

---

С.А. КОНДРАТЬЕВ

## К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ НАУЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ СИСТЕМЫ РАЦИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДОЕМАМИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

### **Введение**

В настоящее время на территории Санкт-Петербурга насчитывается 106 водоемов с площадью зеркала более 0,01 км<sup>2</sup>. Общая площадь их поверхности составляет около 21 км<sup>2</sup>. Нарушение гидрологического режима водных объектов обусловлено, в основном, застройкой территории, приводящей к изменению структуры гидрографической сети, морфометрических характеристик водоемов, их уровенного режима и условий проточности. Негативным последствием урбанизации является повсеместное ухудшение качества поверхностных вод. Антропогенные потоки вещества, образующиеся в ходе производственной и бытовой деятельности городского населения, превосходят естественную геохимическую миграцию как по массе, так и по спектру транспортируемых веществ. Водоемы, особенно бессточные и слабопроточные, превращаются в накопители многообразных городских отходов. В настоящее время только 20% водоемов г.Санкт-Петербурга могут быть отнесены к условно чистым, тогда как 80% классифицируются как грязные [Кондратьев и др., 1998]. В наибольшей степени загрязнены донные отложения озер, являющиеся основным аккумулирующим звеном водной экосистемы. Содержание в донных отложениях тяжелых металлов является надежным и достаточно стабильным показателем общего уровня техногенной нагрузки. Выполненное обследование городских водоемов показало чрезвычайно высокую степень загрязнения донных отложений медью, цинком, хромом, свинцом, никелем, кадмием и другими тяжелыми металлами, содержание которых в десятки и сотни раз превышает их допустимые значения.

Поскольку городские водоемы интенсивно используются в различных сферах жизнедеятельности населения Санкт-Петербурга, в том числе и в рекреационных целях, остро стоит вопрос о создании системы рационального управления ресурсами городских водоемов с целью их сохранности и восстановления.

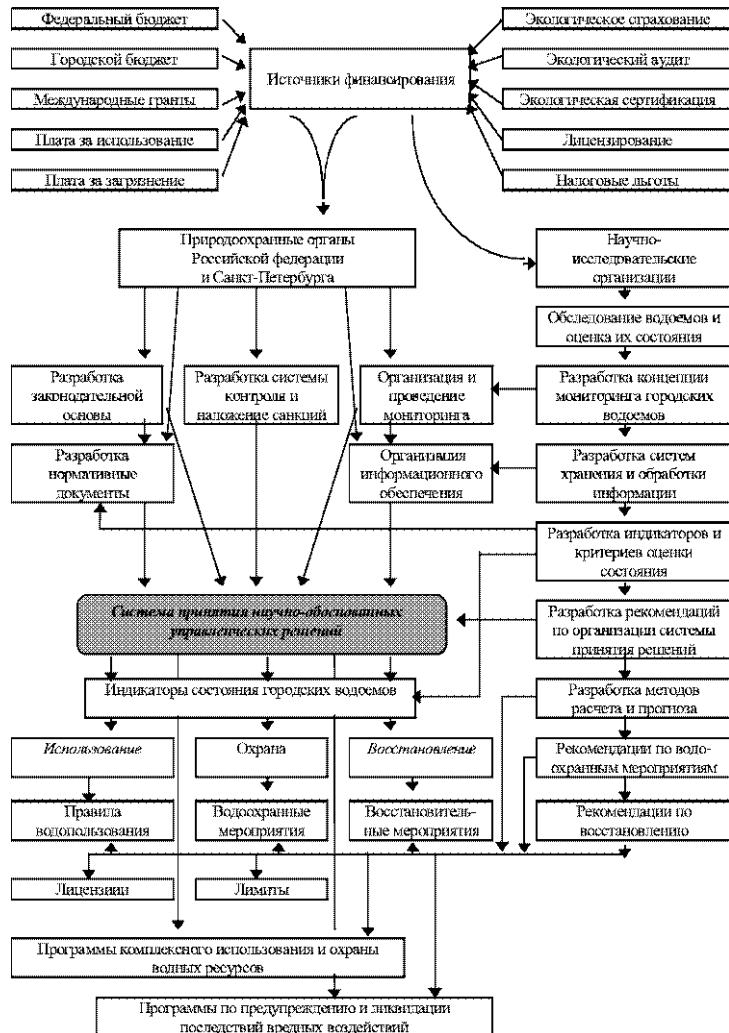
### **Общая схема рационального управления водоемами Санкт-Петербурга.**

Под рациональным управлением водными ресурсами обычно понимается практическое применение системы принятия научно-обоснованных управленческих решений, позволяющих использовать водные ресурсы в различных целях без ущерба для их состояния в настоящем и будущем. Реализация концепции рационального управления возможна при условии тесного взаимодействия научно-исследовательских, контролирующих и природоохранных организаций, а также наличия необходимого финансирования. Перечень основных функций упомянутых организаций и источников финансирования приведен на рис.1. При составлении схемы рационального управления водными объектами Санкт-Петербурга использована информация о современном состоянии управления водопользованием [Шелякина, Чикуреева, 1999].

С целью изучения состояния водных объектов в условиях техногенеза, разработки критериев экологического состояния, а также создания концепции рационального управления городскими водоемами Институт озероведения РАН и Государственный гидрологический институт в течение шести лет (1995 - 2000 гг.) проводят комп-

---

К вопросу о создании научного обоснования системы рационального управления водоемами Санкт-Петербурга



**Рис.1.** Схема рационального управления водными объектами

лексные исследования на водоемах Санкт-Петербурга [Кондратьев и др., 1998; Gronskaya et al., 1999; Kondratyev et al., 1999].

К настоящему моменту выполнена большая часть работ, входящих в компетенцию научно – исследовательских организаций (рис.1), а именно: проведено обследование ряда водоемов Санкт-Петербурга и дана оценка их состояния, предложены критерии оценки состояния водоемов, разработаны концепция мониторинга городских водоемов, предложены методы их сохранения и восстановления, разработаны методы расчета нагрузки на водоемы. Кроме того создана база данных по водоемам Санкт-Петербурга. Ниже приведена более подробная информация об основных результатах научных исследований в рассматриваемой области.

### Объекты исследований.

Экспериментальные исследования 1995 – 1998 гг. проводились, в основном, на оз. Лахтинский Разлив и его водосборном бассейне, включающем озера Верхнее, Среднее и Нижнее Сузdalьские, водохранилище на р. Каменке, реки Старожиловку, Юнтоловку, Каменку, Черную. В качестве основных объектов исследования 1999 – 2000 гг. выбраны 11 водоемов Санкт-Петербурга, расположенных в различных частях мегаполиса и испытывающих бытовую и техногенную нагрузки различного происхождения и интенсивности. Некоторые характеристики указанных водоемов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики изучаемых водоемов Санкт-Петербурга						
Название водоема	Площадь зеркала (га)	Площадь водобора (га)	Объем воды ( $10^6 \text{ м}^3$ )	Время угонного водобояна (мес.)	Средняя глубина (м)	Максимальная глубина (м)
Оз. Верхнее Суздальское	22	69.7	1.20	68	55	120
Оз. Среднее Суздальское	15	97.3	0.65	14	44	65
Оз. Нижнее Суздальское	97	3624	2.95	23	30	52
Шуваловский парк	35	7400	0.76	05	22	40
Оз. Лахтинский Разлив	146	16800	6.39	12	44	83
Юнтоловский пруд	60	120	0.11	22	1.9	30
Оз. Сестрорецкий Разлив	1045	56300	21.4	1.2-1.4	20	46
Огинский Пруд	46	45	0.06	-	1.4	29
Муринский Пруд	78.9	334	0.14	-	1.8	45
Окинское водохранилище	130	45200	3.70	03	28	-
Пруд в парке Победы	44	-	0.07	20	1.5	35

### Индикаторы состояния

Для оценки экологического состояния городских водоемов предложен следующий комплекс индикаторов, включающий химические, биологические и санитарно-бактериологические показатели:

- содержание и структура органического вещества в водоеме: взвешенное и растворенное органическое вещество, а также фракции растворенного органического вещества с анионными, катионными и нейтральными свойствами, с учетом их соотношения;
- санитарно-бактериологические индикаторы: содержание лактозоположительных кишечных палочек в воде и донных отложениях, соотношение значений общего микробного числа при 22 и 37° С, а также наличие патогенных микроорганизмов в воде и донных отложениях;
- | биоиндикаторы: концентрация хлорофилла «а», видовой и количественный состав зоопланктона и зообентоса, наличие патологии в виде опухолеподобных образований у личинок планктонных ракообразных;
- | степень загрязнения донных отложений водоемов, являющаяся показателем уровня внешней нагрузки за значительные интервалы времени и истории техногенного загрязнения урбанизированных территорий;
- | соотношение внешней и внутренней нагрузки, отражающее уровень вторичного загрязнения водоема за счет поступления химических веществ в воду из донных отложений.
- | критическая нагрузка, определяемая как уровень внешней нагрузки, который приводит к достижению допустимого (критического) уровня концентрации вещества в воде, донных отложениях или биоте.

Перечисленные индикаторы могут быть использованы как для оценки воздействия на водоем конкретными химическими веществами (степень загрязнения донных отложений, индикаторы нагрузки), так и для оценки комплексного антропогенного воздействия (состав органического вещества, санитарно-бактериологические показатели, биоиндикаторы).

В результате выполненных исследований установлено, что по всему комплексу индикаторов в 1999 г. наиболее неблагоприятным состоянием отличается Охтинское водохранилище, принимающее сточные воды предприятий и канализационные стоки, и малопроточный пруд в Парке Победы, характеризующийся интенсивным рекреационным использованием. Высокая степень загрязнения по ряду показателей отмечена также в озерах Верхнем Сузdalском, Лахтинском Разливе и Сестрорецком Разливе. Следствием высокого уровня биогенных нагрузок на водоемы (озера Нижнее Сузdalское, Сестрорецкий Разлив, пруды Парка Победы, Ольгинский и Юнтоловский) явилось антропогенное эвтрофирование, также приведшее к ухудшению качества воды и общего экологического состояния водоемов. Таким образом, основными причинами ухудшения экологического состояния водоемов урбанизированных территорий является сброс промышленных и бытовых сточных вод, а также интенсивное рекреационное использование водоемов. К числу природных факторов, препятствующих самоочищению ряда водоемов, следует отнести их низкую проточность.

На примере оз. Нижнего Сузdalского показано, что в городских водоемах, испы-

тывающих на протяжении нескольких десятилетий сильное антропогенное воздействие, внутренняя нагрузка металлами и биогенными элементами достигла величин, соизмеримых с внешним их поступлением, и является значимой составляющей в формировании суммарной нагрузки. Такое соотношение внешней и внутренней нагрузок свидетельствует о том, что уже сейчас донные отложения озера являются реальным источником вторичного загрязнения его воды.

### **Концепция мониторинга городских водоемов**

Разработана общая концепция мониторинга городских водоемов, согласно которой при организации мониторинга следует обратить основное внимание на выполнение следующих работ [Кондратьев и Гронская, 1999]:

- определение информационных потребностей системы рационального управления городскими водоемами;
- определение состава информации, которая может и должна быть получена в результате мониторинга;
- создание сети мониторинга;
- составление плана и программы работ сети;
- организация сбора и обработки данных;
- создание банка данных и геоинформационной системы (ГИС);
- анализ данных, в частности средствами геоинформационных технологий и математического моделирования гидроэкологических ситуаций;
- генерирование документальной информации и отчетов в доступной для потребителей форме (в виде вариантов выхода из неблагоприятной ситуации или прогноза ее развития при отсутствии управленческих решений).

Определение информационных потребностей рационального управления должно осуществляться путем анализа возможных неблагоприятных гидроэкологических процессов и доступных способов борьбы с ними. Выявление неблагоприятных условий следует производить в результате предварительного гидроэкологического обследования и кадастрирования водных объектов территории и их водосборных бассейнов, включающих гидрологические, гидрохимические, гидробиологические и санитарно-гигиенические исследования. Работы должны проводиться в период наиболее интенсивного использования водных ресурсов населением, как правило, в летнюю межень. В результате такого обследования должны быть выявлены и оценены:

- источники загрязнения конкретных водоемов;
- приоритетные загрязняющие вещества, по которым превышены ПДК в воде и донных отложениях;
- состояние водных экосистем в соответствии с существующими нормативами и рекомендациями;
- трофический статус водоемов;
- санитарное состояние водных объектов;
- степень использования водоемов населением;
- очередьность принятия управленческих решений и проведения мероприятий по оздоровлению водных объектов.

Информация, полученная в результате такого обследования, должна обобщать-

ся в виде гидроэкологического кадастра города. На основе этого кадастра проводятся следующие работы:

- выявляются объекты для проведения мониторинга;
- проектируется сеть мониторинга;
- определяются параметры, по которым в дальнейшем проводятся наблюдения;
- определяются период и частота наблюдений.

Сеть организуется как правило на водоемах, наиболее широко используемых населением для водоснабжения и рекреации, а также водоемах, находящихся в кризисной и катастрофической гидроэкологической ситуации. Состав, период и частота наблюдений определяются превалирующим видом использования водоема. Например, на рекреационных объектах наблюдения за качеством воды целесообразно производить только в летний период, на водоемах - источниках питьевого и хозяйствственно-бытового водоснабжения - круглый год. В то же время для оценки состояния донных отложений водоемов достаточно проводить разовые отборы проб.

Основополагающим принципом мониторинга водных объектов является рассмотрение водоемов и их водосборных бассейнов как единой гидроэкологической системы. Следовательно, наряду с наблюдениями на водных объектах, входящих в сеть мониторинга, должны проводиться следующие работы на водосборных территориях:

- разовые площадные съемки загрязнения снежного покрова,
- разовые площадные съемки загрязнения почвенного покрова.

Результаты наблюдений, полученные в ходе мониторинга, должны быть занесены в базу данных ГИС, обеспечивающей выполнение следующих функций:

- оперативного и режимного картирования гидроэкологической ситуации с использованием геоинформационных технологий,
- прогнозирования развития критических гидроэкологических ситуаций на основе моделирования,
- выдачи оперативной и стратегической информации по предотвращению критических гидроэкологических ситуаций для принятия управленческих решений.

### Разработка информационных систем

К настоящему времени разработана геоинформационная система (ГИС) «Лахта», содержащая результаты полевых исследований, выполненных за период 1995–1998 гг. и являющаяся прототипом ГИС по водоемам всего Санкт-Петербурга [Кондратьев и др., 1999]. Основные технические возможности системы заключаются в выполнении следующих операций:

- обеспечение подготовки и ведения баз данных;
- поддержка баз данных для широкого класса географических объектов;
- выполнение информационно-справочных функций;
- осуществление обработки массивов гетерогенной пространственно-координированной информации;
- обеспечение быстрой настройки на решение разнообразных задач;

- обеспечение диалогового режима работы пользователя, не являющегося специалистом в области геоинформационных технологий.

Проблемная ориентация ГИС определяется перечнем основных решаемых научно-практических задач, к числу которых относятся следующие:

- исследование динамики геосистем различного иерархического уровня;
- дифференциация территории по гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим показателям, обеспеченности водными ресурсами, уровню антропогенной нагрузки;
- изучение структуры миграционных потоков в пределах изучаемой территории;
- оценка интегральных эффектов антропогенного воздействия на окружающую среду;
- моделирование процессов формирования стока и выноса вещества с учетом пространственной неоднородности параметров;
- геоэкологическое прогнозирование.

ГИС включает справочник наблюдаемых характеристик, содержащий наименование, единицы измерения, значения предельно допустимых концентраций (ПДК) в воде и почве, фоновое содержание вещества в почве и снежном покрове. В настоящее время ГИС содержит следующие результаты наблюдений:

- гидрологические и гидрохимические характеристики озер и водотоков;
- химический состав почв и снежного покрова;
- химический состав донных отложений.

Аналогичная система разрабатывается для всей территории Санкт-Петербурга.

### **Разработка расчетных методов и математических моделей**

В ходе исследований предложена схема расчета критической нагрузки по металлам на городские водоемы [Kondratiyev et al., 1999]. При этом высокий уровень загрязнения водоемов Санкт-Петербурга приводит к тому, что рассчитанные значения критических нагрузок в большинстве случаев отрицательны. Таким образом, для достижения критического уровня содержания металла в водоеме требуется изъятие вещества в количестве, соответствующем рассчитанному отрицательному значению критической нагрузки. Результаты расчетов существенно зависят от выбора значения критического уровня (в данном случае – ПДК). Затруднения при расчете критических нагрузок возникают из-за отсутствия официально утвержденных ПДК для большого числа загрязняющих веществ, характерных для водоемов урбанизированных территорий.

Разработана модель, позволяющая описывать транспорт и трансформацию металлов в водоемах и донных отложениях и определять условия превышения критических значений концентраций загрязняющих веществ с учетом сезонной динамики изучаемых процессов [Кондратьев и др., 1998]. С использованием модели проведены расчеты содержания в воде оз. Нижнего Сузdalского за теплый период 1998г. различных форм металлов: растворенного (ионного и связанного с РСВ) свинца, связанной с взвешенными частицами меди, а также растворенного, связанного с взвешенными частицами и общего марганца. Показано, что концентрация ионного Mn в водоеме за период времени с июня по октябрь 1998г. находилась на

уровне, соответствующем хозяйственно-бытовой ПДК (0.1 мг/л), т.е. внешняя нагрузка соответствовала критическому значению. Если же проводить сравнение значений концентраций общих форм Mn с этой же ПДК (как это и принято делать), то можно отметить 6-8 кратное превышение. Настоящий пример в очередной раз подтвердил необходимость научно-обоснованного подхода к определению предельно-допустимых уровней содержания химических веществ в окружающей среде.

#### **Предложения по составу мероприятий, направленных на сохранение и восстановление городских водоемов**

На основании выполненных научных исследований представляется возможным определить следующий перечень мероприятий по сохранению и восстановлению городских водоемов:

- выявление основных источников загрязнения озер химическими и биогенными элементами с оценкой возможного состава мероприятий, обеспечивающих снижение внешней нагрузки. Разработка комплекса мероприятий по соблюдению правил водоохранной зоны: оборудование рекреационных зон, ликвидация свалок, отведение сточных промышленных и бытовых вод, а также ливневых стоков, подключение частных коттеджей к системе канализации.
- выявление основных факторов бактериального загрязнения в различные сезоны: хозяйствственно-бытовых стоков с не канализованной территории, необорудованных пляжей, избыточной рекреационной нагрузки на водоемы в летнее время. Расчет допустимой рекреационной нагрузки на водоемы. Разработка предложений по ее регулированию: организации закрытых, платных и надлежащим образом оборудованных пляжей, рекультивации и оборудованию открытых пляжей.
- геохимическая съемка почвенного покрова водосборов и пляжей, оценка химического и бактериального загрязнения грунта и песка с целью выяснения необходимости их рекультивации. Разработка рекомендаций по рекультивации загрязненных участков либо путем подсыпки чистого грунта, либо путем вывоза загрязненного грунта.
- детальная съемка донных отложений озер с целью выявления уровня и площади их загрязнения, а также мощности загрязненного слоя для последующей оценки целесообразности и эффективности различных вариантов рекультивации дна за счет изъятия донных отложений или их искусственной изоляции в результате подсыпки песка. Подготовка соответствующих рекомендаций.
- выявление анаэробных зон, т.е. безжизненных из-за отсутствия кислорода. Разработка рекомендаций по аэрации водоемов.
- выявление роли водной растительности в формировании химического состава воды и донных отложений водоемов. Определение площади распространения водной растительности и ее химического состава. Оценка эффективности мероприятий по выкашиванию макрофитов и подготовка соответствующих рекомендаций.

Регулярные наблюдения за экологическим состоянием озерных экосистем дают

возможность выявить ранние стадии их деградации и быстрее применять соответствующие мероприятия по управлению озерными процессами. В таких случаях эти мероприятия более эффективны и обходятся значительно дешевле. Следует также отметить, что мероприятия по сохранению и восстановлению экосистем озер должны осуществляться комплексно как на водосборе, так и в самом водоеме.

### **Заключение**

Перечисленные исследования составили большую часть работ, входящих в компетенцию научно – исследовательских организаций и имеющих целью создание системы рационального управления водными объектами Санкт-Петербурга. В ближайшее время предстоит сосредоточить усилие на разработке научного обоснования предлагаемых водоохранных и восстановительных мероприятий. При этом указанные исследования потребуют сочетания экспериментальных работ и теоретических исследований и объединения усилий специалистов различных научных направлений: гидрологов, гидрохимиков, токсикологов, гидробиологов. Конечным итогом исследований должны явиться рекомендации по практическому применению водоохранных и восстановительных мероприятий и их использованию в системе принятия решений природоохранными органами Санкт-Петербурга.

Настоящее исследование проводится при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект 99–05-64845 «Водные объекты мегаполисов: критерии экологического состояния и концепция рационального управления»)

### *Литература*

1. Кондратьев С.А., Гаенко М.И., Ефремова Л.В., Аксенчук И.А., Маркова Е.Г. 1999. Геоинформационная система «Лахта». – Тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Экологические и методологические проблемы больших городов и промышленных зон». СПб, Изд. РГГМУ, с. 16-17.
2. Кондратьев С.А., Гронская Т.П., Ефремова Л.В., Игнатьева Н.В., Сорокин И.Н., Алябина Г.А. 1998. Водные объекты в условиях техногенеза: методология мониторинга и критерии допустимой нагрузки. - Изд. НИИХ СПбГУ, 68 с.
3. Кондратьев С.А., Гронская Т.П. 1999. Методология мониторинга водных объектов урбанизированных территорий. – Тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Экологические и методологические проблемы больших городов и промышленных зон». СПб, Изд. РГГМУ, с. 18-20.
4. Шелякина М.А., Чикуреева Л.С. 1999. Государственное управление водопользованием.- в кн. «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге за 1980 – 1999 гг.» под ред. Баева А.С. и Сорокина Н.Д., СПб, Изд-во Сезам, с. 119-133.
5. Gronskaya,T.P., Silina, N.I. and Varfolomeeva, I.N. 1999. Ecological state of St. Petersburg inland water bodies. Proc. 8th Int. Conf. on the Conservation and Management of Lakes. Copenhagen, S8-1, 5 p.
6. Kondratyev S., Gronskaya T., Ignatjeva N., Alybina G. 1999. Heavy metals in urban aquatic systems. – Proc. Workshop on Effect-based Approaches for Heavy Metals, Schwerin, Germany, October 1999, Umweltbundesamt Texte 87/99, Berlin, pp 121 - 125.