

## ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

П. П. МАХНЕВ, А. В. БЕКРЕНЕВ, В. С. БАКЛАНОВ (ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»); С. В. ХОЛОДКЕВИЧ, А. В. ИВАНОВ, В. К. ДОНЧЕНКО, А. С. КУРАКИН, Е. А. КОРНИЕНКО, В. П. ФЕДОТОВ (Научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург)

### Система обеспечения безопасности водоснабжения на водопроводных станциях Санкт-Петербурга

Участившиеся случаи техногенных аварий и катастроф, носящих характер чрезвычайных ситуаций и приводящих к загрязнению водных объектов токсичными веществами, обуславливают необходимость разработки и реализации комплекса мер по предотвращению нанесения ущерба здоровью населения и минимизации технического и экономического ущерба. Неожиданность возникновения чрезвычайных ситуаций и последующее быстрое развитие негативных процессов приводят к значительным экономическим и экологическим последствиям. Поэтому необходимо быстрое принятие организационно-управленческих решений в условиях неопределенности ситуации и сложности прогнозирования дальнейшего хода событий.

Разработка и внедрение методов и технических средств для раннего выявления загрязнения источника токсичными веществами занимают важное место в решении практических задач по обеспечению экологической безопасности водоснабжения населения. В частности, в по-

давляющем большинстве случаев своевременное выявление возможности чрезвычайных ситуаций оказывается не только необходимым, но и достаточным для полной или частичной ликвидации последствий таких ситуаций, влияющих на жизнь и здоровье людей при временном прекращении систем. Экологическая безопасность поверхностных вод в значительной мере зависит от оперативности обнаружения аварийных ситуаций, в том числе и чрезвычайных, их количественной оценки и локализации.

ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» разработана Система обеспечения безопасности водоснабжения в условиях обнаружения токсичных веществ (СОБВУОТВ) в воде водозаборных сооружений водопроводных станций. Система функционирует в целях своевременного обнаружения и индикации токсичных веществ, а также для принятия экстренных мер по организации безопасного водоснабжения населения и защите работников водопроводных станций от токсичных веществ.

Система включает в себя следующие элементы:

станции производственного биологического мониторинга качества воды (СПБМКВ) водоемочника на основе метода вариационной пульсометрии раков и моллюсков;

автоматические станции непрерывного экологического мониторинга АСНЭМ-2;

сорбционное удаление токсичных веществ из воды с использованием порошкообразных сорбентов и систем их дозирования;

проведение полуколичественного экспресс-анализа токсичных веществ на специальном оборудовании химико-бактериологических лабораторий;

экстренный отбор и анализ проб воды при обнаружении опасности загрязнения токсичными веществами воды, поступающей на водопроводную станцию, в специализированных организациях (в ЗАО «Центр исследования и контроля воды» – ЦИКВ), Санкт-Петербургском Научно-исследовательском центре экологической безопасности Российской академии наук (НИЦЭБ РАН), Научно-

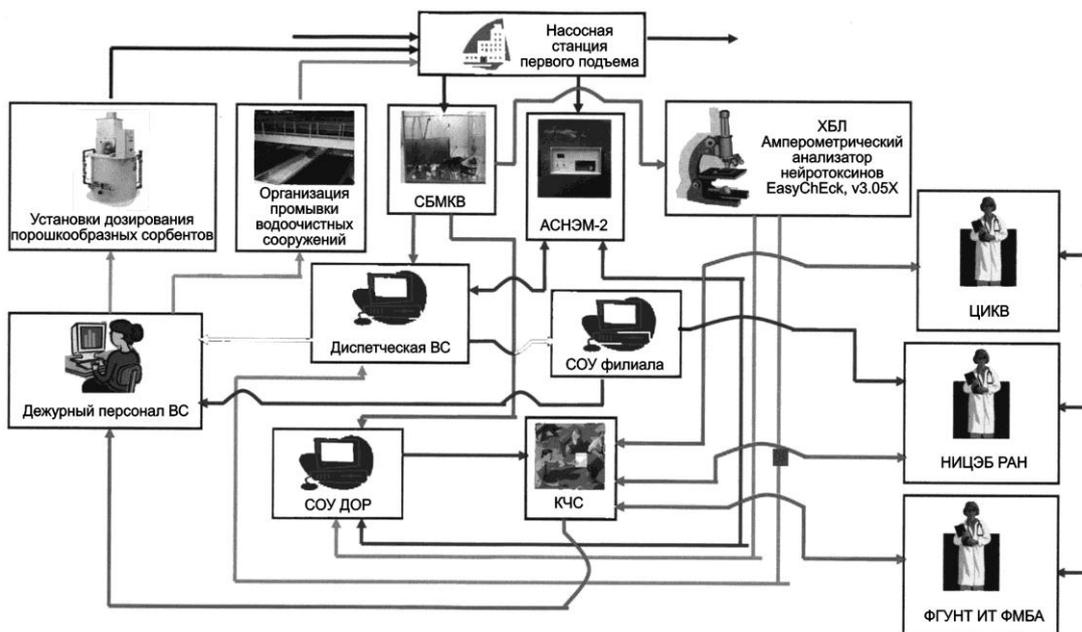


Рис. 1. Схема системы обеспечения безопасности водоснабжения ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» в условиях обнаружения токсичных веществ

исследовательском испытательном центре (медико-биологической защиты) ГосНИИИ ВМ МО РФ, Федеральном государственном учреждении науки Институте токсикологии Федеральном медико-биологическом агентстве (ФГУН ИТ ФМБА).

Схема функционирования СОБВУОТВ в ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» представлена на рис. 1.

В соответствии с разработанным Регламентом действий персонала водопроводных станций С.-Петербурга в условиях обнаружения токсичных веществ в воде водозаборных сооружений общее руководство СОБВУОТВ возлагается на Комиссию по чрезвычайным ситуациям предприятия.

Важнейшим элементом СОБВУОТВ являются внедренные на всех водопроводных станциях С.-Петербурга СПБМКВ водоисточника. Работа станций организована по принципу непрерывной авто-

матической биоиндикации качества воды как среды обитания, а также на основе метода вариационной пульсометрии бентосных беспозвоночных животных, имеющих жесткий панцирь (раки, моллюски и т.п.). Станция включает в себя:

аквариумы для аборигенных раков, установленные в помещении машинного отделения первого подъема водопроводной станции, с системой регистрации и анализа кардиоритма животных в режиме реального времени;

аквариум для рыб, установленный в помещении машинного отделения первого подъема водопроводной станции, за которым ведется круглосуточное видеонаблюдение с передачей картинка-сигнала на диспетчерский пункт дежурного персонала;

автоматические пробоотборники, обеспечивающие отбор воды в объеме 10 л по сигналу о токсичной опасности, поступающей на станцию

первого подъема водопроводной станции.

Информация о состоянии раков выводится на поверхность воды к регистрирующему устройству с помощью тонкого оптического волокна. Затем происходят преобразование исходного сигнала и автоматическая обработка полученного цифрового ряда по методу вариационной пульсометрии. Обработанный сигнал поступает на монитор компьютера дежурного персонала водопроводной станции с тем или иным цветовым и звуковым сигналом.

**Принцип непрерывной автоматической биоиндикации качества воды как среды обитания на основе метода вариационной пульсометрии раков и моллюсков.** Любые аварии, чрезвычайные ситуации, связанные с загрязнением поверхностных вод, можно рассматривать с точки зрения экологической опасности для гидробионтов данной водной экосистемы.

Это особенно важно для водоемов и водотоков, используемых в качестве источников централизованного питьевого водоснабжения.

Как показывает практика, диапазон изменений качества поверхностных вод, обусловленных только природными факторами, может быть достаточно широким по величине и стохастическим по времени. Технические устройства и системы на основе датчиков измерения физико-химических показателей поверхностных вод предусмотрены только для мониторинга конкретных характеристик воды, но не позволяют следить за другими вредными воздействиями, которые неожиданно могут стать опасными. Кроме того, они не дают возможности объективно определять степень опасности этих изменений для гидробионтов. Именно поэтому результаты измерений только физико-химических показателей природных вод, как правило, недостаточны для оценки уровня опасности этих воздействий.

Объективная оценка уровня опасности токсикологического загрязнения воды невозможна без использования тех или иных биологических методов экологического мониторинга, способных в интегрированном виде, с учетом синергизма действующих факторов, выявлять и прогнозировать любые негативные изменения качества воды как среды обитания гидробионтов. Причем для каждого конкретного источника принципиально важно использовать в качестве биоиндикаторов

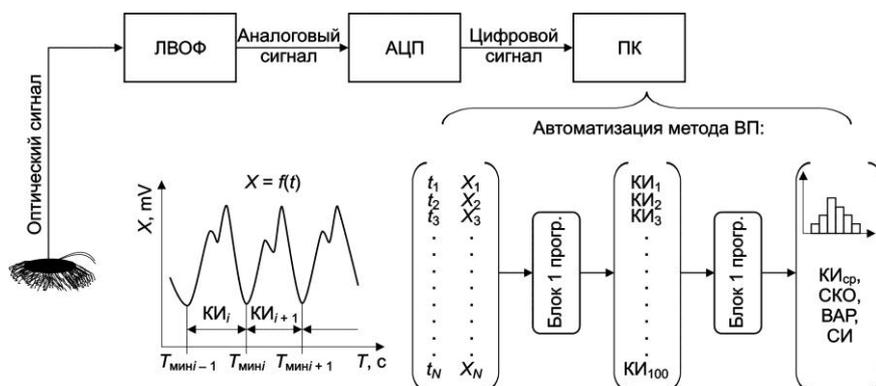
аборигенных представителей фауны, которые являются частью его экосистемы [1–4]. Это является существенным отличием методов биоиндикации от методов биотестирования, в которых, по определению (ГОСТ 27065–86), используются подготовленные в лаборатории тест-организмы, приспособленные, как правило, к обитанию в поддерживаемой в лаборатории специфической водной среде с небольшим диапазоном изменения ее физико-химических характеристик. Именно поэтому только аборигенные организмы, выбранные в качестве биоиндикаторов, могут выполнять функцию экологической «мишени» для наиболее объективной интегральной оценки опасности последствий изменения качества поверхностных вод в результате загрязнения. Однако, в подавляющем большинстве случаев они могут использоваться лишь в качестве оперативных сигнализаторов возникновения экологически опасного уровня загрязнения воды. Но при определении вида (типа) вредного воздействия альтернативы методам и техническим средствам физико-химического анализа характеристик воды в настоящее время не существует.

При реализации методов биоиндикации большинство из них не только не поддаются автоматизации, но и вообще не могут использоваться при экспресс-оценке состояния поверхностных вод, так как принципиально ограничены необходимостью проведения длительных процедур проведения анализа или име-

ют слишком высокие уровни погрешностей в области требуемых порогов чувствительности.

Для развития биологических методов контроля качества поверхностных вод существенный интерес представляет направление, основанное на использовании для измерения реакций биоты физиологических и поведенческих биомаркеров [5; 6]. Наиболее развитыми из них к настоящему времени являются методы, основанные на отведении кардиоактивности бентосных беспозвоночных с жестким наружным покровом, например, раков, крабов, раковинных моллюсков, [1–5; 7–9]. Малоподвижный образ жизни этих бентосных организмов делает их удобным объектом для биоиндикации. В каждой конкретной акватории в качестве «мишени» могут выступать различные представители бентосных сообществ.

С учетом вышеизложенного в лаборатории экспериментальной экологии водных систем СПбНИЦЭБ был разработан волоконно-оптический метод отведения кардиоактивности бентосных беспозвоночных, имеющих жесткий панцирь (*Decapoda* и *Mollusca*). Метод позволяет непрерывно, в реальном времени проводить дистанционный (до сотен метров) неинвазивный контроль функционального состояния бентосных беспозвоночных [1; 2; 7; 8]. Диагностика функционального состояния животных-«мишеней» проводится с использованием адаптированного для беспозвоночных



**Рис. 2. Блок-схема отведения и регистрации кардиоактивности рака. Основные этапы математической обработки выборки кардиоритмов (обычно не менее 100) для получения характеристик ВП: средняя величина кардиоинтервалов  $KI_{cp}$ , среднее квадратичное отклонение СКО, вариационный размах ВАР и стресс-индекс СИ**

метода вариационной пульсометрии [1; 2]. Блок-схема установки для регистрации кардиоактивности бентосных беспозвоночных, а также основные этапы математической обработки выборки кардиоритмов (обычно не менее 100) для получения характеристик вариационной пульсометрии представлены на рис. 2.

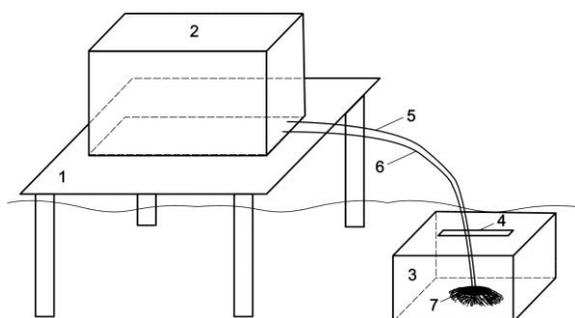
Сущность метода заключается в изучении закона распределения кардиоинтервалов (временных интервалов между двумя соседними циклами кардиоритма) как случайных величин в исследуемом ряду их значений. При этом строится вариационная кривая (гистограмма), отражающая вероятностное распределение кардиоинтервалов в анализируемой выборке кардиоритмов. По гистограмме математическими методами вычисляют числовые характеристики и индексы вариационной пульсометрии. Математический смысл вычисляемых характеристик и индексов заключается в том, что они отражают особенности формы гистограммы. Физиологическая интерпретация вышеука-

занных характеристик и индексов вариационной пульсометрии пока известна только применительно к сердечному ритму человека [10].

Метод довольно успешно применяется в космической медицине для оценок адаптивных возможностей организма, «уровня здоровья» условно здоровых людей – космонавтов, и динамики изменения их функционального состояния при тестировании в периоды отбора, предполетной подготовки и работы на орбите [10]. В медицинской практике этот метод хорошо зарекомендовал себя как ме-

тод донозологической («до болезни») диагностики условно здоровых людей, т. е. метод, позволяющий выявлять вредные для организма уровни внешнего воздействия еще на самых ранних стадиях возникновения риска заболевания. Это позволило разработать [10] систему «Светофор» (см. таблицу), которая хорошо зарекомендовала себя при диагностике состояния условно здоровых людей. В то же время, как показала медицинская практика, для людей со сниженными адаптивными возможностями организма (в результате той или иной болезни) метод вариационной пульсометрии далеко не всегда позволяет получать достоверные результаты диагностики реакций организма на стрессовые факторы воздействия. Данный недостаток метода связан, по видимому, с тем, что наличие у человека тех или иных болезней является постоянным источником собственного, внутреннего стрессового воздействия на общее состояние организма, на фоне которого

Донозологическая диагностика	Степень напряжения регуляторных систем	Цветовой сигнал уровня опасности
Физиологическая норма	Оптимальный уровень Нормальный уровень Умеренное функциональное напряжение	Зеленый
Донозологическое состояние (возникновение условий риска заболевания)	Выраженное функциональное напряжение Резко выраженное функциональное напряжение Перенапряжение регуляторных механизмов	Желтый
Преморбидное состояние (возникновение первых симптомов болезни). Срыв адаптации (состояние болезни)	Резко выраженное перенапряжение регуляторных механизмов. Истощение регуляторных систем Резко выраженное истощение регуляторных систем Срыв механизмов регуляции	Красный



**Рис. 3.** Схема одного из вариантов системы мониторинга качества воды акватории, содержащей биосенсорный модуль, на основе отведения и анализа кардиоактивности аборигенного животного

1 – площадка для размещения контейнера; 2 – блок с системами регистрации, анализа и передачи данных; 3 – сетчатая клетка для животного; 4 – щель для оптических волокон; 5 – передающее оптическое волокно; 6 – приемное оптическое волокно; 7 – тестируемое животное

выявлять объективный уровень значимости источника стрессового воздействия на функциональное состояние организма оказывается уже затруднительным.

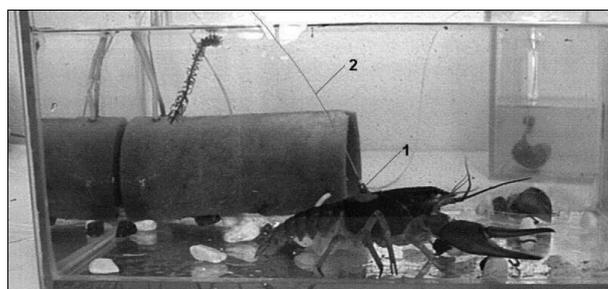
Как известно, в дикой природе продолжительное время живут только здоровые организмы, поэтому вероятность того, что отобранные для целей биомониторинга аборигенные животные окажутся здоровыми, с адекватными физиологическими маркерами характеристик вариационной пульсометрии, весьма велика. Это обстоятельство, а также анализ имеющихся в открытой печати данных и результаты экофизиологических экспериментов с бентосными беспозвоночными позволили предположить, что метод вариационной пульсометрии при анализе кардиоактивности аборигенных бентосных беспозвоночных может оказаться эффективным при решении важных для изучения состояния экосистем обратных задач, например, выявления в воде опасных для их обитателей уровней химического загрязнения по количе-

ственным оценкам функционального состояния аборигенных животных [1; 2; 7].

В соответствии с разработанным в НИЦЭБ РАН оригинальным волоконно-оптическим методом изучения кардиоактивности бентосных беспозвоночных, информация о состоянии организма выводится к расположенной на поверхности воды или на берегу водоема регистрирующей системе (рис. 3) с помощью тонкого оптического волокна, которое практически не мешает жизнедеятельности наблюдаемого животного (рис. 4). Данный физиологический метод реализован на водопроводных станциях ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга».

Для технического обеспечения процесса биоиндикации качества воды была разработана и построена аквариумная система, где содержались выбранные животные – речные раки. В ходе работы были решены следующие задачи [11; 12]:

сделан обоснованный выбор животного-биоиндикатора для проведения непре-



**Рис. 4.** Речной рак с укрепленным на внешней части карапакса (1) волоконно-оптическим датчиком (2) (на заднем плане справа виден участок второго аквариума, по стенке которого ползет моллюск *Potamocorbula sp.*, от которого также с помощью оптического волокна определяется кардиоактивность)

рывного биомониторинга качества природных и очищенных сточных вод;

выработан режим содержания и кормления животных в этих условиях;

отобраны информативные параметры для оценки их функционального состояния;

создан алгоритм для обработки информации, получаемой от животных, и обеспечено его функционирование в режиме реального времени;

установлено, что тонкое оптическое волокно, по которому информация о состоянии организма выводится к регистрирующему устройству, не мешает жизнедеятельности наблюдаемого животного;

показана принципиальная возможность передачи через Интернет данных о состоянии животных для распространения информации среди населения.

Автоматические станции непрерывного экологического мониторинга АСНЭМ-2, установленные в насосных отделениях первого подъема водопроводных станций, в режиме реального времени передают информацию о качестве воды водоисточника в

диспетчерскую. Регистрируются и передаются следующие показатели качества воды: температура; акустический шум и вибрация; электропроводность; рН; концентрации аммонийного азота, нитрат-ионов, хлорид-ионов; оптическая плотность воды на длине волны 254 нм; мутность.

Знание динамики изменения таких интегральных характеристик воды, как содержание растворенного органического вещества, мутность (содержание взвешенных веществ), ХПК, рН, окислительно-восстановительный потенциал Eh, концентрация кислорода, удельная электропроводность, температура, как правило, оказывается достаточным для подготовки и обоснования принятия управленческих решений по обеспечению экологической безопасности питьевого водоснабжения населения [13; 14].

К настоящему времени разработано много альтернативных, пригодных для автоматизации методов, достаточных для обеспечения предприятий-водопользователей относительно недорогими средствами автоматического мониторинга и самоконтроля [13]. Их внедрение не только экономически выгодно (снижаются трудозатраты), но и повышает экологическую безопасность населения, например, за счет непрерывной подготовки информации о динамике изменения качества воды источника, необходимой для принятия управленческих решений в нештатных ситуациях. Отечественными производителями нала-

жено серийное производство соответствующих приборов и датчиков для непрерывного экологического и (или) технологического мониторинга практически всех вышеперечисленных характеристик воды [1; 2; 13; 15–18]. Более того, большинство из них уже сейчас имеют метрологические сертификаты средств измерения Госстандарта РФ.

Практика показывает, что экологический мониторинг на основе автоматических станций непрерывного действия является самым надежным способом получения объективной и достаточной информации о динамике изменения состояния источника для подготовки и принятия обоснованных управленческих решений.

Одним из необходимых условий успеха практической реализации системы управления технологическим регламентом водоподготовки по критериям экологической безопасности является создание информационно-измерительной системы автоматического непрерывного аналитического и биоаналитического контроля воды источника в реальном времени. Это позволяет обеспечивать информационную поддержку принятия управленческих решений, направленных на минимизацию экологических рисков, в том числе в случае природных и техногенных чрезвычайных ситуаций [13; 15; 19; 20].

Важной характеристикой СОБВУОТВ является интеграция СПБМКВ и АСНЭМ-2 в Автоматическую систему контроля качества воды

(АСККВ) предприятия. Схема интеграции представлена на рис. 5.

**Порядок работы СПБМКВ водоемочника.** По сетевым каналам от компьютеров установки биомониторинга информация в реальном времени передается в один из компьютеров диспетчерской службы ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» и отображается на мониторе в виде «светофора»:

супертоксиканты в воде источника не наблюдаются – зеленый сигнал штатного режима;

вероятность присутствия в воде источника супертоксикантов – желтый сигнал повышенного внимания. Наблюдается в следующих случаях: пропал один из информационных каналов, у одного из раков уровень стрессированности превышает заданный уровень нормы (красный сигнал), а у другого нет (зеленый сигнал), рыбы в аквариуме при этом перемещаются в штатном режиме (зеленый сигнал); уровень стрессированности раков не превышает нормы (зеленый сигнал), а «штатное» перемещение рыб нарушено (красный сигнал);

пропали сигналы кардиоактивности обоих раков; уровень стрессированности обоих раков превышает установленный уровень «нормы» (красный сигнал); «штатного» движения рыб не наблюдается (красный сигнал) – красный сигнал тревоги.

**Порядок функционирования СОБВУОТВ.** ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» разработало совместно с

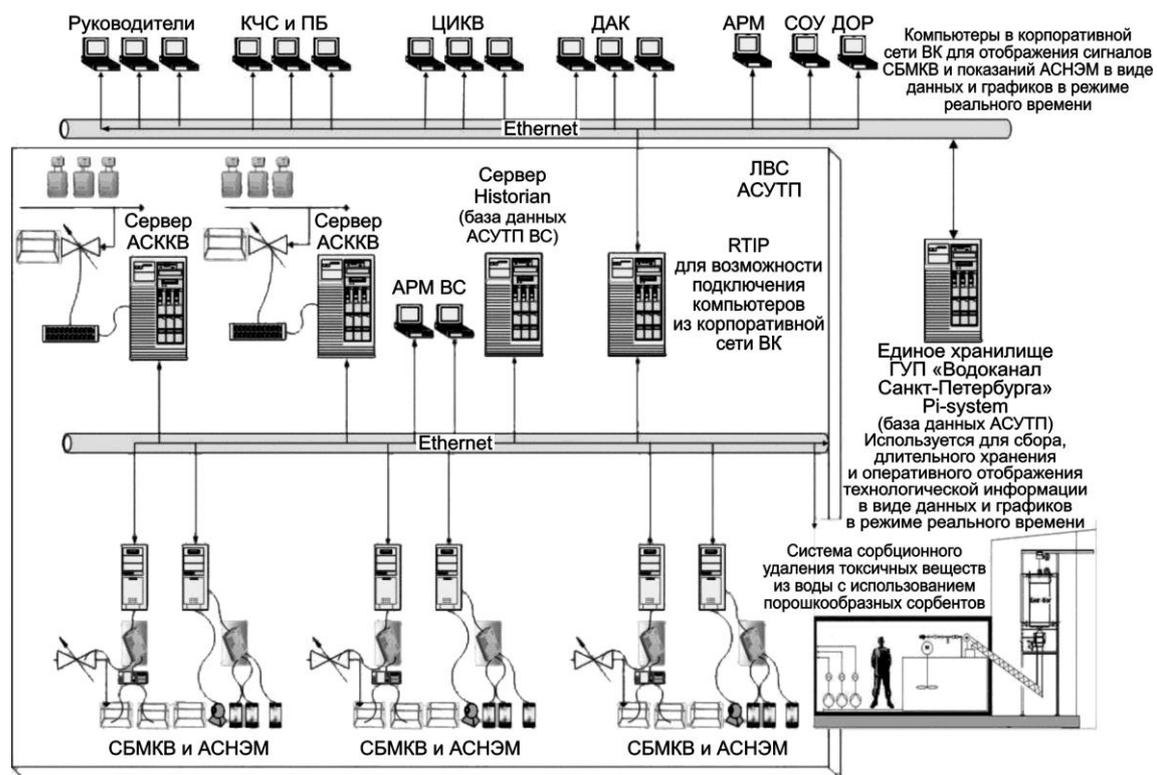


Рис. 5. Схема интеграции СПБМКВ и АСНЭМ-2 в автоматическую систему контроля качества воды (АСККВ) предприятия

НИЦЭБ РАН, Научно-исследовательском испытательном центре (медико-биологической защиты) ГосНИИИ ВМ МО РФ и ФГУН ИТ ФМБА комплекс мер по обеспечению безопасности водоснабжения в условиях обнаружения токсичных веществ в воде водозаборных сооружений водопроводных станций. Он включает:

- организацию системы непрерывной автоматической биоиндикации качества воды как среды обитания на основе метода вариационной пульсометрии раков и моллюсков (методика биоиндикации изложена в приложении);

- передачу в непрерывном режиме информации об изменении основных физико-химических параметров поступающей воды от АСНЭМ-2 в АСККВ водопроводной станции;

- реализацию Программы сорбционного удаления токсичных веществ из воды с использованием порошкообразных сорбентов;

- оснащение машинных отделений первого подъема системами дозирования порошкообразных сорбентов (в том числе порошкообразных активированных углей);

- оснащение химико-бактериологических лабораторий водопроводных станций аналитическим оборудованием для проведения полуколичественного экспресс-анализа токсичных веществ (Амперометрический анализатор нейротоксинов типа *EasyChEck*, v3.05X);

- организацию системы экстренного отбора и анализа проб воды при обнаружении опасности загрязнения токсичными веществами воды, поступающей на водопровод-

ную станцию в специализированных организациях (предусматривается организация экстренного выполнения аналитических работ в НИЦЭБ РАН, Научно-исследовательском испытательном центре (медико-биологической защиты) ГосНИИИ ВМ МО РФ и во ФГУН ИТ ФМБА);

действия персонала в соответствии с утвержденным «Регламентом действий персонала ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» и специализированных сторонних организаций Санкт-Петербурга в условиях обнаружения токсичных веществ в воде водозаборных сооружений».

Осуществление указанного комплекса мероприятий позволит водопроводным станциям работать по следующему алгоритму:

- регистрация (в режиме online) присутствия токсичных

веществ в воде водозаборных сооружений с использованием метода непрерывной автоматической биоиндикации качества воды как среды обитания на основе метода вариационной пульсометрии раков и моллюсков;

организация автоматического отбора проб воды при получении сигнала о токсикологической опасности воды водозаборных сооружений в следующих точках: в машинных отделениях первого подъема водопроводных станций, перед вводом коагулянта, перед входом в резервуары чистой воды;

организация экстренной доставки и анализа отобранных проб в химико-бактериологических лабораториях водопроводных станций и в специализированных организациях, определение природы и ориентировочной концентрации токсичного вещества в исходной воде, определение наличия этого вещества в остальных пробах воды;

прекращение подачи воды с первого подъема на очистные сооружения с одновременной промывкой сооружений первого подъема и началом дозирования порошкообразного сорбента, предназначенного для удаления токсичных веществ в приемный колодец первого подъема, принятие решения о возможности подачи воды из резервуаров чистой воды в городскую сеть и при необходимости о снижении давления в водопроводной сети, питаемой от водопроводной станции;

организация отбора и анализа проб воды на содержание токсичных веществ в ука-

занных выше точках с периодичностью одна проба в течение 60 минут по каждой из установленных точек отбора в химико-бактериологических лабораториях водопроводных станций и в специализированных организациях (ЦИКВ, НИЦЭБ РАН, Научно-исследовательском испытательном центре (медико-биологической защиты) ГосНИИ ВМ МО РФ и ФГУН ИТ ФМБА);

при получении отрицательного результата анализа проб воды первого подъема на установленное вещество не менее чем в двух последовательно отобранных пробах воды, возобновление подачи воды первого подъема на очистные сооружения.

Поступление токсичных веществ с водой, забираемой из водоисточника, в машинные отделения первого подъема водопроводных станций определяется как стрессовый фактор для находящихся «на дежурстве» аборигенных беспозвоночных. СПБМКВ генерирует сигнал тревоги, принимаемый дежурным персоналом. Затем останавливаются насосные агрегаты машинного отделения первого подъема. Информация о происшествии поступает по телефону в Центральную диспетчерскую, где принимается решение об экстренном созыве комиссии по чрезвычайным ситуациям предприятия.

Информация, получаемая в режиме on-line от АСНЭМ-2, позволяет оперативно оценить вероятность срабатывания сигнала тревоги в результате резкого изменения в сырой воде концентраций не-

токсичных или малотоксичных веществ. При поступлении сигнала тревоги происходит автоматический отбор проб воды в машинных отделениях первого подъема, на входе воды в очистные сооружения и перед поступлением ее в резервуары чистой воды.

Отобранные пробы воды экстренно доставляются в химико-бактериологическую лабораторию водопроводной станции, где проводится обнаружение и полуколичественное определение нейротоксинов, а также цианид-ионов. Для более детального исследования отобранные пробы воды в оперативном порядке доставляются в специализированные организации – ЦИКВ и НИЦЭБ РАН, где производится определение органических веществ, способных вызвать срабатывание сигнала тревоги СПБМКВ.

После определения наличия токсичных веществ в воде машинного отделения первого подъема, на входе воды в очистные сооружения второго подъема и на выходе из очистных сооружений в зависимости от результатов принимается одно или несколько решений: об остановке насосов машинных отделений второго подъема; о переключении задвижек на водоводах, подающих воду от сооружений первого подъема на очистные сооружения водопроводной станции, в режим сброса в канализацию для промывки мокрого отделения и водозаборных сооружений; о включении насосов первого подъема; о дозировании по-

рошкообразных сорбентов в воду сооружений первого подъема; о промывке фильтровальных сооружений.

При необходимости в контрольных точках производятся повторный отбор проб воды и соответствующие аналитические определения токсичных веществ. После ликвидации угрозы поступления токсичных веществ вместе с очищаемой водой в резервуары чистой воды и в городскую водопроводную сеть принимается решение о возобновлении работы водопроводной станции в полном объеме.

## Выводы

Созданная информационно-измерительная система позволяет проводить длительный непрерывный биологический мониторинг качества поверхностных вод и биологически очищенной сточной воды на основании анализа вариабельности сердечного ритма аборигенных беспозвоночных *Decapoda* и *Mollusca*. Физиологический метод является перспективным для практической реализации непрерывного длительного экологического мониторинга качества поверхностных вод в реальном времени путем включения живого организма в качестве биосенсора в состав автоматических станций мониторинга физико-химических характеристик качества природных и очищенных сточных вод. Разработанная автоматическая система биоиндикации может быть использована для обеспечения экологической безопасности питьевого водоснабжения населения в каче-

стве системы раннего (в реальном времени) биологического оповещения о недопустимом уровне токсичности воды, поступающей на водозаборные сооружения водопроводных станций.

Разработан Регламент действий персонала ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» и специализированных организаций С.-Петербурга в условиях обнаружения токсичных веществ в воде водозаборных сооружений.

Разработана и внедрена в эксплуатацию Система обеспечения безопасного водоснабжения в условиях обнаружения токсичных веществ в воде водозаборных сооружений водопроводных станций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Непрерывная автоматическая биоиндикация качества воды, как среды обитания, на основе метода вариационной пульсометрии раков и моллюсков / С. В. Холодкевич, В. П. Федотов, А. С. Куракин и др. // 5-я Международная специализированная выставка и конференция «АКВАТЕРРА»: Тез. докл. – СПб., 2002.
2. On line assessment of the antropogenous effects on benthic invertebrates by monitoring the cardial activity with non-invasive fiber optic methods / S. V. Kholodkevitch, V. P. Fedotov, A. G. Strochilo and others // Abstract Publication Baltic Sea Congress – Helsinki, 2003.
3. Authomated interpulse-duration assessment(AIDA)a new technique for detecting disturbances in cardiac activity in selected macroinvertebrates / M. H. Depledge, A. K.

Lundebye, T. Curtis and others // Marine Biol. 1996. V. 26.

4. Bamber S. D., Depledge M. H. Evolution of changes in the adaptive physiology of shore crabs (*Carcinus naenas*) as an indicator of pollution in estuarine environments // Marine Biol. 1997. V. 129, № 4.
5. Depledge M. H., Aagaard A., Gyorkos P. Assessment of trace metal toxicity using molecular, physiological and behavioural biomarkers // Marine Pollution Bulletin. 1995. V. 31. № 1–3.
6. Основы экогеологии, биоиндикации и биотестирования водных экосистем: Учеб. пособие // Под ред. В. В. Куриленко. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2004.
7. Федотов В. П., Холодкевич С. В., Строчило А. Г. Изучение сократительной активности сердца раков с помощью нового неинвазивного метода // Ж. эвол. биохимии и физиологии. – 2000. Т. 36. № 3.
8. Федотов В. П., Холодкевич С. В., Строчило А. Г. Особенности циклической активности сердца раков *Astacus astacus* L. в различных функциональных состояниях // Ж. эвол. биохимии и физиологии. – 2002. Т. 38. № 1.
9. Aagaard A. In situ variations in heart rate of the shore crab *Carcinus maenas* in relation to environment factors and physiological condition // Marine Biology. 1996. V. 125.
10. Баевский Р. М., Берсенева А. П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. – М.: Медицина, 1997.
11. Автоматическая станция аналитического и биоанализа

- тического контроля природных и сточных вод в реальном времени / Холодкевич С. В., Любимцев В. А., Иванов А. В. и др. // Экология и сельскохозяйственная техника. Т. 3. Экологические аспекты производства продукции животноводства и электротехнологий: Материалы 4-й науч.-практич. конф. Санкт-Петербург, 2005.
12. Биомониторинг природных и сточных вод в реальном времени на основе кардиоактивности аборигенных бентосных беспозвоночных / С. В. Холодкевич, В. П. Федотов, Д. В. Сафронова и др. // Международная науч.-практич. конф. «Экологическая безопасность: природа и общество»: Тез. докл. – Санкт-Петербург, 2004.
13. Холодкевич С. В. Основные требования к организации экологического мониторинга и технологического самоконтроля на предприятиях, переходящих на систему технологического нормирования // Бюллетень Экологическая безопасность. – 2002, № 1–2 (15 – 16).
14. Проект руководящих принципов мониторинга и оценки трансграничных рек // ООН. Экономический и Социальный Совет. (СЕР /WP. 1/R. 13. 19 December 1995). Европейская экономическая комиссия. Комитет по экологической политике. Руководящая группа по водным проблемам. (Девятая сессия, 5-7 марта 1996 года, пункт 9 предварительной повестки дня).
15. Холодкевич С. В. Станция раннего оповещения служб водоснабжения о качестве воды реки Невы // Промышленный вестник. 1999. № 9 (34).
16. Гуральник Д. Л. Судовой природоохранной комплекс «Акватория». Новые технологии контроля экологического состояния водных объектов // Экологические системы и приборы. 2003. № 6.
17. Березкин В. И., Холодкевич С. В. Применение методов волоконной оптики для разработки мутномеров нового поколения // Мониторинг. 1996. № 4.
18. Березкин В. И., Холодкевич С. В. Волоконно-оптические методы и средства гидроэкологического контроля // Инженерная экология. 1996. № 4.
19. Холодкевич С. В. Опорная сеть автоматических станций непрерывного экологического мониторинга качества воды в системе интегрированного управления водными ресурсами Санкт-Петербургского региона // Бюллетень Экологическая безопасность. 2001. № 1–2 (15–16).
20. Интегрированное управление водными ресурсами Санкт-Петербурга и Ленинградской области / Опыт создания системы поддержки принятия решений. – СПб.: Vorey Print, 2001.