, 2009. – 154 с.

3. Хрисанов Н. И., Осипов Г. К.

Управление эвтрофированием водоемов. 02.04.14).

– СПб: Гидрометеиздат, 1993. – 276 с.

4. Методы кластерного анализа [Электронный ресурс]. – URL: [http://bug.kpi.ua/stud/work/RGR/DATAMINING/clusteranalysismethods.html (дата обращения

Материал поступил в редакцию 07.04.14.

**Маркин Вячеслав Николаевич**, кандидат технических наук, доцент

Тел. 8-903-012-67-10

E-mail: MVNarkin@mail.ru

УДК 502/504:556.16

**В. Г. ГУСЬКОВ, И. В. ПРОШЛЯКОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»  
Институт природообустройства имени А. Н. Костякова

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ СТОКОВЫХ РЯДОВ НА ПРИМЕРЕ ЧАСТНЫХ ВОДОСБОРОВ БАССЕЙНА РЕКИ ВОЛГИ\***

*Предлагается простой и достаточно эффективный способ группового моделирования стокowych рядов на примере месячных значений стока с частных водосборов водохранилищ Волжско-Камского каскада.*

*Частные водосборы водохранилищ, боковой приток, моделирование взаимосвязанных гидрологических рядов, верификация, однородность, репрезентативность гидрологических рядов.*

*There is proposed a simple and rather efficient method of group simulation of runoff series by an example of monthly flow values from private catchment reservoirs of the Volga-Kama cascade.*

*Private catchment reservoirs, side inflow, simulation of interconnected hydrological series, verification, homogeneity, representativeness of hydrological series.*

Исследование работы современных сложных водохозяйственных систем требует совместного анализа гидрологического режима групп частных речных водосборов, объединяемых комплексным использованием их водных ресурсов. Решение такой задачи основано наряду с другими методами на моделировании рядов стока с частных водосборов бассейна (притока к гидроузлам бассейна). Методы решения подобной задачи разработаны или для изолированных гидроузлов (для годового стока), или для группы – при их числе не более трех (для месячного стока) [1–5]. При большем числе створов (гидроузлов) приемлемого решения задачи для месячного стока не найде-

но. Между тем на практике иногда приходится иметь дело с системой водохранилищ, состоящей из значительно большего числа гидроузлов (например, 11 гидроузлов Волжско-Камского каскада).

Авторами разработан и предлагается к использованию на практике простой и достаточно эффективный способ группового моделирования месячных стокowych рядов, не требующий сложных математических алгоритмов. Предлагаемый подход, представляющий собой обобщение известного метода фрагментов Г. Г. Свиридзе, предопределяет единовременное моделирование внутригодового распределения стока по месячным интервалам для всей совокупности частных водосборов (в отдельных створах бассейна реки) [6]. Такой подход позволяет автоматически учитывать как автокорреляционные связи

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-05-00193а).