

На правах рукописи



Паршин Александр Вадимович

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА  
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОД ОЗЕРА БАЙКАЛ

25.00.35 – геоинформатика

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск - 2012

Работа выполнена в ФГБУН Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.

Научный руководитель: Доктор геолого-минералогических наук  
**Чудненко Константин Вадимович**

Официальные оппоненты: **Леви Кирилл Георгиевич**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, зам. дир. по научной работе ИЗК СО РАН.

**Мироманов Андрей Викторович**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры ТГР НИ ИрГТУ.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Сибирского отделения РАН, г. Улан-Удэ.

Защита состоится 22 июня 2012 года в 14<sup>00</sup> в аудитории Е-301 на заседании диссертационного совета Д 212.073.01 при Иркутском государственном техническом университете по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83. Тел./факс 8(3952)405-1112; e-mail: [dis@istu.edu](mailto:dis@istu.edu).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Иркутского государственного технического университета.

Автореферат разослан 20 мая 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

 Мальцева Галина Дмитриевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Озеро Байкал и его водосборный бассейн принадлежат к уникальным геосистемам мира требующим своего сохранения в естественном виде согласно Конвенции об охране всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО и законодательству РФ. Однако производственная деятельность человека, осуществляемая в настоящий момент на Байкальской природной территории (БПТ), не может быть прекращена, и для оперативного получения информации об уровне воздействия хозяйственной деятельности на экосистему озера Байкал необходимо формирование системы мониторинга, соответствующей по своей полноте и научно-техническому уровню степени ответственности за сохранность особо охраняемого объекта. Действующая в настоящее время система наблюдений является объектом постоянной критики со стороны научного сообщества, в 2007 году решением заседания Межведомственной комиссии Совета Безопасности Российской Федерации по экологической безопасности несовершенство государственной системы мониторинга окружающей среды озера Байкал было признано официально. Совершенствование этой системы является важной государственной задачей.

Современный этап развития систем мониторинга требует создания региональных банков данных наблюдений и многопользовательских информационных систем доступа в рамках единого информационного пространства. Это обстоятельство способствует формированию информационных ресурсов систем управления природопользованием регионального, территориального и ведомственного уровней, включающих результаты мониторинга воздействий и состояния загрязнения объектов природной среды. ГИС как один из компонентов информационных ресурсов позволяют согласованно представлять и системно анализировать информацию о географически связанных объектах природной среды.

Данная работа решает задачу совершенствования системы мониторинга водной среды озера, выполняемую подразделениями Федерального агентства водных ресурсов. Как и прочие виды мониторинга, этот характеризуется рядом недостатков. К примеру, действующие в настоящий момент требования к качеству воды и нормы допустимых воздействий на водную среду совершенно неприменимы для Байкала, поскольку установленные значения ПДК несопоставимы с концентрациями растворенных веществ, характерными для природной среды (далее именуемыми фоновыми). Существуют диаметрально противоположные мнения о современном качестве воды, обусловленные неопределенностью в значениях наблюдаемых гидрохимических свойств озера. Специалистами в области охраны природы отмечались и другие проблемы, требующие скорейшего решения: несвоевременное получение результатов мониторинга, неинформативный набор определяемых показателей, спорное качество получаемых в ходе мониторинга данных и необоснованные критерии выявления аномальных состояний природной среды, не позволяющие получать адекватные выводы о состоянии водной среды озера.

Актуальность работы обусловлена необходимостью формирования эффективного механизма охраны озера Байкал, а также получения достоверных данных о химических характеристиках водной среды, которые имеют

первостепенную важность не только с позиций решения практических задач охраны озера, но и с научной точки зрения.

**Предметом исследования** является геоинформационная система мониторинга оз. Байкал.

**Объектом исследования** являются гидрохимические свойства поверхностного (до глубины 2 м) слоя вод озера и современное экосостояние его водной среды.

**Цель работы:** совершенствование действующей системы государственного гидрохимического мониторинга озера Байкал с использованием имеющихся в распоряжении Федерального агентства водных ресурсов технических средств на основе геоинформационного подхода; разработка и создание географической информационной системы экологического мониторинга, основанной на научно обоснованных критериях обнаружения аномалий состава водной среды.

#### **Основные задачи:**

1) Проведение научно обоснованного анализа надежности и функциональности используемых программных и аппаратных средств, модернизация существующих и внедрение дополнительных компонентов с целью организации распределенной географической информационной системы.

2) Создание на основе открытых источников пространственных данных картографических материалов, предназначенных для обеспечения судовождения и публикации результатов исследований.

3) Ведение мониторинга оз. Байкал с использованием созданной ГИС. Оценка практической применимости системы и эффективности ее работы, доработка средств и методов мониторинга с учетом полученной информации.

4) Получение новой информации о фоновых концентрациях химических элементов и особенностях гидрохимического режима поверхностного слоя вод озера Байкал. На основе полученных данных, разработка классов атрибутов ГИС, наилучшим образом позволяющих обнаруживать аномальные состояния природной среды.

5) Формирование итоговых материалов установленного образца, характеризующих современное состояние водной среды озера. Разработка прогнозов и рекомендаций для дальнейшего развития системы мониторинга.

#### **Фактический материал и методика исследований**

В основе работы лежат данные и материалы, полученные в результате 13 экспедиций на НИС «Исток» в 2009-2011 гг.

Выполненные исследования включали в себя следующие виды работ:

- гидрохимические исследования озера в процессе движения судна по 13 показателям. Общее количество пространственно привязанных точек измерений - около двух миллионов;

- дополнительный пробоотбор в 46 пунктах наблюдений на озере Байкал с последующим анализом на 42 показателя (итоговое количество проведенных измерений - 2161);

- батиметрические исследования дна озера Байкал эхолотами Furuno 1200L, гидролокатором бокового обзора C-MAX CM2.

Создаваемая информационная система включает следующие программные средства: ГИС-пакеты Quantum GIS, MapWindowGIS, GRASS GIS; серверы баз

данных PostgreSQL с расширением PostGIS, картографические серверы на основе Geoserver. Для создания картографических материалов использовались пространственные данные из открытых источников: штурманская карта оз. Байкал 1991 г (М 1:200000), лоция Иркутского водохранилища, Атлас озера Байкал 2001г., данные дистанционного зондирования Земли радиометром Landsat-7, данные рельефа AsterGDEM и SRTMv4, WMS-слои карт Генштаба М1:100000, пространственные материалы OpenStreetMaps.org, Microsoft.com/maps.

Все программные средства и пространственные материалы, использованные при выполнении диссертационной работы, являются открытыми и бесплатными.

**Научная новизна.** Создана многокомпонентная распределенная геоинформационная система, обеспечивающая весь цикл работы с данными при ведении государственного мониторинга водной среды. Система разработана на основе полученного опыта ведения экологического мониторинга в конкретных региональных внешних условиях, учитывает требования действующего природоохранного законодательства и организована в соответствии с современным уровнем развития информационных технологий.

Получены новые данные о химическом составе поверхностного слоя вод всей акватории озера Байкал. Изучены особенности распределения концентраций нормируемых программой наблюдений веществ, характерные для различных котловин озера Байкал. Эти данные позволяют внести поправки в существующую схему мониторинга.

Предложены условно «природные» концентрации веществ для различных участков акватории озера Байкал.

**Практическая значимость.** Главной задачей, решаемой представленной ГИС, является обеспечение экологического мониторинга и контроля физико-химических параметров поверхностных вод озера Байкал. Поскольку главный сенсор системы - НИС «Исток» - в настоящее время является основным средством ведения государственного мониторинга водной среды на всей акватории озера, приведение действующей системы наблюдений в соответствие с современным уровнем развития науки является важной задачей государственного уровня. Разработанные решения могут быть использованы в составе систем мониторинга и других водных объектов.

Созданная геоинформационная система позволяет решать основные задачи мониторинга водной среды: сбор и обработку данных, фиксацию ненарушенного состояния природной среды и документирование ее изменений, предоставление информации о состоянии водной среды озера Байкал заинтересованным лицам и организациям. При этом существенно повышена оперативность получения итоговых информационных материалов мониторинга по сравнению с ранее применяемыми средствами обработки и представления данных.

Одним из элементов судовой ГИС является самосовершенствующаяся электронно-картографическая навигационная система класса «А», содержащая актуальную навигационную информацию, которая полностью или частично может быть использована для обеспечения безопасного судовождения по акватории озера Байкал и других судов.

Информационные материалы распределенной ГИС использовались при составлении «Аналитических отчетов о результатах наблюдений за состоянием

озера Байкал» за 2008-2009, 2010 и 2011 гг. – документов, на основании которых принимаются управляющие решения государственного уровня. С помощью системы были зафиксированы факты экологических правонарушений, не выявленные какими-либо другими системами наблюдений.

Предлагается система классов качества вод по нормируемым показателям, адекватная региональной системе «природное состояние среды - ПДК».

**Личный вклад.** Автор принимал участие во всех экспедициях 2009-2011 годов. Постановка целей и задач исследования, разработка и создание распределенной геоинформационной системы, работа с ней, обработка полученных данных, обобщение и интерпретация результатов мониторинга были выполнены лично автором или при его непосредственном участии.

**Апробация работы.** Главные научные выводы докладывались на всероссийских, региональных и международных конференциях начиная с 2010 года: XI всероссийской конференции молодых ученых «Математическое моделирование и информационные технологии», Ангарска, 2010; Научной конференции: «80 лет ИргТУ», Иркутск, 2010; Всероссийском симпозиуме «Современные информационные технологии в науках о Земле», Владивосток, 2010; Пятой Сибирской международной конференции молодых ученых по наукам о Земле, Новосибирск 2010; XIII Российской конференции с участием иностранных ученых "Распределенные информационные и вычислительные ресурсы" Новосибирск 2010; 17 конференции молодых географов Сибири и Дальнего Востока, Иркутск-Аршан 2011; всероссийской научно-технической конференции «Геонауки» (Иркутск, 2011); XIX Международной Научной Конференции по морской геологии (Москва 2011); Чтениях имени В.И. Вернадского (Иркутск, 2012) и др.

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы 3 статьи в журналах перечня ВАК РФ и 10 тезисов. Результаты исследований изложены в 3 тематических отчетах.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения общим объемом 162 страницы, включая 44 рисунка, 13 таблиц и список литературы из 53 источников.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю признательность научному руководителю - заведующему лабораторией физико-химического моделирования ИГХ СО РАН, д.г.-м.н. К.В. Чудненко и научному консультанту - зав. кафедрой БДЖиЭ ИргУПС, д.т.н., профессору Е.А. Руш. За ценные советы и поддержку автор благодарит зам. директора по науке ИГХ СО РАН, д.г.-м.н. А.М. Спиридонова, зав. кафедрой ТГР ИргТУ, д.г.-м.н, профессора А.Г. Дмитриева и н.с. ИГХ СО РАН, к.г.-м.н. А.Е. Будяка; за помощь при создании информационной системы и пространственных материалов - инженера С.А. Шестакова и аспиранта В.А. Мельникова.

Особую признательность автор выражает сотрудникам ФГБУ «Востсибрегионводхоз»: главному специалисту отдела мониторинга Е.П. Савельеву, неизменному участнику экспедиций на НИС «Исток»; начальнику лаборатории химического анализа водной среды Т.В. Мясниковой, обеспечивавшей качественный химический анализ; а также директору В.А. Ющуку, всесторонне поддерживавшему выполнение данной работы.

## СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ВОДНОЙ СРЕДЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ПОДХОДА

Основные угрозы экосостоянию озера Байкал, на контроль которых направлена осуществляемая Федеральным агентством водных ресурсов «Программа мониторинга водных объектов», связаны с хозяйственной деятельностью человека. К ним относятся: вынос загрязняющих веществ со стоком реки Селенга, влияние северного промышленного узла, разрушение береговой линии и прибрежной полосы, сбросы сточных вод и утечки загрязняющих веществ с промплощадок предприятий, несанкционированное строительство и реконструкция рекреационных и частных объектов, увеличение туристической нагрузки и увеличения числа судов, отсутствие на берегах Байкала пунктов сбора и переработки хозяйственных и подсланевых вод (Молотов, 2008). Угрозы характеризуются значительным пространственным распределением, их контроль требует ведения наблюдений по всей акватории озера. В связи со слабой заселенностью берегов, при этом применяется специально оборудованное научно-исследовательское судно. Схема мониторинга основана на получении, картировании и сравнении с ПДК значений нормируемых гидрохимических характеристик, с целью выявления изменений их концентраций относительно фоновых, и, таким образом, выявление и документирование изменений в природной среде с последующим их анализом. Описываемая в диссертации часть программы наблюдений реализуется с 2009 года, когда в подведомственное Федеральному агентству водных ресурсов ФГБУ «Востсибрегионводхоз» было передано судно «Исток» с размещенным на нем программно-аппаратным комплексом «Акватория Байкал – 2» (далее называемым «родительским»), позволяющим выполнять измерения тринадцати химических и физических параметров поверхностного слоя воды в процессе движения судна (табл 1).

Таблица 1. Определяемые показатели и характеристики методик судовой лаборатории.

№п/п	Сокращение	Полное наименование (ед.изм)	Диапазон	Погрешность
1	T	Температура °С	0-35	±0,1
2	Цветность	Цветность (Град)	5-10	50%
			10-70	10%
3	O <sub>2</sub>	Растворенный кислород (мг/л)	0-16	±0,4
4	pH	Водородный показатель (ед. pH)	2-12	±0,1
5	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Нитрит-ион (мг/дм <sup>3</sup> )	0,02-0,5	25%
6	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Нитрат-ион	0,1-5,0	20%
7	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Аммоний-ион (мг/дм <sup>3</sup> )	0,02 до 0,1	50%
			0,1 до 0,8	25%
8	Cl <sup>-</sup>	Хлорид-ион (мг/дм <sup>3</sup> )	0,4 - 5,0	25%
9	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Сульфат-ион (мг/дм <sup>3</sup> )	5-200	20%
10	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Фосфат-ион (мг/дм <sup>3</sup> )	0,01 - 0,05	20%
11	Fe	Железо-общее (мг/дм <sup>3</sup> )	0,05-1,0	20%
12	УЭП	Удельная электрпроводимость (См/м)	0,005-6,5	±3%
13	Eh	Окисл.восст.потенциал (мВ)	-700 - +1200	±10

**Методика работ.** При выполнении работ, судно движется со скоростью 8 – 9 узлов, на расстоянии 50 - 300 метров от берега (если это возможно). Заборная вода с глубины 1 - 2 метра непрерывно поступает в гидрохимическую лабораторию на сенсоры измерительного комплекса. В зависимости от методики определения значений конкретного показателя, раз в несколько секунд/минут, осуществляется анализ пробы. В точках установленной сети наблюдений осуществляется дополнительный отбор проб с их последующей консервацией. Полученные таким образом пробы доставляются в стационарную лабораторию химического анализа водной среды ФГБУ «Востсибрегионводхоз» (далее – лаборатория ХАВС), аккредитованную в системе ВГАЛ, где производится их анализ на 42 показателя по современным методикам. Таким образом обеспечивается контроль качества выполненных судовым измерительным комплексом анализов и определение сходимости результатов.

С самого момента передачи в ФГБУ «Востсибрегионводхоз» технических средств и полномочий на ведение мониторинга по новой схеме, остро стоял вопрос о совершенствовании действующей системы наблюдений. Вместе с необходимым для работы оборудованием, от ряда учреждений и специалистов, ранее вовлеченных в процесс мониторинга вод озера Байкал, был получен перечень вопросов и критических замечаний по реализуемой программе, которые касались как достоверности методов получения данных и критериев обнаружения негативных тенденций в природной среде, так и оперативности получения итоговых информационных материалов, их доступности для заинтересованных лиц и организаций. Необходимо было либо обосновано их отклонить, либо, в случае наличия объективных недостатков, усовершенствовать систему мониторинга и программу наблюдений.

Полученный при выполнении наблюдений в 2009 году опыт работы с родительским комплексом показал обоснованность замечаний, при этом было установлено, что их причиной во многом являются используемые технические средства. Учитывая перечень подлежащих решению проблем и пространственный характер информации, а также современные тенденции в построении информационных систем мониторинга, оптимальным решением для приведения программы мониторинга в состояние, соответствующее уровню решаемых задач, была разработка географической информационной системы как автоматизированного средства сбора, хранения, обработки и представления данных.

Работа направлена на совершенствование средств и методов части системы мониторинга водной среды озера Байкал, связанной с судовыми экспедиционными исследованиями, и выполнена в рамках Договора о творческом сотрудничестве между ФГБУ «Востсибрегионводхоз» и ИГХ СО РАН.

## **ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ**

Положение 1. Распределенная геоинформационная система, созданная на основе свободных технологий, является автоматизированным средством решения задач сбора, хранения, обработки и представления результатов государственного мониторинга вод озера Байкал и выполняет функции судовой электронно-картографической системы.



В результате критического анализа технических средств системы наблюдений, было установлено, что значительное повышение качества мониторинга водной среды озера Байкал может быть достигнуто в результате модернизации судового комплекса, а также всей методики обработки и представления данных, с последующей реализацией механизма быстрого получения достоверных итоговых материалов. Для этого, было принято решение создать на основе имеющихся средств сбора данных, систему обработки, хранения и представления пространственной информации, то есть геоинформационную систему, обладающую необходимой функциональностью и адекватную современному уровню развития информационных технологий и степени ответственности за сохранность уникальной экосистемы озера Байкал.

Информационная система состоит из части унаследованных от родительского комплекса аппаратных и программных средств, а также нового программного и аппаратного обеспечения и методов, и позволяет без использования внешних средств выполнять весь цикл работы с данными при выполнении мониторинговых наблюдений. Подсистемы созданной ГИС позволяют решать основные задачи экологического мониторинга:

1. фиксация состояния природной среды реализована автоматизированным получением атрибутивных данных – химических и физических характеристик вод, и пространственных данных – географических координат;

2. документирование изменений природной среды во времени и фиксация ненарушенного состояния обеспечивается хранением полученной информации в пространственной базе данных фактически неограниченного размера;

3. демонстрация состояния природной среды и информационное обеспечение вовлеченных организаций связаны с механизмами представления и публикации данных, к которым в данном случае относятся: автоматическая классификация и визуализация результатов в требуемом виде, средства экспорта-импорта и передачи данных удаленным пользователям, средства веб-представления;

4. задачи анализа полученных данных, выявления возможных неблагоприятных тенденций в природной среде и принятия решений. В случае сложной и уникальной экосистемы озера Байкал, не могут быть реализованы в автоматическом режиме и требуют обязательного экспертного анализа.

Кроме того, поскольку итоговая система не должна уступать по функциональности родительской, необходимой частью являются средства обеспечения безопасного судовождения НИС «Исток».

Задачи пунктов 1 – 3 могут быть решены в автоматическом режиме, что позволит снизить необходимость человеческого участия в работе системы. Данный фактор решает проблему, связанную с ограниченными возможностями по размещению специалистов на НИС «Исток».

Для решения комплекса задач мониторинга была создана распределенная геоинформационная система, состоящая из судовой и стационарной частей, упрощенная физическая модель которой представлена на рисунке 1. Судовая подсистема, или «судовая ГИС» (Паршин и др., 2010) обеспечивает получение, хранение и экспресс-обработку данных мониторинга, стационарная подсистема служит для конечной обработки данных исследований и представления результатов

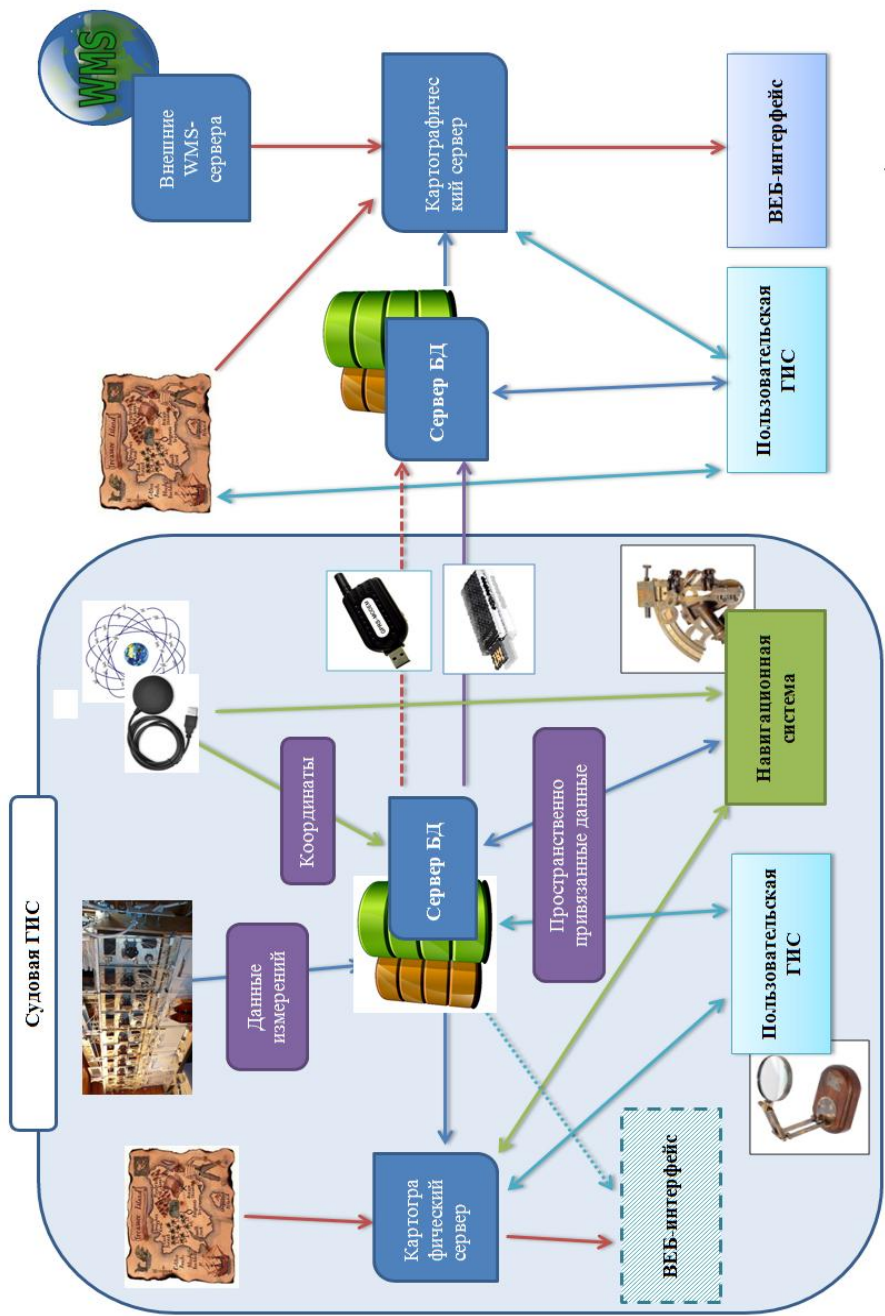


Рис. 1. Геоинформационная система обеспечения гидрохимического мониторинга оз. Байкал.

мониторинга в требуемом виде. Аппаратные средства, входящие в состав измерительного комплекса, подверглись усовершенствованиям с целью повышения свойств надежности. При создании системы использовалось исключительно открытое, свободное и по возможности стандартное программное обеспечение, обеспечивающее возможность её сопровождения и дальнейшей доработки силами любого компетентного специалиста. В связи с этим ставка была изначально сделана на программные продукты и стандарты, поддерживаемые Open Geospatial Consortium (OGC).

Центральными элементами системы являются серверы пространственных данных – два сервера баз данных, хранящие географически привязанную гидрохимическую информацию, и два картографических сервера, содержащие карты и навигационные данные.

**Картографические серверы** обеспечивают хранение пространственной информации, а также веб-представление результатов наблюдений с использованием средств Geoserver - полностью транзакционной реализации спецификации Web Feature Server (WFS) консорциума OpenGIS, с интегрированным сервером Web Map Server (WMS). К качеству картографического информационного обеспечения распределенной геоинформационной системы предъявляются повышенные требования, поскольку судовая ГИС, наряду с функциями обработки и представления данных, также имеет функции обеспечения судовождения. В качестве основы для создания базовых векторных слоев ЭКС - навигационных элементов карт и батиметрии, - в первую очередь использовались официальные источники: штурманская карта оз. Байкал 1991 г, лоция Иркутского водохранилища, Атлас озера Байкал 2001г, слои топографических «карт Генштаба» с общедоступных WMS-серверов. Границы вода/суша корректировались по данным ДЗЗ Landsat ETM+, батиметрия дополнялась информацией о глубинах озера Байкал, полученной в ходе ведения экологического мониторинга в 2009-2011гг., инфраструктура береговых объектов обновлялась с использованием материалов OpenStreetMaps.org, туристических справочников и прочих открытых источников.

**Серверы баз данных** реализованы на базе объектно-реляционной СУБД PostgreSQL с пространственным расширением PostGIS, обеспечивающим хранение географических данных.

Первый сервер находится на судне и предназначен для сбора и хранения данных текущего рейса. После интеграции гидрохимических данных и координат, средствами СУБД осуществляется их импорт в пространственную БД, т.е. рассчитывается поле геометрии для точек. После этого формируются несколько дополнительных таблиц, служащих для решения различных задач, стоящих перед судовой ГИС. Поскольку координаты с GPS-ресивера и значения физических характеристик водной среды поступают каждую секунду, итоговое количество точек измерений с зафиксированными координатами достигает десятков тысяч в день. Быстрая визуализация таких объемов данных требует нецелесообразно высокой производительности ЭВМ и пропускной способности линий связи на судне. Родительский комплекс позволял визуализировать результаты одного – двух дней работы системы, после чего следовал сбой. Естественно, сопоставление данных за весь сезон работы было невозможно. Для решения этой проблемы, средствами СУБД

производится расчет таблиц с максимальными, средними и минимальными значениями гидрохимических характеристик в зависимости от методики определения конкретного показателя, – одна точка на одну–три минуты движения судна. Гидрофизические параметры, получаемые раз в секунду, усредняются по минутно. Осреднение по временному признаку позволяет картографическому серверу практически мгновенно формировать картограммы без нарушений в правильности визуального представления результатов мониторинга, что дает возможность отображать, сопоставлять и анализировать результаты работ за весь период наблюдений; для статистического анализа полученных данных используются исходные таблицы. Наряду с гидрохимической, в базе данных находится также батиметрическая и часть навигационной информации.

Второй сервер находится в дата-центре ИГХ СО РАН, и содержит все данные программы государственного мониторинга озера Байкал с 2009 по 2011 годы (как с сенсора «Исток», так и с других источников информации). Между ним и сервером №1 реализованы два механизма репликации баз данных: с использованием внешних накопителей и с помощью беспроводных каналов передачи информации (в данном случае, GPRS/CDMA). Механизм удаленной репликации изначально предназначался для решения таких задач, как недопущение утери полученных данных в случае выхода из строя оборудования в момент рейса, а также возможности быстрого информирования заинтересованных организаций в случае выявления потенциально опасных аномалий в природной среде. Базы данных гидрохимии представляет собой структуру формата: дата/время/широта/долгота/T/Eh/pH/NO3/.../ /SO4/geom (геометрия). Такие таблицы формируются каждый день, затем интегрируются в итоговую таблицу рейса, затем – года. Осредненные по временному признаку таблицы принципиально от них не отличаются. Полученные описанными способами пространственные данные становятся доступны для просмотра и/или редактирования в трех интерфейсах на борту НИС «Исток» (веб-интерфейс, пользовательская ГИС, навигационная система), и в двух – в Институте геохимии СО РАН (веб-интерфейс, пользовательская ГИС).

**Интерфейсы.** Серверы пространственных баз данных системы поддерживают подключение к ним с помощью широкого перечня программного обеспечения, предназначенного для решения различных задач. К примеру, для статистического анализа данных и представления результатов измерений в табличном виде или в виде диаграмм, возможно использовать программные средства MS Access или Excel. Тем не менее, поскольку наиболее удобной для анализа пространственно распределенных данных формой является карта, основными интерфейсами системы являются пользовательская ГИС, навигационная система и веб-представление.

**Пользовательская ГИС** предназначена для обработки и анализа результатов наблюдений. Используется как для оперативной обработки результатов наблюдений в составе судовой ГИС, так и для создания итоговых картограмм в ИГХ СО РАН, при этом обеспечивает просмотр и редактирование как физикохимических данных с серверов БД, так и батиметрических и навигационных данных и карт с картографических серверов. В качестве пользовательской ГИС может быть использован любой настольный ГИС-пакет, поддерживающий подключение к серверу БД используемого вида. В данном случае используются настольные

бесплатные ГИС Quantum GIS или MapWindow GIS, для которых создан набор проектов, файлов стилей и шаблонов, обеспечивающих быстрое представление результатов мониторинга в требуемом виде, при этом пользователь системы не обязан обладать ГИС-квалификацией. Пользовательская ГИС через сервер БД может быть связана с навигационной ГИС общими слоями данных, что позволяет, к примеру, вносить предложения по прокладке курса судна из гидрохимической лаборатории.

**Веб-интерфейс** служит для просмотра результатов наблюдений без применения специализированных программных средств – через стандартный обозреватель веб-страниц, и реализован как для судовой, так и для стационарной частей ГИС. Данный интерфейс обеспечивает только просмотр данных, возможность их редактирования отсутствует. Такой способ просмотра данных является перспективным при условии установки на НИС беспроводной точки доступа, которая позволит наблюдать за ходом работ из любого места на судне с помощью ноутбука или коммуникатора, без риска хищения или изменения данных.

В стационарной части созданной системы, веб-интерфейс предназначен для информационного обеспечения перспективного корпоративного интернет-портала ФГБУ «Востсибрегионводхоз», а также визуального предоставления результатов наблюдений внешним пользователям. Подход, в котором результаты мониторинга представляются в виде статичных изображений, как это было реализовано, к примеру, в 2003-2007 годах ФГУ «ВОСТСИБНИИГГиМС», в настоящее время устарел (что ни в коей мере не умаляет достоинств информационного портала ВОСТСИБНИИГГиМС/Росгеолфонд, организованного на высоком на тот момент уровне веб-технологий). Однако современные свободные информационные технологии, лежащие в основе веб-интерфейсов распределенной ГИС, позволяют масштабировать изображения, менять растровые подложки, сопоставлять в рамках одной карты результаты исследований разных временных периодов и т.д., что значительно повышает информативность итоговых продуктов мониторинга. К сожалению, интернет-портал ФГБУ в настоящее время находится в стадии разработки, в связи с чем действие веб-интерфейса ГИС распространяется только на интрасеть Института геохимии СО РАН.

**«Навигационная ГИС»** (Паршин, Мельников и др., 2012) - третий интерфейс судовой информационной системы. Она представляет собой особый вид ИС, обладающей как типично навигационными, так и стандартными ГИС-возможностями, и при этом соответствует требованиям стандарта IEC-62376 к электронно-картографическим системам (ЭКС) класса «А». ЭКС реализована на основе Quantum GIS и MapWindow GIS, оснащенных плагинами для реализации функций судовождения, в связи с чем обладает механизмами импорта данных и редактирования навигационной информации "на лету", гарантирующими своевременное получение актуальной навигационной информации. По физической модели судовой ГИС видно, что навигационная система не является обособленным узкоспециализированным средством. Реализованный в ней алгоритм обратной связи позволяет как получать пространственную информацию из БД, так и дополнять ее получаемыми с эхолота данными батиметрии, что делает ее дополнительным

каналом получения информации об озере, а кроме того дает ей возможность самосовершенствоваться (рис.2).

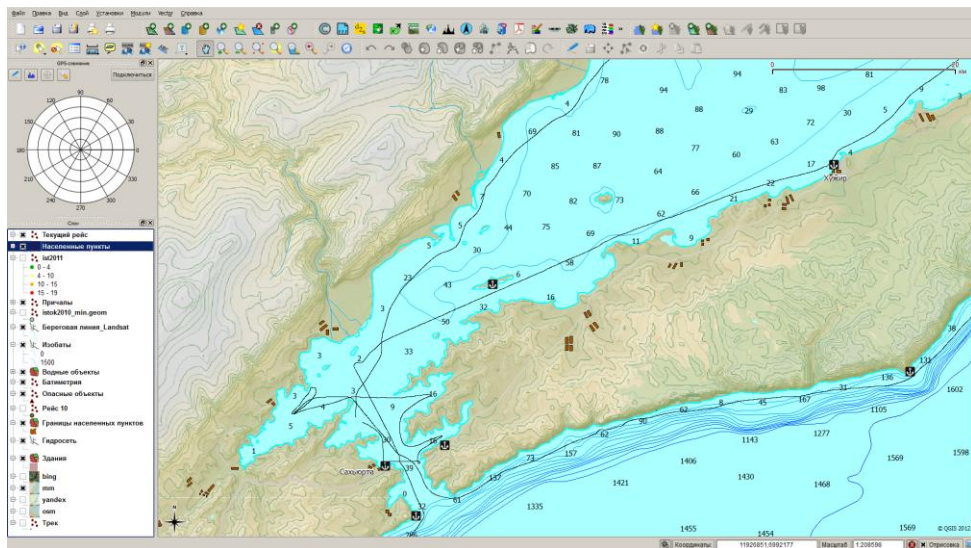


Рис. 2. Интерфейс навигационной ГИС (вариант QGIS).

В результате произведенных работ, основные технические проблемы действующей системы наблюдений были решены. Дальнейшее развитие системы и ее возможная интеграция в единую информационную систему мониторинга БПТ, идея которой обсуждается с начала двадцать первого века, не вызывает проблем в связи с гибкостью и эффективностью

инструментов судовой геоинформационной системы, обусловленной именно использованием свободного программного обеспечения и открытых данных.

Повысилась оперативность обработки данных, что позволило ускорить информирование уполномоченных на осуществление экологического контроля организаций. Если в 2009 году данные обрабатывались и анализировались один раз в год, то в 2010 и последующих годах результаты мониторинга были получены сразу по окончании каждого рейса.

Возросла надежность информационной системы судна. Сбои в работе оборудования, например, при выходе из строя ЭВМ комплекса, больше не приводят к утере данных. Улучшение свойств безотказности созданной ГИС по сравнению с родительским комплексом способствует повышению качества получаемых данных.

На основе открытых данных созданы электронные карты, пригодные для использования в электронно-картографических системах требуемого класса, а также оформления результатов работ.

С использованием новой геоинформационной системы были получены итоговые материалы установленного образца, позволяющие дать характеристику состоянию водной среды озера Байкал.

В целом, описываемая ГИС значительно повысила эффективность использования НИС «Исток», позволила снизить затраты на обработку данных, повысить качество и информативность итоговых материалов. Кроме того, данная работа показывает, что средства решения реальных задач природопользования могут быть созданы и без покупки дорогостоящих программных средств и данных. С 2010 года процессы получения и обработки данных программы Росводресурсов по мониторингу водной среды озера Байкал реализуются на основе созданной геоинформационной системы.

Положение 2. Пространственная база данных обеспечивает определение и динамическое уточнение значений фоновых концентраций нормируемых гидрохимических параметров, разработку и совершенствование классов атрибутов ГИС, адекватных современному состоянию водной среды озера Байкал.

Созданная геоинформационная система реализует механизмы судовождения, сбора, хранения, предобработки, и представления данных. Итоговые результаты могут быть доступны для анализа в виде таблиц, диаграмм и картограмм. При этом проблемы, связанные с достоверным визуальным представлением состояния водной среды, имели особую важность, поскольку ряд вопросов к системе мониторинга со стороны органов государственной власти был обусловлен именно неудобным, несвоевременным или недостоверным представлением материалов средствами «родительского комплекса».

Важнейшим информационным материалом, получаемым с помощью судовой ГИС, является пространственное представление результатов наблюдений - картограмма распределения веществ. Поскольку данное представление является экспресс-характеристикой состава вод, и предназначено в первую очередь для оперативного информирования органов экологического контроля, оно должно достоверно отражать состояние природной среды с явным визуальным выделением аномальных состояний и зон экологического риска. В таком случае, предъявляются жесткие требования к обоснованности системы критериев, на основе которых принимаются решения о классификации получаемых данных. Для формирования достоверной картины, характеризующей состояние водной среды, в основе классов атрибутов созданной ГИС должна лежать региональная система «природное состояние среды – ПДК». При этом природные, или фоновые концентрации нормируемых веществ в поверхностном слое вод не были априорно установлены на государственном или каком-либо ещё уровне, что и послужило причиной ряда недостатков программной оболочки родительского комплекса. Аналогична ситуация с нормами предельно допустимых концентрация для вод озера – в связи с отсутствием действующих региональных ПДК, юридическим основанием для осуществления экологического контроля являются Приказ №20 Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 г. «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (далее ПДКрыбхоз). Приведенные в этом документе нормы не могут служить ни критерием выявления аномальных состояний среды, ни

верхним пределом экологического риска, поскольку в десятки и сотни раз отличаются от фоновых для озера Байкал (табл. 2).

В таком случае, отправной точкой для построения классов атрибутов могут являться только фоновые концентрации веществ в природной среде, полученные из научных публикаций. При этом, требуемое единообразие в научных воззрениях, позволяющее определиться с «природными» химическими характеристиками водной среды, в настоящее время отсутствует - концентрации одного и того же вещества по данным различных исследователей, даже имеющих близкую дату опубликования, могут варьироваться в широких пределах, и даже отличаться в несколько раз (табл 2).

Таблица 2. Фоновые концентрации и ПДК для некоторых веществ по данным различных исследователей, мг/дм<sup>3</sup>.

Вещество	Концентрация	ПДК 88 <sup>6</sup>	ПДКрыбхоз
Хлорид-ионы (Cl <sup>-</sup> )	0.4 <sup>1</sup>	30	300
	0.6 <sup>2</sup>		
	0.8 <sup>3</sup>		
Сульфат-ионы (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	3.9 - 6.5 <sup>2</sup>	10	100
	5.5 <sup>1</sup>		
	5.3 <sup>4</sup>		
Нитрат-ионы (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0.4 <sup>5</sup>	5	40
	0.3 - 0.5 <sup>2</sup>		
	0.1 <sup>1</sup>		
Фосфат-ионы (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0.02 – 0.06 <sup>2</sup>	0.04	0.2
	0.015 <sup>1</sup>		

<sup>1</sup> - Falkner et al., 1991 (по: Грачев, 2001); <sup>2</sup> - Галазий, 1987; <sup>3</sup> - Израэль, Анохин, 1991; <sup>4</sup> - Верещагин, 1947; <sup>5</sup> – Вотинцев, 1961; <sup>6</sup> - Нормы допустимых воздействий на экологическую систему озера Байкал (на период 1987-1995гг.). Основные требования.

Таким образом, вопрос о формировании классов качества вод для картограмм распределения и статистического анализа данных встал с самого начала выполнения «Программы мониторинга...», Отсутствие единого конструктивного мнения по базовым гидрохимическим характеристикам значительно затрудняло ведение государственного мониторинга. Полученные из литературных источников параметры, на основе которых ранее велись подобные программы наблюдений (в том числе, уже упоминавшиеся работы ФГУ ВОСТСИБНИИГГиМС 2003-2007 гг.), в данном случае не могли быть применены, поскольку использование таких источников как ориентиров приводило к неопределенностям таблицы 2 и в итоге вызывало вопросы об обоснованности критериев выявления аномалий.



Используемые в тех же работах в качестве ПДК для вод Байкала "Нормы допустимых воздействий на экологическую систему озера Байкал (на период 1987-1995гг.). Основные требования" (далее – ПДК88), не имеют в данный момент юридической силы, и чем государственный экологический контроль на их основе не возможен. Однако необходимо отметить, что данный документ и сейчас является одним из наиболее достоверных нормативных источников и экологических ориентиров для региональной экосистемы, поскольку приведенные в нем ПДК были получены, в том числе и в результате экотоксикологических экспериментов над байкальской биотой. В созданной системе классов атрибутов ГИС, ПДК88 использовались при определении верхней границы экологического риска.

Исходя из вышесказанного, для разработки научно обоснованных визуальных представлений качества водной среды озера, необходимо было в ходе мониторинга получить достоверные данные о химическом составе поверхностных вод, и уже на их основе разработать классы атрибутов для ГИС. В результате работ 2009 года были получены первые данные, свидетельствующие о близком химическом составе вод различных участков акватории озера, что позволило разработать легенды картограмм, которые уточнялись по результатам последующих исследований. Выявленные в 2009-2011 годах аномалии природного характера и установленные вариации ионного состава вод, характерные для природной среды, позволили создать классы атрибутов, учитывающие региональные особенности уникальной экосистемы озера. Для облегчения анализа информационных материалов мониторинга сотрудниками госструктур, визуальные представления организованы таким образом, что вне зависимости от постоянства или изменчивости конкретного показателя по участкам акватории или сезону года, аномальное состояние водной среды будет отмечено оттенками красного цвета. Пример классификации лабильного показателя  $\text{NO}_3^-$  с зафиксированной аномалией, вызванной антропогенным воздействием, приведен на рисунке 3.

### Нитрат-ион

Дата съемки: 18.06.11  
Диапазон измерений: 0.1 - 5.0 мг/дм<sup>3</sup>

Фон: 0.1 мг/дм<sup>3</sup>  
ПДК88: 5.0 мг/дм<sup>3</sup>  
ПДКрыбхоз: 40.0 мг/дм<sup>3</sup>

Значения (мг/дм<sup>3</sup>):

- ниже предела обнаружения
- 0.1 - 0.4
- 0.4 - 5.0
- более 5.0



Рис. 3. Фрагмент картограммы с аномалией.

База данных созданной ГИС на данный момент содержит более двух миллионов пространственно привязанных точек, в каждой из которых зафиксированы значения от одного до сорока двух гидрохимических параметров, полученные с использованием как судового измерительного комплекса, так и стационарной лаборатории химического анализа. Имеющиеся данные позволяют не только уточнить и дополнить гидрохимическую информацию из литературных источников и определиться с фоновыми значениями исследуемых показателей, но и отклонить очевидно ошибочные результаты некоторых научных работ. Кроме того, результаты мониторинга убедительно свидетельствуют об однородности химического состава поверхностного слоя вод всей акватории озера, с некоторой тенденцией в увеличении концентрации растворенных веществ с севера на юг (табл. 3) и несколькими аномальными зонами естественной природы. Таким образом, с учетом погрешностей анализа, созданные классы атрибутов едины и применимы для контроля экосостояния вод всего озера.

Таблица 3. Концентрации некоторых веществ, характерные для природного состояния водной среды, мг/дм<sup>3</sup>.

Показатель	Южная котловина	Центральная котловина	Северная котловина
Водородный показатель, ед. рН	7.8	7.9	7.6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	63.7	62.8	60.1
Калий	1.02	1.14	0.85
Кальций	16.92	15.6	15.4
Кремний	0.93	0.6	1.2
Магний	2.95	3.08	3.25
Натрий	3	2.6	2.58
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5.4	5.2	5.0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.3	0.3	0.1
Железо общее	0.05	0.05	0.05
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.015	0.015	0.015
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0.01	0.02	0.01
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.01-0.04	0.01-0.04	0.01-0.04

Установлена хорошая сходимость полученных с использованием судового измерительного комплекса значений как с данными стационарной лаборатории химического анализа водной среды ФГБУ «Востсибрегионводхоз», так и с результатами, полученными в ходе международных экспедиций 1989-1991 годов

(Falkner et al, 1991, 1997). Данный факт свидетельствует о том, что размещение аналитического оборудования непосредственно на борту судна частично нивелирует не самые совершенные характеристики применяемых фотометрических методик и обеспечивает высокую достоверность получаемых результатов.

Положение 3. Разработанная система получения и обработки данных в совокупности с заданным ограниченным набором физико-химических показателей представляет эффективное средство нахождения и идентификации источников загрязнения. Пространственные свойства ГИС обуславливают её незаменимость при обнаружении ряда экологических правонарушений, вызывающих аномальные состояния водной среды.

Статус объекта всемирного наследия подразумевает, что природная среда особо охраняемой геосистемы не имеет каких-либо значимых необратимых изменений, наступивших в результате деятельности человека. Экологический мониторинг такого объекта является обязательной процедурой государственного уровня. При этом не менее важной, чем обнаружение негативных тенденций в природной среде, задачей наблюдений является документирование состояний природной среды. Существующая система с успехом решает эту задачу.

С момента своего появления в 1965 году, система государственного мониторинга вод озера Байкал была основана на гидрохимических наблюдениях. Учитывая то, что экологический мониторинг может давать адекватную оценку состояния экосистем только тогда, когда на протяжении лет сохраняется постоянство методов наблюдения, отказ от изучаемых с момента начала исследований озера показателей делает невозможным документирование изменений природной среды во времени.

Актуальность дальнейшего ведения гидрохимического мониторинга также обоснована тем, что с 2001 г. и до настоящего времени значительно изменился характер антропогенной нагрузки на всей акватории озера: увеличилось количество судов, значительное возросло количества турбаз. Из-за этого, экспресс-анализ гидрохимии в районах с сильной антропогенной нагрузкой на экосистему является важнейшей задачей, легко решаемой средствами существующей системы наблюдений.

Рассматриваемую программу мониторинга часто критикуют как за ограниченный набор контролируемых показателей, так и за их неинформативность. С этим невозможно полностью согласиться: такие вещества как сульфат-ион и хлорид-ион являются информативными индикаторами загрязнения водной среды, связанными с промышленными и бытовыми стоками. Вещества азотной группы, в связи со своей быстрой окисляемостью, представляют собой прекрасное средство для обнаружения источников постоянных загрязнений, связанных с бытовыми отходами, туризмом и т.п. Действующая система наблюдений в первую очередь направлена на контроль хозяйственной деятельности человека на Байкальской природной территории, и используемая система показателей позволяет обнаруживать случаи экологических правонарушений с достаточной эффективностью. При этом, перечень исследуемых параметров водной среды может быть расширен как внедрением дополнительного аналитического оборудования или методов анализа, так и «косвенными способами». Существуют примеры работ

(Кашик, Карпов, 1993, 1994; Чудненко и др., 1999; Эпов, Бычинский, 2001), в которых убедительно показана возможность реконструкции состава природных вод на основании ограниченного набора аналитических данных при помощи физико-химического моделирования. Также, показана и возможность выявления чужеродных веществ в природной воде, что дает возможность обнаружения веществ категории «особо опасные» на основании получаемых данных. Получаемый набор показателей является достаточным для создания модели природной воды Байкала.

При критике действующих методов наблюдений необходимо учитывать, что альтернативной системы государственного мониторинга, предположим, не химической, а биологической и токсикологической природы, в настоящее время не предложено. Более того, такими авторитетами в области экологического мониторинга Байкала, как О.М. Кожова и А.М. Бейм, было показано, что в связи с уникальностью и слабоизученностью Байкальской экосистемы, разработка альтернативной гидрохимической системы программы наблюдений в ближайшее время вряд ли возможна. Само собой, дальнейшее ведение и совершенствование системы гидрохимических наблюдений ни в коем случае не является призывом к отказу от научной работы в области экологической токсикологии.

Удачным техническим решением является размещение гидрохимического оборудования непосредственно на борту судна. Действительно, значения физико-химических параметров водной среды, даже полученные с помощью высокоточных современных методик, зачастую не в полной мере соответствуют реальным параметрам природной среды из-за времени, проходящего с момента отбора проб до их анализа. К примеру, полученные в результате международных гидрохимических исследований на Байкале в конце 80-х – начале 90-х годов, пробы воды анализировались на главные ионы через месяц после, а на второстепенные и следовые элементы – через два месяца после отбора. Исследователи отмечают, что в этом случае говорить об абсолютной идентичности физико-химических параметров, полученных в лаборатории, с природными вряд ли правомерно (Кашик и др., 1994). Анализ проб сразу после их отбора решает эту проблему.

Итоговые информационные материалы программы позволяют дать характеристику состояния водной среды озера Байкал, обнаружить проблемные участки и зафиксировать факты экологических правонарушений. Полученные данные о качестве вод поверхностного слоя свидетельствуют о сохранности чистоты озера Байкала в целом, и о том, что водная среда не испытала воздействий, ведущих к необратимым изменениям относительно природного состояния. К примеру, найденное значение концентрации сульфат-ионов в южной котловине озера в  $5.4 \text{ мг/дм}^3$  близко к определенному в начале сороковых годов двадцатого века значению в  $5.3 \text{ мг/дм}^3$  (Верещагин, 1947), что убедительно свидетельствует о том, что антропогенные воздействия пока существенно не изменили содержания главных ионов в водах Байкала.

При этом явно выделяются участки с высокими концентрациями отдельных элементов, в некоторых случаях превышающие ПДКрыбхоз. Больше число их расположено в районах Байкальского ЦБК, реки Селенги, Малого моря, населенных пунктов южной части озера. Данные, полученные по ним (за исключением зоны ЦБК), в целом позволяют говорить о стабильности экологической ситуации. Однако

необходимо учитывать, что для глобальных изменений экосистемы озера может быть достаточно локального воздействия на сравнительно небольшой участок акватории (Кожова, Бейм, 1993).

Установлена зависимость ухудшения качества поверхностных вод озера в районе выпуска ОАО «БЦБК» от увеличения объемов сброса сточных вод комбината. Анализ сведений о качестве сточных вод за период с момента запуска в режиме разомкнутого водопользования, свидетельствует о негативном воздействии выпуска недостаточно очищенных сточных вод. Для примера, рассмотрим распределение концентрации сульфат-иона в поверхностном слое вод вблизи Байкальского ЦБК после начала его работы в режиме разомкнутого водопотребления, построенное на основе информации обоих сенсоров распределенной ГИС. Максимальное зафиксированное значение в районе Байкальского целлюлозно-бумажного комбината в 2010 году составило  $21 \text{ мг/дм}^3$  (рис. 4), при этом необходимо учитывать, что даже незначительные проявления сульфатов в поверхностном слое свидетельствуют о серьезном предшествующем воздействии сточных вод на экосистему озера, поскольку уже двадцатикратное разбавление стоков достигается уже в метре от выпускной трубы БЦБК (Кожова, Бейм, 1993).

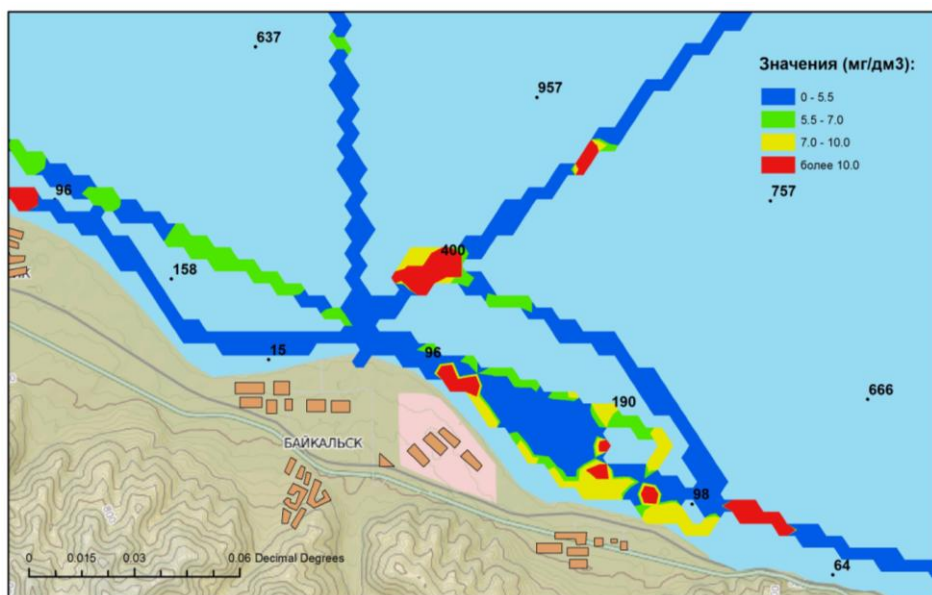


Рис. 4. Район БЦБК. Распределение сульфат-иона в поверхностном слое вод, июнь 2010 г.

В результате анализа дополнительных проб, был установлен факт нарушения режима сброса сточных вод комбинатом.

Серьезной проблемой остается загрязнение акватории оз. Байкал нефтепродуктами. Значительная часть рассредоточенных по всей акватории озера

судов лишены возможности оперативно сдавать накопленные сточные воды. При этом на НИС «Исток» отсутствует анализатор нефтепродуктов, в связи с чем невозможно осуществлять оперативный контроль данного показателя в зонах стоянки судов. Данная проблема требует скорейшего решения.

Используемая система показателей обеспечивает обнаружение как кратковременных воздействий на экосистему, так и долговременных загрязнений, позволяет оценить качество воды и выявить негативные антропогенные воздействия на всей акватории озера. Таким образом, программа мониторинга в целом, и набор показателей в частности, позволяют осуществлять контроль хозяйственной деятельности человека. До появления качественно новых знаний об озере, рассматриваемая программа и средства ее осуществления являются не идеальным, но необходимым и достаточным инструментом обнаружения экологических правонарушений могут и могут оставаться постоянным навигатором экологического контроля.

### **Заключение**

Созданная геоинформационная система позволила в полной мере реализовать потенциал используемого измерительного оборудования. В значительной степени автоматизирована процедура получения итоговых информационных материалов. Существенно возросла надежность системы, что привело к повышению оперативности мониторинга и качества итоговых материалов. Свободное программное обеспечение и открытые стандарты, на которых основана ГИС, позволяют легко интегрировать данные программы мониторинга водной среды в перспективную информационную систему контроля экосостояния всей Байкальской природной территории, осуществлять развитие и доработку системы в будущем, дополнять сенсоры системы новым аналитическим оборудованием.

В ходе работ были созданы наборы пространственных данных и электронные карты, служащие для представления результатов мониторинга, а также для обеспечения навигации судна. Являющаяся частью судовой ГИС электронно-картографическая система соответствует требованиям к ЭКС класса «А» и может быть использована в качестве основной навигационной системы и на других судах.

С использованием распределенной геоинформационной системы получены новые данные об особенностях химического состава вод прибрежных участков акватории озера Байкал. За 2009-2011 годы собрана база данных, содержащая более двух миллионов пространственно привязанных точек пробоотбора. Информация о гидрохимических характеристиках поверхностного слоя вод позволяет уточнить фоновые концентрации и особенности распределения нормируемых химических элементов. Предложены значения измеряемых параметров, характерные для природного состояния водной среды в северной, средней и южной части акватории озера. На основе полученных данных разработаны научно обоснованные классы качества вод для визуальных представлений результатов, что позволяет наилучшим образом обнаруживать возможные аномалии в природной среде.

Созданная геоинформационная система обеспечивает быстрое формирование результатов исследований в установленном виде. Полученные при помощи созданных методов и средств обработки данных результаты, позволяют сделать вывод о по-прежнему высоком качестве Байкальской воды и о том, что водная среда

озера в целом находится в неизменном состоянии. При этом отмечены участки с явными свидетельствами значительного антропогенного влияния на экосистему озера, установлены источники этих воздействий.

Для эффективного экологического контроля проблемных районов необходимо дальнейшее ведение мониторинга гидрохимических параметров среды по всей акватории озера. Часть угроз экосостоянию (подсланевые и хозбытовые воды, специфические отходы целлюлозно-бумажной промышленности) требует расширения приборной базы судового измерительного комплекса, либо применения аппарата физико-химического моделирования состава воды на основе имеющегося набора параметров.

Некоторые из использованных при создании геоинформационной системы решений могут быть использованы в составе систем, обеспечивающих контроль экологического состояния других водных объектов Российской Федерации.

### **Список основных публикаций по теме диссертации**

#### **Статьи в изданиях перечня ВАК РФ**

1. **Паршин А.В.**, Руш Е.А., Спиридонов А.М. Автоматизация процесса обеспечения экологического мониторинга озера Байкал с применением современных ГИС и web технологий // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2011. - N1. - С.82-87.

2. **Паршин А.В.**, Мельников В.А., Демина О.И., Руш Е.А. ГИС как судовая электронно-картографическая система // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2012. - N1. - С.40-46.

3. Демина О.И., Зеленая О.Г., **Паршин А.В.** Некоторые экологические аспекты строительства газопроводов на территории Иркутской области // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2012. - N2. - С.42-47.

#### **Материалы и тезисы конференций**

1. **Паршин А.В.** Опыт создания ГИС для мониторинга состояния окружающей среды на примере территории Иркутской области // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XIV международного научного симпозиума имени академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – Т. 2. - С. 693-694.

2. **Паршин А.В.** Некоторые аспекты создания ГИС для мониторинга экосистемы озера Байкал // Материалы XI Всерос. конф. молодых ученых "Математическое моделирование и информационные технологии". - Иркутск: Изд-во ИДСТУ СО РАН, 2010. – С. 62.

3. **Паршин А.В.** Автоматизация процессов мониторинга экосистемы озера Байкал с применением современных ГИС и Web-технологий // XIII Российская конференция с участием иностранных ученых "Распределенные информационные и вычислительные ресурсы"(DICR'2010): материалы конф. - Электрон. дан. - Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2010. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).- № гос. регистрации 0321100051.- <http://conf.nsc.ru/dicr2010/ru/reportview/32373>.

4. **Паршин А.В.** Автоматизация мониторинга вод озера Байкал с применением ГИС и Web-технологий // Пятая Сибирская международная конференция молодых

ученых по наукам о Земле: Материалы конф. – Электрон. дан. – Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2010. [http://sibconf.igm.nsc.ru/sbornik\\_2010/10\\_geoecology/887.pdf](http://sibconf.igm.nsc.ru/sbornik_2010/10_geoecology/887.pdf).

5. **Паршин А.В.** Геоинформационное обеспечение гидрохимических наблюдений за состоянием озера Байкал // Природа и общество: взгляд из прошлого в будущее: Материалы XVII всерос. конф. – Иркутск-Аршан: Изд-во ИГ СО РАН, 2011. - С. 219-221.

6. Мельников В.А., **Паршин А.В.** ГИС как судовая навигационная система // Природа и общество: взгляд из прошлого в будущее: Материалы XVII всерос. конф. – Иркутск-Аршан: Изд-во ИГ СО РАН, 2011. - С. 214-216.

7. Демина О.И., Зеленая О.И., **Паршин А.В.** Применение ГИС-технологий для оценки влияния строительства газопроводов на общую экологическую обстановку // Природа и общество: взгляд из прошлого в будущее: Материалы XVII всерос. конф. – Иркутск-Аршан: Изд-во ИГ СО РАН, 2011. - С. 202 – 203.

8. **Паршин А.В.** ГИС-обеспечение государственного мониторинга водной среды озера Байкал в 2010-2011 гг // Геология морей и океанов: Материалы XIX Международной научной конференции по морской геологии. – Москва: ГЕОС, 2011. - Т.4. - С. 272- 275.

9. **Паршин А.В.** Особенности системы государственного мониторинга водной среды озера Байкал // Металлогения древних и современных океанов – 2012: Материалы Восемнадцатой научной молодежной школы. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2012. - С. 349-351.

10. Мельников В.А., **Паршин А.В.** ГИС как электронно-картографическая система // Металлогения древних и современных океанов – 2012: Материалы Восемнадцатой научной молодежной школы. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2012. - С. 351-352.