

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ПЕРСПЕКТИВНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

К.Л. Куликовский¹, А.Н. Толокнова²

¹Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

²Самарская государственная сельскохозяйственная академия
443056, г. Самара, пр. Масленникова, 37

E-mail: ant683@mail.ru

Проведен анализ способности водоема к естественному самоочищению, выявлены основные параметры, определяющие способность водоема к естественному самоочищению, представлена структура информационно-измерительной системы, реализующая перспективное прогнозирование экологического состояния водоема.

Ключевые слова: *перспективное прогнозирование, самоочищение водоема, структура информационно-измерительной системы, период самоочищения, коэффициент способности водоема к самоочищению.*

Введение. Перспективное прогнозирование экологического состояния водоема – это прежде всего определение тенденции изменения экологической ситуации внутри водоема при постоянном или увеличивающемся уровне антропогенного воздействия.

Прогноз состояния водных экосистем крайне важен при перспективном планировании рациональной эксплуатации водной среды с целью обеспечения различных звеньев народнохозяйственной отрасли. Для решения поставленной задачи необходимо проведение экологического мониторинга.

В настоящее время экологический мониторинг водных объектов, расположенных на территории РФ, осуществляется на основании стандартных химических, бактериологических и биологических анализов. Существуют различные методики оценки качества вод пресноводных водоемов. Например, методика оценки качества водоемов по комплексу гидрохимических показателей, методика оценки качества водоемов по данным гидробиологического анализа, методики комбинированных оценок качества воды с использованием гидрохимических и гидробиологических показателей и т. д.

Наиболее распространенными в настоящее время критериями оценки качества поверхностных вод суши являются предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ. Также в качестве интегральной характеристики загрязнения воды применим индекс загрязненности вод (ИЗВ). Но в настоящее время при достаточно широком спектре токсикологических загрязняющих веществ такая оценка качества поверхностных вод по ИЗВ является неполной. Поэтому для оценки уровня загрязненности воды используются такие комплексные показатели, как удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) и класс качества воды.

Таким образом, сформировавшийся в современном экологическом мониторинге

¹ Константин Лонгинович Куликовский (д.т.н., профессор), профессор кафедры «Информационно-измерительная техника».

² Анна Николаевна Толокнова (к.т.н., доцент), доцент кафедры «Организация перевозок и технического сервиса».

подход дает возможность выявления состояния водоема на данный момент без возможности перспективной оценки процессов, происходящих в водоеме.

Потому возникла необходимость преобразования современной системы контроля качества вод в перспективный экологический мониторинг, позволяющий оценивать и выявлять тенденции в изменении состояния водоема. Решение этой проблемы неразрывно связано с необходимостью прогнозирования, т. е. построения предположения относительно поведения водной экологической среды, основанного на изучении естественных процессов, происходящих в данной среде, и процессов взаимодействия данной среды с другими средами, включая антропогенную [1].

Перспективное прогнозирование экологического состояния водоема. Одной из главных задач перспективного мониторинга является поиск интегрального чувствительного критерия оценки состояния экосистемы. Определение такого критерия позволит оценивать воздействие общей антропогенной нагрузки без определения влияния каждого отдельно взятого загрязнителя. Необходимо найти такой критерий, который будет характеризовать динамику совокупных процессов, происходящих в водной экосистеме. Исследования показали [2], что таким критерием является способность водной экологической системы к самоочищению.

Способность водоема к самоочищению (СВС) – это способность водной экосистемы принимать, перерабатывать и удалять вещества природного и антропогенного происхождения. Изучение данной способности дает понимание перспектив того или иного водоема.

Способность экосистемы водного объекта к самоочищению зависит от способности донного осадка к самоочищению.

Было установлено [2], что параметром, наиболее ярко отображающим протекание, активность и сбалансированность биогеохимических процессов на последней стадии переработки органических остатков и загрязнений в донных осадках, является напряженность окислительно-восстановительных условий. Окислительно-восстановительными условиями определяется геохимическая обстановка водоема в целом, возможность элементов мигрировать или осаждаться в той или иной форме.

В слое донного осадка постоянно протекают процессы окисления и восстановления. Протекание процесса окисления обусловлено присутствием достаточного количества кислорода: чем больше кислорода, тем процесс окисления интенсивнее. Процесс восстановления, наоборот, связан с уменьшением содержания кислорода. Каждый из этих процессов можно рассматривать отдельно. Однако учитывая что, эти процессы взаимозависимы, т. е. один без другого не протекает, рассматривать окисление и восстановление необходимо как единый процесс.

Окислительно-восстановительный потенциал характеризует протекание процесса окисления-восстановления. Чем выше значение окислительно-восстановительного потенциала, тем интенсивнее протекает процесс окисления, тем интенсивнее идет процесс восстановления.

От окислительно-восстановительного потенциала зависит мера химической активности элементов или их соединений в обратимых химических процессах, связанных с изменением заряда ионов в растворах. В природных водоемах значение Eh в слое донного осадка колеблется от минус 350 до плюс 650 мВ и определяется всей совокупностью происходящих в нем окислительных и восстановительных процессов.

Способность экосистемы водного объекта к самоочищению, зависящая от способности донного осадка к самоочищению, определяется распределением окислительно-восстановительного потенциала Eh и температуры $t^{\circ}C$ в осадке и его тол-

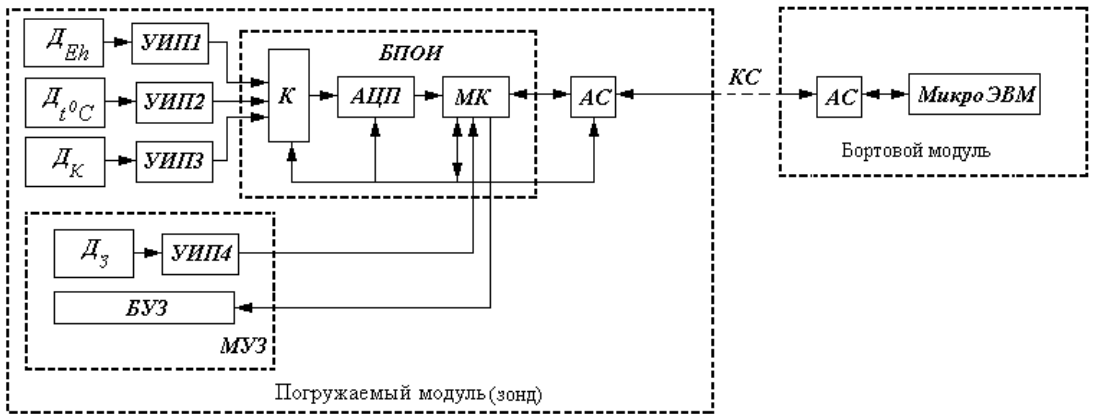
щиной h [2]:

$$CBC(Eh, t^0C, h). \quad (1)$$

В данной модели интегральным параметром, комплексно характеризующим способность водоема к самоочищению, является распределение окислительно-восстановительного потенциала Eh в верхнем слое донных осадков глубиной до 10 см. Окислительно-восстановительный потенциал Eh и его пространственное распределение описывают напряженность окислительно-восстановительных условий биогеохимических процессов на последней стадии переработки органических остатков и загрязнений в донном осадке. Донный осадок, являясь последним звеном в сложной цепи очистки, служит последним рубежом защиты водоема от негативного воздействия всех поступающих веществ. Толщина защитного слоя донного осадка h уменьшается по мере увеличения антропогенной нагрузки. Кроме того, температура является важнейшим фактором, влияющим на протекающие в водоеме физические, химические, биохимические и биологические процессы, от которого в значительной мере зависит кислородный режим и, главное, интенсивность процессов самоочищения [3].

Данная модель дает основания к построению гидрологических информационно-измерительных систем (ИИС) перспективного прогнозирования состояния водных экосистем.

Информационно-измерительная система перспективного прогнозирования состояния водных экосистем. Обобщенную структурную схему донной ИИС определения способности экосистемы водного объекта к самоочищению можно представить следующим образом (см. рисунок).



Обобщенная структурная схема донной ИИС определения способности экосистемы водного объекта к самоочищению

ИИС состоит из двух частей: надводной и погружаемой. Надводная часть реализована в виде бортового модуля на базе микро-ЭВМ с программным обеспечением для обработки и представления информации в реальном времени, создания и ведения базы экспериментальных данных.

Погружаемый модуль (зонд) соединен с бортовым модулем каналом связи КС, представляющим собой кабель. Адаптеры связи АС обеспечивают связь бортового и погружаемого модулей.

В состав зонда, устанавливаемого для измерений на поверхности дна исследуемого водоема, входят датчик окислительно-восстановительного потенциала D_{Eh} ,

датчик температуры $D_{T^{\circ}C}$, датчик крена D_K , унифицирующие измерительные преобразователи УИП1 – УИП3, модуль управления заглублением МУЗ и блок предварительной обработки информации БПОИ, представляющий собой совокупность коммутатора К, аналого-цифрового преобразователя АЦП и микроконтроллера МК.

Модуль управления заглублением МУЗ в структуре донной ИИС предусмотрен для обеспечения внедрения измерительных элементов в слой донного осадка. Он включает в себя датчик заглубления D_3 , унифицирующий измерительный преобразователь УИП4 и блок управления заглублением БУЗ, осуществляющий механическое внедрение измерительных элементов в донный ил.

Информация об измеренных значениях окислительно-восстановительного потенциала, температуры и угла крена после преобразования в электрические сигналы, усиления, преобразования в цифровую форму для повышения помехоустойчивости посредством адаптера связи зонда в последовательном двоичном коде поступает по линии связи на адаптер связи бортового модуля.

Блок первичной обработки информации БПОИ обеспечивает сбор аналоговой информации, поступающей с датчиков, и ее преобразование в сигналы соответствующих уровней, которые посредством адаптеров связи и канала связи поступают на микро-ЭВМ для обработки.

Управление работой цифровых и механических блоков зонда осуществляется микроконтроллером по заданной программе.

Микро-ЭВМ, получая информацию от зонда, осуществляет ее обработку, автоматическую коррекцию погрешностей, запоминание, документирование, а также отображает информацию на экране. Визуальное представление полученных данных осуществляется в виде числовой индикации и кривых зависимостей. Микро-ЭВМ обеспечивает работу в автоматическом режиме системы в целом посредством выработки управляющих и корректирующих воздействий.

Операции спуска, подъема и установки зонда на поверхности дна водоема осуществляются оператором вручную. Чтобы данные операции не осуществлялись оператором «вслепую», необходимо использование устройства эхолокации, которое позволяет определять расстояние до поверхности дна, а также его профиль. Это позволит оператору устанавливать зонд вертикально на относительно ровных участках дна.

Одной из особенностей гидрологических исследований является необходимость проведения измерений в одной и той же точке исследуемого водного объекта в разные периоды времени. Использование устройства позиционирования позволит определять координаты точек измерительного эксперимента, которые можно заносить в память микро-ЭВМ, и в дальнейшем на их основании строить карты исследуемого водоема. В качестве таких устройств используют GPS-приемники.

Безусловным преимуществом данной структуры ИИС является возможность относительно легкой ее модификации путем введения в состав погружаемой части системы дополнительных каналов измерения гидрохимических характеристик (например, электропроводимость, рН, соленость и т. д.). Это позволяет свободно адаптировать измерительную систему к решению различных задач измерения.

Процедура вычисления коэффициента способности водоема к самоочищению k_{SPA} по измеренным значениям потенциала, температуры и угла отклонения осуществляется по следующему алгоритму.

1. Проводят измерения потенциала E_i , температуры t_i и угла отклонения α_i в каждой i -ой точке.

2. Определение глубины внедрения датчика Eh в слой донного осадка h_i' осуществляется в $(i-1)$ точке.
3. Полученное значение температуры должно находиться в диапазоне от 0 до плюс 35 °С. Если условие не выполняется, то на монитор бортового модуля выводится сообщение «Значение температуры вне исследуемого диапазона» и процедура завершается. Если условие выполняется, то процедура продолжается.
4. Вычисляется значение окислительно-восстановительного потенциала Eh_i .
5. По формуле $h_i = h_i' \cdot \cos \alpha_i$ вычисляется значение реальной толщины защитного слоя донного осадка h_i .
6. При выполнении условия $Eh_i > 0$ находят произведения $(Eh_i \cdot h_i)$ и их суммируют. По окончании процедуры измерения ($i=n$) находится значение a как среднее произведений $(Eh_i \cdot h_i)$, рассчитывается коэффициент способности водоема к самоочищению k_{CBC} по формуле [2]

$$k_{CBC} = \frac{a}{6500}. \quad (2)$$

7. Если условие не выполняется, то проверяется значение реальной толщины донного осадка h_i . Если $h_i < 10$ мм, то экосистема водоема считается погибшей ($k_{CBC}=0$); если условие не выполняется, то рассчитывается k_{CBC} .
8. Полученные значения k_{CBC} интерпретируют в соответствии с таблицей.

Способность водоема к самоочищению в зависимости от коэффициента k_{CBC}

Способность водоема к самоочищению	h	k_{CBC}	t_{CBC}^*
Нулевая (экосистема водоема погибла)	(0; 1)	Не существует	–
Критическая	(0; 1)	< 0,015	–
Низкая	(0; 2)	0,015-0,2	Более 25 лет
Ограниченная	(2; 7)	0,2-0,46	10 – 25
Высокая	(7; 10)	>0,46	Менее 10 лет

* t_{CBC} – период самоочищения водоема.

В качестве частного случая можно рассматривать ситуацию, когда в водоеме общая толщина защитного слоя донного осадка менее 10 см. Тогда необходимо внести коррекцию в процедуру измерения и в методику определения коэффициента способности водоема к самоочищению.

Измерения в заданной точке необходимо проводить несколько раз с небольшим смещением зонда. Это позволит выяснить истинную толщину защитного слоя донного осадка как среднее значение (позволяет избежать ошибки при возникновении препятствий в виде камней или мусора) и при расчете коэффициента способности к самоочищению учитывать его.

Предложенная информационно-измерительная система способна работать в водоемах глубиной до 15 м. Измерение окислительно-восстановительного потенциала осуществляется в диапазоне от минус 350 мВ до плюс 650 мВ, температуры – от 0 °С до плюс 35 °С. Максимальная толщина донного осадка, в который заглубляется измерительный элемент, составляет 10 см, максимальный угол отклонения заглубления датчика Eh от вертикали составляет 5°. Погрешность донной ИИС определения

СВС в основном зависит от погрешности измерения окислительно-восстановительного потенциала и составляет 0,5 %.

Безусловным преимуществом описанной структуры ИИС является возможность относительно легкой ее модификации путем введения в состав погружаемой части системы дополнительных каналов измерения гидрохимических характеристик (например, электропроводности, рН, солености и т. д.). Это позволяет свободно адаптировать измерительную систему к решению различных задач измерения.

Заключение. Донная информационно-измерительная система определения способности экосистемы водоема к самоочищению предназначена для прогнозного оценивания способности водной экосистемы противостоять антропогенному воздействию со стороны промышленных предприятий. Данное оценивание осуществляется посредством определения коэффициента способности водоема к самоочищению. Коэффициент учитывает такие важные в процессе естественного самоочищения водоема параметры, как распределение окислительно-восстановительного потенциала в защитном слое донного осадка, его толщина и температурный режим. Измерение этих параметров осуществляется ИИС непосредственно в водоеме без взятия пробы, что повышает достоверность получаемых результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Токарев В.Г., Трибрат И.Н.* Прогнозирование экологических процессов.– Новосибирск: Наука, 1986.
2. *Толокнова А.Н.* Донная информационно-измерительная система определения способности водоемов к самоочищению: Автореф. дис. ... кандидата техн. наук. – Самара: СамГТУ, 2007.
3. *Куликовский К.Л., Толокнова А.Н.* Построение прогнозной модели способности водных экосистем к самоочищению // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тезисы XXIII Международной науч.-техн. конф., г. Москва, 2006. – Т. 2. – С. 263-265.

Статья поступила в редакцию 23 мая 2011 г.

AN INFORMATION MEASURING SYSTEM FOR PERSPECTIVE FORECASTING FOR THE STATE OF A WATER ECOSYSTEM

K.L. Kylikovsky¹, A.N. Toloknova²

¹Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

²Samara State Agricultural Academy
37, Maslennikov pr., Samara, 443056

This article analyzes the natural self-purification ability of a body of water. The key parameters that determine the self-purification ability have been found. The structure of information measuring system is presented making possible perspective forecasting for the state of a body of water environment.

Keywords: *perspective forecasting, reservoir self-purification, the structure of information measuring system, the self-cleaning period, factor of ability of a reservoir to self-purification.*

*Konstantin L. Kylikovsky (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Anna N. Toloknova (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.*