

УДК 556

ОПЕРАТИВНОЕ ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ**Черноморец А.А., Петина М.А., Путивцева Н.П., Коваленко А.Н.***ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, e-mail: chernomorets@bsu.edu.ru*

В статье для оценки состояния водных объектов разработана методика экспертного оценивания объектов с максимальным уровнем загрязнения при отсутствии информации об источнике поступления загрязняющих веществ, основанная на методе анализа иерархий. Значительное ухудшение качественного состояния малых рек требует разработки и составления схем рационального использования и охраны водных ресурсов, создания постоянно действующей системы контроля загрязненности, учета и расходования водных ресурсов с целью оперативного управления водными объектами. Разработанная методика является частью интеллектуальной системы управления процессом мониторинга и оповещения о загрязненности малых рек и позволяет произвести оценку пригодности водного объекта по комплексу физических, химических и гидробиологических показателей к конкретному виду водопользования. В заключение приведена оценка разработанной методики.

Ключевые слова: малые реки, качество воды, химические показатели, экспертный метод, водный объект, вид водопользования, водные ресурсы

OPERATIONAL MANAGEMENT DECISION MAKING IN THE FIELD OF WATER ON CONTAMINATED WATER BODIES**Chernomorets A.A., Petina M.A., Putivtseva N.P., Kovalenko A.N.***Federal state Autonomous educational institution of higher education
«Belgorod State National Research University», Belgorod, e-mail: chernomorets@bsu.edu.ru*

In the article to assess the status of water bodies the method of expert estimation of objects with a maximum level of pollution in the absence of information about the source of contaminants, based on the method of analysis of hierarchies is developed. A significant deterioration in the quality condition of small rivers requires the development and preparation of schemes of rational use and protection of water resources, the establishment of a permanent system of pollution control, and accounting of water resources for the operative management of water bodies. The developed methodology is part of the intelligent control systems for monitoring and warning about the contamination of small rivers and it assesses the suitability of the water body on a range of physical, chemical and hydrobiological indicators to a specific type of water use. In conclusion, we present the evaluation of the developed technique.

Keywords: small rivers, water quality, chemical indicators, expert method, the water body, the kind of water management, water resources

В последнее время в результате интенсивного освоения региона происходит усиление антропогенной нагрузки на естественный водный режим, что приводит к значительному ухудшению качественного состояния малых рек. Это требует разработки и составления схем рационального использования и охраны водных ресурсов, создания постоянно действующей системы контроля загрязненности, учета и расходования водных ресурсов с целью оперативного управления водными объектами.

Цель исследования

Разработать методику экспертного оценивания объектов с максимальным уровнем загрязнения для принятия управленческих решений в сфере водопользования на загрязненных водных объектах, основанную на методе анализа иерархий.

Водные объекты оценивались по комплексу физических, химических и гидроби-

ологических показателей с использованием методов системного анализа, поддержки принятия решений.

Для оценки загрязненности поверхностных вод используют результаты наблюдений по совокупности загрязняющих веществ. Расчет показателей проводится по результатам регулярных наблюдений за состоянием воды рек.

Оценка уровня загрязнения поверхностных вод проводится по комплексу показателей качества воды.

В расчёте используются только нормируемые ингредиенты. В качестве норматива используются предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ для воды рыбохозяйственных, водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования – наиболее жёсткие (минимальные) значения из списков, рекомендуемых для подготовки информационных документов по качеству поверхностных

вод. Для веществ, на которые нормативными документами предусмотрено их полное отсутствие в воде, в качестве ПДК условно принимается 0,01 мкг/дм³.

В рамках создаваемой интеллектуальной системы управления процессом мониторинга и оповещения о загрязненности малых рек для оценки состояния водных объектов разработана методика экспертного оценивания объектов с максимальным уровнем загрязнения при отсутствии информации об источнике поступления загрязняющих веществ, основанная на методе анализа иерархий [2, 4, 5].

Метод анализа иерархий (МАИ) – математический инструмент системного подхода к сложным проблемам принятия решений, использующий метод парных сравнений в сочетании с методом последовательных сравнений. МАИ не предписывает лицу, принимающему решение, какого-либо «правильного» решения, а позволяет ему в интерактивном режиме найти такой вариант, который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к ее решению.

МАИ применяется для моделирования многокритериальных задач принятия решения. Идея метода состоит в структуризации задач принятия решения путем построения многоуровневой иерархии, объединяющей все компоненты задачи, которые сравниваются между собой с помощью специально разработанных процедур. В результате становится возможным получение численных оценок интенсивности взаимовлияния элементов иерархии, на основе которых оцениваются степени предпочтительности альтернатив относительно главной цели [3].

Оптимальное решение вопросов использования водных ресурсов возможно лишь при наличии объективной информации о состоянии качества воды водных объектов. При возникновении угрозы экстремально высокого загрязнения необходимо произвести контрольный отбор проб и провести анализы качества воды в водотоке. В примере рассматриваются объекты 4–5 класса загрязненности.

Оперативная оценка пригодности водного объекта к определенному виду водопользования должна происходить по следующей схеме. Наклаиваются ограничения видов водопользования, далее выявляются источники загрязнения и альтернативы по очистке водных объектов.

На рис. 1 представлена иерархия принятия решения о выявлении объектов с экс-

тремальным уровнем загрязнения для последующего снятия ограничений видов водопользования, где в качестве альтернатив выступают виды водопользования.

Реализация метода анализа иерархий состоит в следующем:

1. Определение цели. Целью является оценка пригодности водного объекта для конкретного вида водопользования.

2. Определение критериев. В качестве критериев используются физические, химические и гидробиологические показатели.

К физическим показателям относятся:

- покрытие пленкой поверхности ВО на площади 2 и более кв. км при его площади более 6 кв. км;

- появление запаха интенсивностью более 4 баллов;

- покрытие пленкой более 1/3 поверхности ВО при его площади до 6 кв. км.

К химическим показателям относятся:

- превышение ПДК в 5 раз и более для веществ 1–2 класса загрязненности;

- превышение ПДК в 50 раз и более для веществ 3–4 класса загрязненности;

- снижение содержания растворимого кислорода до 2 мг/л и менее;

- увеличение БПК свыше 40 мг О₂/л.

Химические показатели являются наиболее значимыми при оценке качества водных объектов, в особенности превышения ПДК для веществ различных классов загрязненности.

К гидробиологическим показателям относят массовую гибель гидробионтов. Данный показатель является наименее значимым.

3. Определение альтернатив. В качестве альтернатив выступают виды водопользования. Различают пять видов водопользования: хозяйственно-питьевое, промышленность, рыбное хозяйство, купание, спорт, транспорт.

Для каждого уровня необходимо построить матрицы парных сравнений – по одной матрице для каждого элемента, направляющего сверху уровня. Этот элемент называют направляемым по отношению к элементу, находящемуся на нижнем уровне, так как этот элемент нижнего уровня влияет на расположенный выше элемент. Элементы любого уровня сравниваются друг с другом относительно их воздействия на направляемый элемент. Парные сравнения проводят в терминах доминирования одного из элементов над другим, затем эти суждения выражаются в целых числах.

Для указания важности отдельного критерия применяется шкала: от 1 – несущественный фактор, до 9 – абсолютная значимость (табл. 1).



Рис. 1. МАИ: Оценка качества речной воды

Таблица 1

Шкала отношений

Степень значимости	Определения
1	Несущественная значимость
3	Некоторое преобладание значимости одного действия над другим (слабая значимость)
5	Существенная или сильная значимость
7	Очевидная или очень сильная значимость
9	Абсолютная значимость
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения между двумя соседними суждениями
Обратные величины приведенных выше ненулевых величин	Если действию i (строка матрицы парных сравнений) при сравнении с действием j (столбец матрицы парных сравнений) приписывается одно из определенных выше ненулевых чисел, то действию j при сравнении с действием i приписывается обратное значение

В табл. 2 приведен пример матрицы парных сравнений приоритетов критериев. Приоритеты критериев устанавливаются экспертным путем с учетом гипотетического уровня загрязненности на условном водном объекте.

Далее заполняются матрицы парных сравнений альтернатив относительно критериев. Для установления относительной важности элементов иерархии используется шкала отношений (табл. 1), которая позволяет ставить в соответствие степеням предпочтения одного сравниваемого объекта перед другим некоторые числа.

В табл. 3 приведен пример матрицы парных сравнений альтернатив для критерия «Превышение ПДК в 50 раз и более для веществ 3–4 класса загрязненности».

Аналогичным образом заполняются матрицы парных сравнений для остальных критериев.

Для каждой матрицы необходимо рассчитать нормализованный вектор приоритетов W , наибольшее собственное число матрицы парных сравнений $\lambda_{\max}$ и отношение согласованности.

Согласованность суждений по каждому критерию оценивается индексом согласованности (ИС) и отношением согласованности (ОС) в соответствии со следующими выражениями:

$$\text{ИС} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1), \quad (1)$$

где $\lambda_{\max}$ – наибольшее собственное число матрицы парных сравнений, n – число сравниваемых элементов,

$$OS = IC/M(IC), \quad (2)$$

где $M(IC)$ – среднее значение (математическое ожидание) индекса согласованности случайным образом составленной матрицы парных сравнений [4].

В результате расчетов были получены следующие значения согласованности суждений по каждому критерию (табл. 4).

Далее были установлены приоритеты альтернатив по каждому критерию и определен глобальный приоритет альтернатив,

то есть определена пригодность водного объекта для конкретного вида водопользования. Результат представлен на рис. 2.

Таким образом, условный водный объект наиболее пригоден для таких видов водопользования, как транспорт, промышленность и купание, спорт.

В итоге для отдельного водного объекта можно получить характеристику его пригодности для каждого вида водопользования (табл. 5) [1] с позиций загрязненности воды.

Таблица 2

Матрица парных сравнений приоритетов критериев

Оценка качества	Превыш. ПДК в 5 раз	Превыш. ПДК в 50 раз	Сниж. содерж. кислорода до 2 мг и менее	БПК выше 40 мг	Покр. пленкой 2 и более кв. км	Появл. запаха	Покр. пленкой 2 1/3 поверх-ти	Массовая гибель гидробионтов
Превыш. ПДК в 5 раз	1	2	5	5	5	4	4	5
Превыш. ПДК в 50 раз	1/2	1	5	7	6	4	5	4
Сниж. содерж. кислорода до 2 мг и менее	1/5	1/5	1	1	1	1	1	2
БПК выше 40 мг	1/5	1/7	1	1	1	1	1	2
Покр. пленкой 2 и более кв. км	1/5	1/6	1	1	1	1	1	1
Появл. запаха	1/4	1/4	1	1	1	1	1	1
Покр. пленкой 2 1/3 поверх-ти	1/4	1/5	1	1	1	1	1	2
Массовая гибель гидробионтов	1/5	1/4	1/2	1/2	1	1	1/2	1

Таблица 3

Матрица парных сравнений альтернатив для критерия «Превышение ПДК в 50 раз и более для веществ 3–4 класса загрязненности»

Превыш. ПДК в 50 раз	Промышленность	Рыбное хоз-во	Купание, спорт	Транспорт	Хоз-питьевое
Промышленность	1	3	3	2	2
Рыбное хоз-во	1/3	1	2	3	2
Купание, спорт	1/3	1/2	1	2	1/2
Транспорт	1/2	1/3	1/2	1	1/4
Хозпитьевое	1/2	1/2	2	4	1

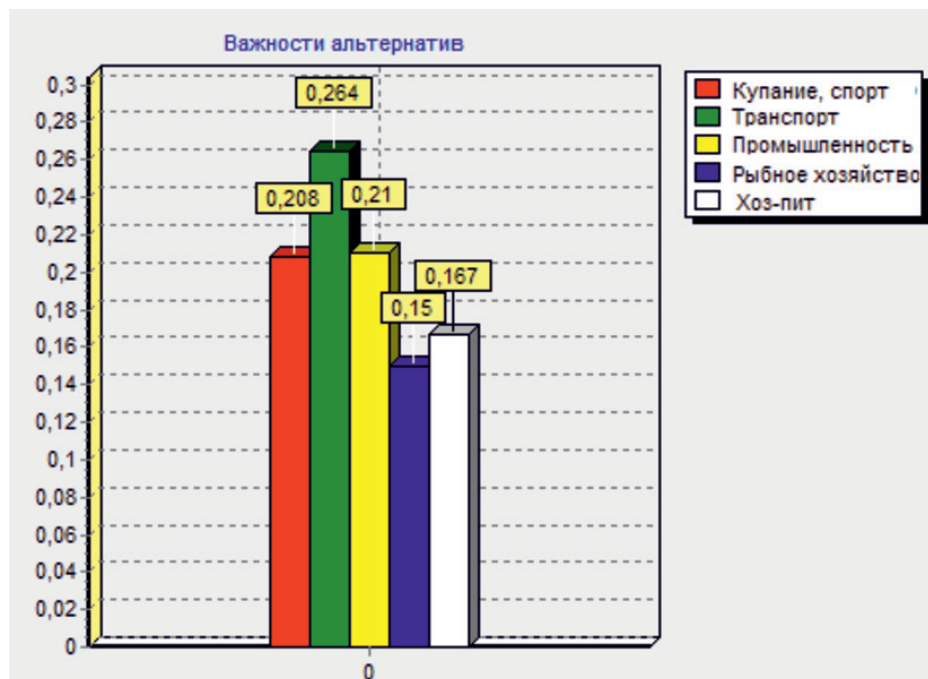


Рис. 2. Важности альтернатив

Таблица 4

Согласованность оценок по каждому критерию

Критерии	ОС
Появление запаха интенсивностью более 4 баллов	0,19
Покрывание пленкой более 1/3 поверхности ВО при его площади до 6 кв. км	0,09
Превышение ПДК в 5 раз и более для веществ 1–2 класса загрязненности	0,14
Превышение ПДК в 50 раз и более для веществ 3–4 класса загрязненности	0,09
Гибель гидробионтов	0,00
Покрывание пленкой поверхности ВО на площади 2 и более кв. км при его площади более 6 кв. км	0,11
БПК свыше 40 мг О ₂ /л	0,11
Снижение содержания растворимого кислорода до 2 мг/л и менее	0,04

Таблица 5

Характеристика водного объекта для различных видов водопользования

Качество воды	Виды водопользования				
	Хозяйственно-питьевое	Промышленность	Рыбное хозяйство	Купание, спорт	Транспорт
Загрязненная	Пригодна только со специальной очисткой	Пригодна только со специальной очисткой	Пригодна (кроме ценных видов рыб)	Использование сомнительно	Использование сомнительно
Грязная	Непригодна	Пригодна для специальных целей после очистки	Непригодна	Непригодна	Использование нежелательно

Заключение

Таким образом, разработанная методика экспертного оценивания объектов с максимальным уровнем загрязнения при отсутствии информации об источнике поступления загрязняющих веществ позволяет произвести оценку пригодности водного объекта к тому или иному виду водопользования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-47-08052.

Список литературы

1. Крымская О.В. Качество вод в реках Центрально-Черноземного региона: учебное пособие / О.В. Крымская, М.Г. Лебедева. – Белгород: Изд-во «Политерра», 2004. – 100 с.

2. Петина М.А. Использование геоинформационных технологий в системах поддержки принятия решений при управлении водными ресурсами (на примере Белгородской области) / М.А. Петина // Научные ведомости БелГУ. – 2010. – № 21 (92). – Выпуск 13. – С. 151–156.

3. Саати Томас Л. Принятие решений: Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 314 с.: ил.

4. Черноморец А.А. Разработка экспертного метода анализа состояний водных объектов / А.А. Черноморец, М.А. Петина, М.Г. Лебедева, А.Н. Коваленко // Исследование различных направлений современной науки VIII Международная научно-практическая конференция. 29 января 2016, г. Москва. – С. 1287–1290.

5. Черноморец А.А. Разработка экспертного метода принятия решений об уровне загрязненности малых рек при отсутствии информации об источнике поступления загрязняющих веществ / А.А. Черноморец, М.А. Петина, А.Н. Коваленко, М.Н. Коваленко // Академическая наука – проблемы и достижения: Материалы IX международной научно-практической конференции. 20–21 июня 2016, г. North Charleston, USA. – Т. 2. – С. 77–79.