

На правах рукописи

Микушина Вера Николаевна

ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИИС ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
КОНТРОЛЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

Специальность 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Санкт-Петербург - 2010

Работа выполнена на кафедре Информационноизмерительных систем и технологий
Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Куракина Наталия Игоревна

Официальные
оппоненты: доктор технических наук,
профессор
Ляпин Константин Константинович

кандидат технических наук, доцент
Коршунов Игорь Львович

Ведущая организация: Российский государственный
гидрометеорологический
университет

Защита состоится «___» ноября 2010 года в _____ на заседании по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.238.06 в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, д.5, аудитория _____

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан 22 октября 2010г

Ученый секретарь совета
по защите докторских
и кандидатских диссертаций

А.М. Боронахин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность диссертационного исследования

С каждым днем все более актуальной проблемой мирового сообщества становится возрастающий риск для жизни и здоровья человека из-за снижения качества окружающей природной среды, постоянной угрозы крупных техногенных катастроф и деградации природных экосистем. Требуется проведение систематических и экстренных работ по оценке качества природных, в том числе и водных объектов и для установления характеристик загрязнения при планировании мер по устранению или нейтрализации действия загрязняющего вещества.

Сбор данных об окружающей среде и эффективное использование полученной информации приобретают все большее значение. Пространственно – временная динамика природных объектов требует регулярного выполнения серий измерений, накопления статистических данных с максимально полным описанием условий их получения с целью обеспечения возможности их использования для решения широкого круга как фундаментальных, так и прикладных задач оценки состояния объектов окружающей среды и отслеживания происходящих в них изменений. Состояние каждого водного объекта и его взаимосвязи описываются множеством качественных и количественных характеристик, сбор которых обходится дорого. Необходим метод, позволяющий сократить количество проводимых измерений с сохранением гарантии получения информации, необходимой для принятия корректных управленческих решений при проведении оценки состояния водных объектов. Это позволит снизить затраты материальных и временных ресурсов (топливо, реактивы, рабочее время специалистов).

Особо остро эти вопросы встают при аварийных и чрезвычайных ситуациях. Сокращение времени воздействия загрязняющего вещества и его объема в водном объекте сокращает вероятность перехода объекта в невосстанавливаемое состояние. После установления местонахождения зоны с максимальным присутствием загрязняющего есть возможность установить источник загрязнения.

Методика ведения мониторинга с целью поиска зоны максимального загрязнения должна быть адаптирована под аппаратно-техническую базу, применяемую при экологическом контроле. Систему экологического контроля в целом целесообразно построить в классе автоматизированных информационных систем, в которых используются последние достижения в области информационных и коммуникационных технологий, интеллектуальных систем, систем компьютерного моделирования – в классе геоинформационных систем (ГИС). ГИС обеспечит организацию хранения и обработки пространственных и статистических данных о природном объекте. Средства визуализации

данных ГИС позволят наглядно отображать пространственные свойства, а также информацию о ходе и результатах мониторинга в различных комбинациях, зависящих от решаемых на данный момент задач.

Актуальность диссертационного исследования обусловлена необходимостью сокращать расходы материальных и временных ресурсов на проведение экологического контроля с сохранением достоверности результатов, повышения эффективности мер по нейтрализации действия загрязняющих веществ, определения источника сбросов загрязняющего вещества после установления наличия факта такового.

Цель диссертационного исследования заключается в разработке методического и информационного обеспечения системы экологического контроля водных объектов для получения достоверных результатов об их состоянии, в создании геоинформационной системы пространственного анализа загрязнения водоемов с целью повышения эффективности проводимых исследований.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Классификация и сравнение методов планирования измерительного эксперимента для нахождения экстремума при решении задачи определения локальной зоны максимального загрязнения.

2. Анализ внешних факторов, определяющих местонахождение зоны максимального загрязнения; исследование их влияния на измерительный эксперимент; разработка подхода к учету внешних факторов при проведении экологического контроля с целью поиска зоны максимального загрязнения.

3. Разработка методики ведения экологического контроля водных объектов при помощи мобильных средств с учетом морфометрических свойств водного объекта, наличия ветровых и внутренних течений и особенностей применяемых технических средств.

4. Формулировка и обоснование критерия выбора оптимального режима ведения экологического контроля для обеспечения требуемой точности.

5. Разработка геоинформационной модели системы контроля водных объектов, учитывающая специфику влияния внешних факторов на качество воды исследуемого водного объекта.

6. Создание программной системы пространственного анализа загрязнения водоемов с использованием геоинформационной системы (ГИС).

Основными методами исследования в работе явились методы планирования эксперимента, методы анализа и обобщения данных, метрологический анализ,

современные средства математико-статистической обработки данных, методы математического и геоинформационного моделирования, организации баз пространственных данных и принципы объектно-ориентированного программирования.

На защиту выносятся:

- Подход к учету внешних факторов, определяющих нахождение зоны максимального загрязнения при проведении измерительного эксперимента.
- Методика ведения мониторинга водного объекта при помощи мобильных средств с целью поиска зоны максимального загрязнения с учетом морфометрических и гидрологических свойств водоемов, а также особенностей технических средств экологического контроля.
- Геоинформационная модель системы контроля экологического состояния, учитывающая специфику пространственно-распределенного объекта.
- Критерии выбора оптимального режима ведения экологического контроля водного объекта с целью обеспечения требуемой достоверности определения местонахождения зоны максимального загрязнения.

Научная новизна

1. Разработанный подход к учету внешних факторов позволяет определять нахождение зоны максимального загрязнения в водном объекте при наличии внутренних и ветровых течений, учесть параметрические данные о водном объекте.

2. Разработанная методика ведения экологического контроля водного объекта при помощи мобильных средств позволяет с требуемой достоверностью определить местонахождение зоны максимального загрязнения.

3. Разработанная геоинформационная модель системы контроля, учитывающая специфику исследуемого пространственно-распределенного объекта, его морфометрические и гидродинамические данные служит основой для специализированного программного обеспечения информационной поддержки ведения экологического контроля.

4. Сформулированные критерии выбора оптимального режима экологического контроля водного объекта позволяют определить местонахождение зоны максимального загрязнения с требуемой точностью и учесть ресурсные (временные и материальные) ограничения на проведение исследования.

Достоверность научных положений и выводов подтверждена непротиворечивостью полученных результатов данным в литературных источниках, корректным применением современных методов математико-статистической обработки исходных данных.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов исследований состоит в возможности использования разработанной методики ведения мониторинга водного объекта при помощи мобильных средств с целью поиска зоны максимального загрязнения как при устранении последствий ЧС, так и для их предупреждения и предотвращения. Осуществлена адаптация измерительного эксперимента к реальным природным процессам, применительно к конкретному водному объекту – акватории восточной части Финского залива. Разработанная структура геоинформационной модели может быть применима к различным водным территориям для большого числа задач, решаемых при использовании геоинформационных технологий в рамках экологических вопросов.

Реализация и внедрение результатов исследования

Результаты работы применяются в Балтийской дирекции по техническому обеспечению и надзору на море в процессе практической деятельности проводимой в соответствии с планом природоохранных мероприятий Росприроднадзора: «Мониторинг состояния загрязнения вод и биоты Невской губы и восточной части Финского залива», а также разработанные научные результаты легли в основу разработки системы мониторинга водных объектов в ООО «НордГидро».

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на международном конгрессе «Цели развития тысячелетия» и инновационные принципы устойчивого развития качества регионов (Голицыно, ноябрь 2009г.), VII семинаре «Использование ГИС для управления территориями, городами, предприятиями» (Анапа, 2009г.), на всероссийском конкурсе инновационных проектов студентов и аспирантов (Москва, сентябрь 2006г.), на региональной конференции «Проблемы прогнозирования и предотвращения ЧС и их последствий» (Санкт-Петербург, ноябрь 2005г.; ноябрь 2006г.), на 7-ой научно-практической конференции пользователей ГИС ESRI и Leica Geosystems Северо-Западного региона России (Санкт-Петербург, май, 2006г.).

Публикации. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 10 статьях и докладах, все по теме диссертации, среди которых 2 публикации в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК. Доклады доложены и получили одобрение на 6 международных, всероссийских и межвузовских научно-практических конференциях перечисленных в конце автореферата.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 144 страницах машинописного текста, включает 13 таблиц, 49 рисунков. Список цитируемой литературы из 109 наименований, среди которых 101 отечественных и 8 иностранных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определены цель и задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе показано, что учет приоритетных факторов, определяющих качество воды, повышает эффективность ведения экологического контроля и создает оптимальные условия для определения корректирующих действий с целью обеспечения рационального водопользования и охраны окружающей среды.

Произведена классификация составляющих характеристики качества воды, описаны основные источники загрязнения водных объектов, обоснована необходимость проведения систематических наблюдений за экологическим состоянием водных объектов. При этом выявлено, что традиционные методы контроля имеют принципиальный недостаток – они не оперативны, характеризуют загрязнение водного объекта только в местах отбора проб, не отслеживают динамику происходящих изменений, не влияют на эффективность принимаемых мер по устранению воздействия загрязнения в силу того, что не определяют местонахождение зоны максимального загрязнения. Для оперативного контроля за состоянием водных объектов целесообразно использовать лаборатории, установленные на борту небольших водных судов (патрульных катеров), но при этом следует учитывать все особенности применяемых технических средств при проведении мониторинга. Проведен анализ технических средств экологического контроля, выявлены характеристики, подлежащие учету при разработке методики экологического контроля:

- средняя скорость движения судна,
- габаритные размеры,
- установленное на борту контрольно-измерительное оборудование,
- характеристики используемой системы позиционирования.

В качестве объекта для апробации решаемых задач выбран Финский залив. Показано, что особенности расположения Финского залива, антропогенная нагрузка на него обуславливают необходимость не только в систематическом проведении мониторинговых работ, но и в оперативных работах, направленных на обнаружение, выявление причин и

объемов аварийных или незаконно сброшенных загрязнений. На основе проведенного анализа результатов многолетнего контроля экологического состояния Финского залива выделены приоритетные факторы, которые следует анализировать при оценке качества воды в заливе.

Исследованы гидрологические и морфометрические характеристики Финского залива. Систематизированы данные скорости и направления течений водных масс. Установлено, что динамика вод преимущественно определяется атмосферными процессами и временами года. Скорости ветровых течений в целом не велики, в 90% случаев они не превышают 20-25 см/с в открытой части залива и 15-20 см/с в прибрежной зоне. Путем наложения векторов ветровой составляющей на поле квазипостоянных стоковых течений сформированы поля суммарных поверхностных течений в зависимости от:

- направления ветра (рассмотрено 8 основных направлений ветра – северный, северо-восточный, восточный, юго-восточный, южный, юго-западный, западный, северо-западный),
- скорости ветра (для значений 5, 10, 15 и 20 м/с),
- времени года.

На основе проведенной классификации построены карты течений, которые служат основой для создания гидрологической модели водного объекта в геоинформационной среде (Рисунок 1).

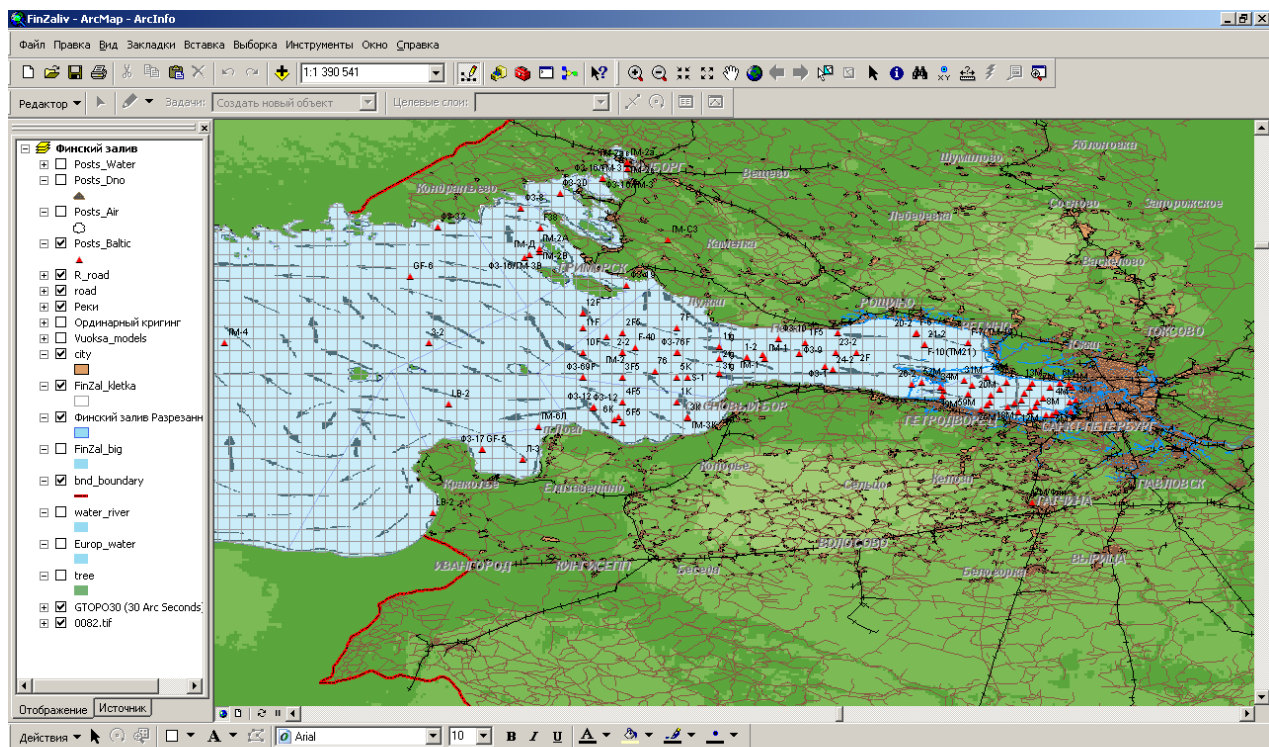


Рисунок 1. Карта-схема суммарных течений в акватории восточной части ФЗ

Во второй главе рассматриваются методы планирования измерительного эксперимента, выбирается метод для проведения экологического контроля водного объекта с целью поиска зоны максимального загрязнения.

Планирование эксперимента – это целенаправленное управление, которое реализуется в условиях неполного знания механизма изучаемого явления. При проведении экологического контроля невозможно и не рационально проводить полный перебор входных или выходных состояний. Целесообразно делать выбор количества измерений в эксперименте непосредственно во время ведения мониторинга в зависимости от получаемых результатов (откликов системы). Таким образом, есть необходимость проведения оптимизации измерительного процесса при проведении экологических исследований водных объектов.

Главный критерий выбора метода планирования экологического эксперимента с целью поиска зоны максимального загрязнения – число проводимых отборов проб $N_{проб}$: их должно быть наименьшее количество при сохранении гарантии получения достоверных результатов ($N_{проб} \rightarrow \min$).

Рассмотрены две группы методов планирования измерительного эксперимента: градиентные и неградиентные. Градиентные методы сильно уступают неградиентным при проведении сравнения по указанному критерию

Измерительный эксперимент строится на изменении входных факторов X (координат мест отбора проб) и количественной оценки откликов системы $Y(X)$ (значений концентрации загрязняющего вещества), при этом решается задача определения нахождения зоны максимума отклика: $Y(X) \rightarrow \max$.

С учетом критерия по количеству проводимых отборов проб из группы неградиентных методов планирования эксперимента выбран симплекс-метод. Он полностью соответствует требованию, является помехоустойчивым, эффективным и позволяет не только определять нахождение максимума, но и отслеживать его положение, если экстремум медленно смещается.

При использовании симплекс-метода движение к оптимуму осуществляется последовательным отражением вершин симплекса с худшими значениями отклика. С этой целью следует провести измерения отклика Y во всех вершинах симплекса и сопоставить получившиеся значения $y_1, y_2 \dots y_{n+1}$, выделив среди них наименьшее $y_q : y_q = \min \{y_1, y_2 \dots y_{n+1}\}$. Шаг поиска осуществляется переходом от данного симплекса к новому путем исключения вершины x_q , где отклик y_q минимален, и определения новой

вершины x_q^u , представляющей собой зеркальное отражение x_q относительно грани, общей обоим симплексам. Многократное отражение вершин с худшими значениями отклика приводит к постепенному перемещению центра симплекса к экстремуму по некоторой ломаной линии. После проведения эксперимента в вершинах исходного симплекса на каждом шаге поиска требуется реализовать всего один дополнительный опыт, что и обеспечивает выполнение требования: $N_{проб} \rightarrow \min$.

Показано, что для ведения мониторинга водных объектов необходимо ввести в симплекс-метод корректировку на наличие постоянных и ветровых течений, учесть морфологические свойства водного объекта и особенности применяемых технических средств контроля:

$$\begin{cases} Y(X) \rightarrow \max \\ X_i : \{G_{BO}, P, V_{BO}, T_{изм}\}, \end{cases}$$

где G_{BO} – гидрологические свойства водного объекта, P – ресурсные ограничения, V_{BO} – морфологические свойства водного объекта, $T_{изм}$ – особенности применяемых технических средств.

Третья глава посвящена разработке методики ведения экологического контроля водных объектов при помощи мобильных средств с целью поиска зоны максимального загрязнения.

Разработан подход учета внешних факторов, влияющих на местоположение зоны максимального загрязнения. Рассмотрено влияние морфометрических свойств водного объекта, гидрологического режима водоема и ряда особенностей применяемых технических средств.

Все природные объекты, в том числе и водные, имеют пространственные границы. В процессе проведения экологического контроля следует рассматривать еще и границы, в пределах которых возможно реализовать измерительные процедуры используемыми техническими средствами: осуществить отбор проб воды и провести лабораторный анализ ее состава.

Пусть область D определяется границами исследуемого природного водного объекта. При проведении экологического контроля (Рисунок 2) область определения координат пунктов отбора проб (фактора X) будет иметь значение D , скорректированное за счет габаритных размеров применяемого патрульного судна, а также особенностей размещения на нем отборного и измерительного оборудования:

$$D^* = D - L_o - L_s, \quad (1)$$

где L_s - длина судна, L_o определяется осадкой судна и изменением глубины (рельефом дна) водного объекта у береговых линий, выражает расстояние от берега, ближе которого исследовательское судно не может подойти к берегу.

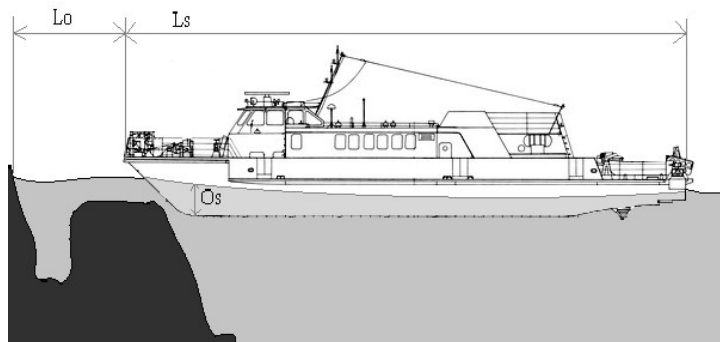


Рисунок 2. Ограничения, вызванные особенностями технического средства.

При рассмотрении динамического взаимодействия пограничных слоев «вода – воздух» появляется следующий фактор, влияющий на распространение загрязняющих веществ в водоеме – ветровые волны. Помимо ветровых волн присутствуют и течения, переносящие загрязняющие вещества и этот фактор также требует специального рассмотрения. Для учета перечисленных влияющих факторов при ведении мониторинга водных объектов необходимо ввести в симплекс-метод корректировку на наличие постоянных и ветровых течений, учесть пространственные свойства природного объекта, а также параметры технического средства контроля.

Экологический контроль с целью поиска зоны максимального загрязнения начинается с момента обнаружения превышения порога удельной электрической проводимости (УЭП) и пульсационного значения УЭП водной среды. Далее осуществляется отбор проб и гидрохимический анализ, выявляется, какое загрязняющее вещество имеет превышенные концентрации. По установленному загрязнителю начинается процедура поиска зоны максимального загрязнения.

Отбор проб и измерение концентраций c_1, c_2, c_3 производится в пунктах, в пространственной плоскости располагающихся в вершинах треугольника (симплекса) - $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$. После того, как произведен выбор точки симплекса, в которой концентрация загрязняющего вещества имеет наименьшее значение: $c_g = \min(c_1, c_2, c_3)$, производится расчет координат нового пункта отбора проб по выражениям:

$$x_3 = \frac{x_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + x_2 \operatorname{ctg} \beta_1 - y_1 + y_2}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2} \quad (2)$$

$$y_3 = \frac{y_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + y_2 \operatorname{ctg} \beta_1 + x_1 - x_2}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2} \quad (3)$$

Получив значение координат (x_3, y_3) – точка B на рисунке 3, необходимо провести корректировку для определения координат (x'_3, y'_3) следующего места отбора проб (точка C на рисунке) на суммарное течение, состоящее из внутреннего и ветрового.

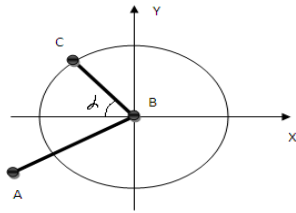


Рисунок 3. Варианты расположения скорректированной точки (C) в зависимости от направления течения (α)

Угол α определяется исходя из направления вектора течения (определяется по картам суммарных течений). Расчет координат (x'_3, y'_3) точки отбора проб производится по формулам:

$$x'_3 = x_3 \pm d_{CB} \cos \alpha = x_3 \pm \cos \alpha V_{\text{теч}} \frac{\sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}}{V_{\text{кат}}} \quad (4)$$

$$y'_3 = y_3 \pm d_{CB} \sin \alpha = y_3 \pm \sin \alpha V_{\text{теч}} \frac{\sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}}{V_{\text{кат}}}, \quad (5)$$

где $V_{\text{теч}}$ – суммарная скорость течения, $V_{\text{кат}}$ – средняя скорость движения мобильного технического средства, (x_2, y_2) – координаты точки A на рисунке 3.

Значения полученных координат новой вершины (x'_3, y'_3) проверяется на принадлежность к области определения D^* . Если точка не принадлежит области определения $(x'_3, y'_3) \notin D^*$, то увеличивается значение счетчика числа «отброшенных» вершин симплекса N , производится возврат к предыдущему симплексу и движение в сторону второго наименьшего значения.

После получения нового симплекса проводится проверка на выполнение признака окончания процедуры поиска. Зона максимального загрязнения будет найдена при выполнении следующего условия: в 4 – N последовательных положениях сохраняется одна общая точка.

При невыполнении условия продолжается выбор наименьшего значения концентрации загрязняющего вещества, построение нового симплекса, проверка признака окончания процедуры и т.д.

Если в двух вершинах симплекса концентрации загрязняющего вещества одинаковые, то решение принимает эксперт, основываясь на информации, полученной в ходе предыдущих измерений.

Если наблюдение в зеркальной точке нового симплекса снова окажется наихудшим, с наименьшим среди значений отклика во всех вершинах этого симплекса, то формальное применение правила (отражение вершины с наименьшим значением отклика относительно противоположного ребра симплекса) вновь приведет в отброшенную вершину предыдущего симплекса. Тогда вместо движения к оптимуму возникают колебания симплекса относительно одной и той же грани. Чтобы избежать их, следует вернуться к старому симплексу, отбросить в нем другую вершину со вторым наименьшим значением отклика, то есть худшую из оставшихся Звершин – без учета ранее использовавшейся с наименьшим значением отклика. Это правило следует применять многократно путем постепенного перебора вершин данного симплекса до тех пор, пока симплекс перестанет колебаться и вновь начнется перемещение в факторном пространстве.

Подход к учету внешних факторов, определяющих нахождение зоны максимального загрязнения, основан на выявлении и использовании при проведении экологического контроля значений внутренних и ветровых течений в водном объекте, параметрических данных о водном объекте и накладываемых ресурсных ограничений.

Блок схема алгоритма экологического контроля водных объектов с целью поиска зоны максимального загрязнения представлена на Рисунке 4.

Проведенный метрологический анализ показал, что точность определения местонахождения зоны максимального загрязнения в основном определяется размером шага (ребра) симплекса Δd .

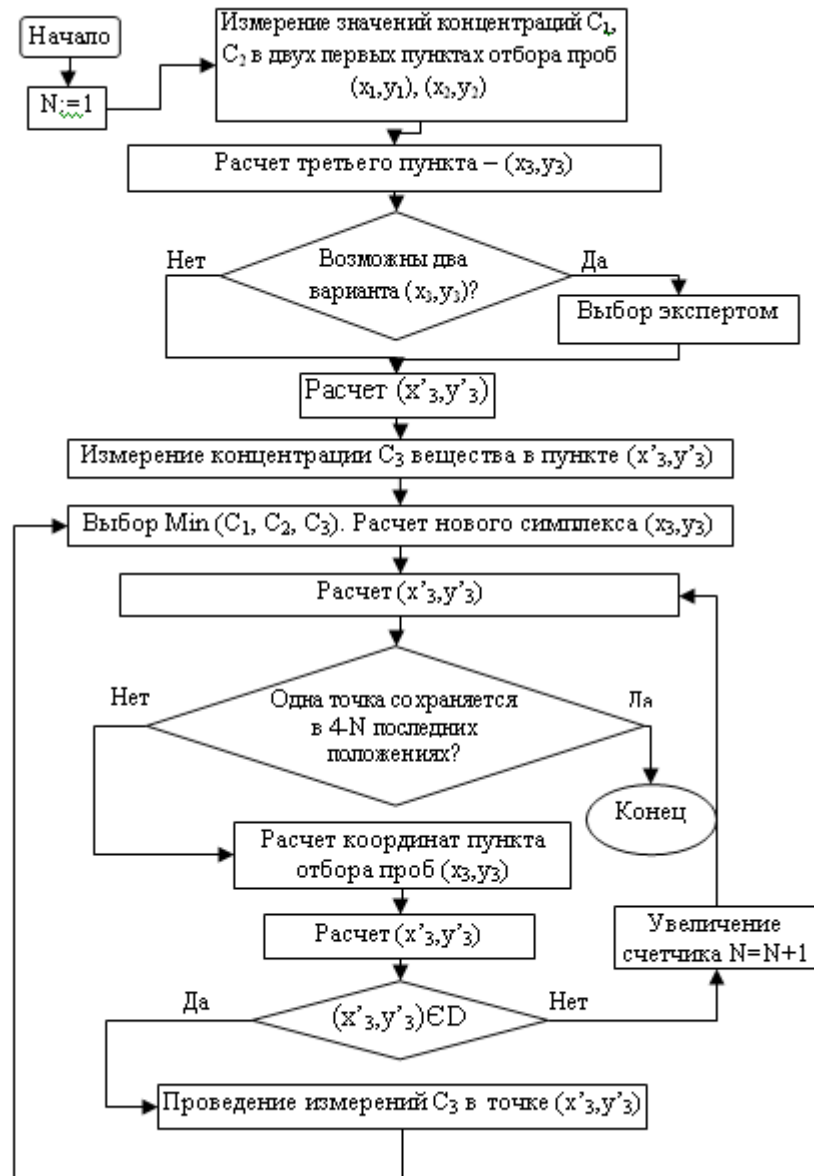


Рисунок 4. Блок-схема алгоритма поиска зоны максимального загрязнения

При планировании и проведении экологического контроля водного объекта размер шага должен выбираться экспертом в зависимости от:

- вида загрязняющего вещества, а точнее времени проведения экспресс-анализа $\Delta t_{\text{анализа}}$ измерения концентрации при безостановочном режиме движения катера:

$$\Delta d_{\min} = \Delta t_{\text{анализа}} V_{\text{катера}}$$

- требований по точности определения зоны локализации загрязнения,
- ресурсных ограничений – числа доступных для проведения

измерительных процедур $N_{\text{проб}} : \Delta d \leq \sqrt{\frac{4S_{\text{объекта}}}{\sqrt{3}(N_{\text{проб}} - 2)}}$, где $S_{\text{объекта}}$ – площадь поверхности водного объекта,

- морфометрических свойств водного объекта: длина шага симплекса должна быть вдвое меньше самого узкого (короткого) участка водной поверхности.

Суммарная погрешность определения местоположения зоны максимального загрязнения определяется из выражения:

$$\Delta_{\text{сум.}} = \Delta_{\text{GPS}} + 0,13 \frac{1}{V_{\text{кам}}} \sum_{i=1}^N V_{\text{меч}_i} \sqrt{(x_{3i} - x_{2i})^2 + (y_{3i} - y_{2i})^2}, \quad \text{где } \delta_{\text{GPS}} - \text{ погрешность определения}$$

географических координат применяемой системой позиционирования.

Разработанная методика поиска зоны максимального загрязнения служит основой для специализированного программного обеспечения информационной поддержки ведения экологического мониторинга

В четвертой главе на основе методики разработана структура информационно-измерительной системы и программный модуль экологического контроля водных объектов с использованием геоинформационных технологий.

В основе информационно-измерительной системы лежит геоинформационная модель системы контроля водного объекта. Организационная структура геоинформационной модели включает пространственную топооснову, базу данных результатов контроля, нормативную базу, физическую и гидрологическую модели анализируемых водных объектов.

Гидрологическая модель водного объекта построена на основании слоя водосбора, в нем выделяются береговая линия, мель и острова для определения области факторного пространства. Для корректного учета влияния внешних факторов на водный объект площадь его поверхности разбивается на участки, каждому участку ставится в соответствие код, по которому производится связывание данных о внешних факторах. Построенная модель суммарных течений сохраняется в базе геоданных.

В состав информационно-измерительной системы включен программный модуль пространственного анализа загрязнения водоемов, реализующий разработанную методику поиска зоны максимального загрязнения. Разработанный модуль позволяет в автоматизированном режиме осуществлять ввод данных о проведенных измерениях (результаты и сопутствующую информацию), производит обращение к базе данных гидрологических параметров водного объекта, осуществляет расчеты для определения координат следующей точки отбора проб и отслеживает по признакам окончание процедуры поиска зоны максимального загрязнения (Рисунок 5).

Для апробации методики экологического контроля были разработаны модели загрязнения водного объекта с учетом различных вариантов пространственного

распространения загрязняющего вещества. Полученные результаты сопоставлены с классическим способом поиска зоны загрязнения галсами. В результате применения разработанной методики эффективность поиска увеличилась почти в 4 раза для модели загрязнения в стоячей воде и в 3 раза при наличии течений.

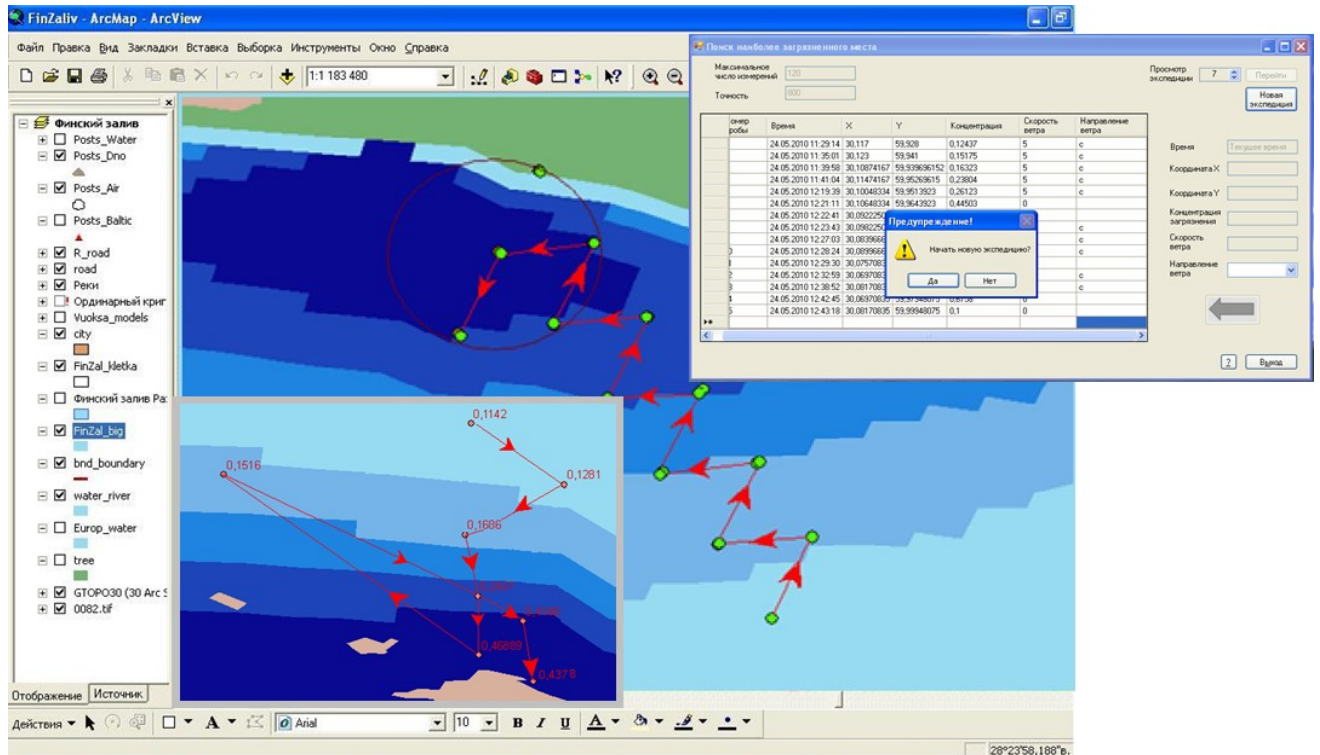


Рисунок 5. Проведение поиска зоны максимального загрязнения средствами ГИС системы экологического контроля.

В **заключении** приводятся итоги работы, перечисляются полученные научные и практические результаты, раскрывается степень их достоверности, указываются сведения о реализации научных результатов, а также предложения по дальнейшему использованию результатов исследования, отмечаются нерешенные вопросы, которые могут служить предметом дальнейших исследований.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Решение задач диссертационного исследования позволило получить новые научные и практические результаты:

- Проведен сравнительный анализ методов планирования эксперимента для поиска зоны максимального загрязнения, выбран симплекс-метод как обладающий наибольшей помехоустойчивостью, эффективностью и позволяющий работать в нестационарных условиях

- Выделены приоритетные факторы, которые следует анализировать при оценке качества воды, что повышает эффективность ведения контроля и создает оптимальные условия для определения корректирующих действий по предотвращению загрязнений.
- Предложены подходы к учету морфометрических и гидрологических свойств водного объекта, а также особенностей технических средств экологического контроля.
- Разработана методика планирования измерительного эксперимента с целью поиска зоны максимального загрязнения.
- Проведен метрологический анализ результатов, позволивший сформулировать правила выбора режимов работы мобильных средств, а также оценить достоверность получаемых результатов.
- Разработана геоинформационная модель системы контроля, учитывающая специфику пространственно – распределенного объекта и влияние внешних факторов, являющаяся основой информационной поддержки экологического контроля водных объектов.
- Создана программная система, позволяющая в автоматизированном режиме, в реальном времени сопровождать измерительный эксперимент, визуализировать результаты на карте в среде ГИС.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. Информационно-измерительная система экологического контроля водных объектов с использованием геоинформационных технологий // Приборы №9 (123), 2010, С.49-51.
2. Микушина В.Н., Куракина Н.И. Методика ведения мониторинга водных объектов на базе геоинформационных технологий // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» №8, 2010. С 85-88.

Другие статьи и материалы конференций:

3. Микушина В.Н. Планирование измерительного эксперимента с использованием ГИС технологий // Сб. материалов Международного симпозиума «Новые информационные технологии и менеджмент качества», Турция, 2009, С. 83.
4. Микушина В.Н., Минина А.А. Мониторинг, моделирование и управление водохозяйственными системами в среде ГИС // Сборник трудов VII семинара “Использование ГИС для управления территориями, городами, предприятиями”, Анапа, 2009, С. 56-58.
5. Иващенко О.А, Микушина В.Н. Система хранения, обработки и представления распределённой экологической информации на базе геоинформационных

- технологий // Материалы международного конгресса «Цели развития тысячелетия и инновационные принципы устойчивого развития Арктических регионов», 13-14 ноября 2009, С 82-85.
6. Микушина В.Н. Обработка результатов измерений экологического состояния водных объектов с использованием геоинформационных систем // Информационные технологии моделирования и управления. Воронеж: Научная книга, 2007. С.1015-1018.
 7. Емельянова В.Н., Куракина Н.И., Коробейников С.А. Пространственное моделирование загрязнения водных объектов // ArcReview №1 (36), 2006. С.12-13.
 8. Емельянова В.Н. Геоинформационная система пространственного моделирования экологического состояния водных объектов // Сборник материалов 7 научно-практической конференции пользователей ГИС ESRI & Leica Geosystems Северо-Запада, СПб, 2006, С. 43-46.
 9. Емельянова В.Н., Куракина Н.И., Пузанов П.И. Пространственный анализ состояния природных объектов на базе ГИС // Сборник трудов Региональной научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования и предотвращения ЧС и их последствий», Санкт-Петербург, 2006, С.58-60.
 10. Емельянова В.Н., Куракина Н.И. Пространственное моделирование загрязнения природных объектов с использованием геоинформационных систем // Сборник трудов Региональной конференции «Проблемы прогнозирования и предотвращения ЧС и их последствий», СПб, 2005. С.46-47.