

А. С. ГАЧЕНКО^{1,2}, В. В. МИНАЕВ^{1,3}, А. А. МИХАЙЛОВ^{1,2}, А. Е. ХМЕЛЬНОВ^{1,2}, Е. С. ФЕРЕФЕРОВ^{1,2},
Р. К. ФЁДОРОВ², И. Б. ВОРОБЬЁВА^{1,4}, Н. В. ВЛАСОВА⁴

¹ Иркутский научный центр СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия, gachenko@icc.ru, mikhailov@icc.ru, hmelnov@icc.ru

² Институт динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия, fereferov@icc.ru, fedorov@icc.ru

³ Лимнологический институт СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, Россия, minaev@lin.irk.ru,

⁴ Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, irene@irigs.irk.ru, vlasova@irigs.irk.ru

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОЛОГИЮ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Ухудшение экологического состояния прибрежной зоны Байкала является актуальной проблемой, что обусловлено существенными изменениями в прибрежном бентосном сообществе и растительности, где проживает большинство эндемичных видов озера. Для выявления причин таких изменений требуется проведение всесторонних комплексных исследований побережья и прибрежной акватории озера. В статье представлена разработанная авторами геоинформационная система для поддержки исследований антропогенного воздействия на экологию прибрежной зоны озера Байкал. Система реализована в виде геопортала, размещенного в сети Интернет и позволяющего исследователям формировать общую в рамках проекта базу тематических и картографических данных, а также осуществлять запуск интернет-сервисов для решения задач геообработки и комплексного анализа данных. Открытая архитектура разработанного геопортала позволяет расширять его функциональность путем добавления новых сервисов, находящихся как локально на сервере геопортала, так и удаленно на других серверах. За счет поддержки стандартов в области геоинформатики обеспечивается интероперабельность программных систем, реализующих функции анализа и обработки геоданных. Отличительной особенностью разработанного геопортала является предоставление пользователям возможности самостоятельно управлять структурами своих данных, а также настраивать запуск сервисов геообработки, в том числе с использованием вычислительной мощности кластера «Академик В. М. Матросов» Иркутского суперкомпьютерного центра СО РАН». В рамках проекта осуществлено наполнение геопортала тематическими и пространственными данными по результатам проведенных исследований. Собранные данные позволяют получать интегральные показатели, которые содержат информацию об антропогенном влиянии на природную среду за определенный промежуток времени.

Ключевые слова: геоинформационные системы, геопортал, пространственные данные, эколого-тематические базы данных, антропогенное загрязнение, озеро Байкал.

A. S. GACHENKO^{1,2}, V. V. MINAEV^{1,3}, A. A. MIKHAILOV^{1,2}, A. E. KHMELNOV^{1,2}, E. S. FEREFEROV^{1,2},
R. K. FEDOROV², I. B. VOROBYEVA^{1,4}, AND N. V. VLASOVA⁴

¹ Irkutsk Scientific Center SB RAS,
664033, Irkutsk, Lermontova str., 134, Russia, gachenko@icc.ru, mikhailov@icc.ru, hmelnov@icc.ru

² V. M. Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory SB RAS,
664033, Irkutsk, Lermontova str., 134, Russia, fereferov@icc.ru, fedorov@icc.ru

³ Limnological Institute SB RAS, 664033, Irkutsk, Ulan-Batorskaya str., 3, Russia, minaev@lin.irk.ru

⁴ V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS,
664033, Irkutsk, Ulan-Batorskaya str., 1, Russia, irene@irigs.irk.ru, vlasova@irigs.irk.ru

INFORMATION-ANALYTICAL SYSTEM FOR MONITORING AND ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC IMPACTS ON THE ECOLOGY OF THE COASTAL AREA OF LAKE BAIKAL

Deterioration of the coastal environment of Lake Baikal is an issue of the day, which has been caused by the ongoing significant changes in the coastal benthic community, accommodating most of the endemic species of the lake inhabit. In-depth integrated studies of the coast and nearshore waters of the lake are required to specify the causes of these changes. The paper presents a geographic information system developed by the authors to support research into human impact on the environment of the coastal zone of Baikal Lake. The system is realized as a web geo-portal in the Internet and it allows the researcher to gen-

© 2016 Гаченко А. С., Минаев В. В., Михайлов А. А., Хмельнов А. Е., Фереферов Е. С.,
Фёдоров Р. К., Воробьёва И. Б., Власова Н. В.

erate a common base of thematic and cartographical data within the project framework, as well as to perform start-up of Internet services to tackle the challenges of geoprocessing and a comprehensive data analysis.

The open architecture of the developed geoportal allows to expand its functionality by addition of the new services which are available both locally on the geoportal server, and far off on other servers. The supported standards in the field of geoinformatics benefit the interoperability of the program systems realizing functions of the analysis and processing of geodata. A specific feature of the developed geoportal is an opportunity provided to users to independently operate with their data structures, and also to adjust the start of geoprocessing services, including those that require connection with the «Academician V. M. Matrosov» computing power cluster at the Irkutsk supercomputer center, Siberian Branch of the Russian Academy of Science». During the project implementation, the filling of geoportal with thematic and spatial data on results of the conducted research was carried out. The collected data allow to obtain integrated indicators containing information on the anthropogenic influences on the environment within a certain time interval.

Keywords: GIS, geoportal, spatial data, ecological database, anthropogenic pollution, Lake Baikal.

ВВЕДЕНИЕ

Ухудшение экологического состояния прибрежной зоны оз. Байкал является насущной проблемой, что обусловлено существенными изменениями в растительности и прибрежном бентосном сообществе, в котором проживает большинство эндемичных видов озера. К таким изменениям относятся: распространение нитчатых водорослей, гибель бентосных водорослей и макрофитов, гибель моллюсков и эндемичных губок, цветение бентосных цианобактерий и т. д. Установление причин экологического кризиса возможно в результате комплексных исследований побережья и прибрежной акватории. В 2015 г. в рамках проекта «Разработка единых методических подходов в определении антропогенного воздействия на поверхностный водоем в зоне субаквальной разгрузки загрязненных бытовыми стоками грунтовых вод (на примере района пос. Листвянка)» были начаты комплексные исследования урезовой полосы пос. Листвянка. В проекте участвуют ученые ЛИН СО РАН, ИДСТУ СО РАН, ИГ СО РАН, ИЗК СО РАН.

Потребность обработки больших объемов накопленных в рамках исследований, распределенных по институтам данных, необходимость их комплексирования и анализа стимулируют разработку новых методов и информационных технологий (ИТ) для поддержки научных исследований. Учитывая пространственный характер данных, наиболее адекватным инструментом поддержки исследований антропогенного воздействия на экологию прибрежной зоны оз. Байкал являются геоинформационные системы (ГИС), а в силу междисциплинарного характера исследований и необходимости оперативного представления их материалов всем участникам проекта такая ГИС должна быть многопользовательской.

В настоящий момент интенсивно развиваются и внедряются современные технологии обработки данных, в рамках которых вычислительные ресурсы предоставляются пользователям в виде интернет-сервисов [1]. Преимущества переноса функций обработки и хранения данных на удаленные серверы очевидны: упрощается обновление и обслуживание систем, снижаются требования к производительности компьютеров пользователей. Существует большое количество интернет-сервисов обработки и хранения данных. Например, Google (<http://docs.google.com>), Dropbox (<https://www.dropbox.com>), облако@mail.ru (<https://cloud.mail.ru>). Активно развиваются и внедряются международные стандарты представления и обмена, позволяющие создавать удобные сервисы как с унифицированными методами обмена данными, так и с пользовательским интерфейсом.

Развитие современных ГИС, таких как FreeGIS Database, Quantum GIS Project, а также специализированных геопорталов идет по пути поддержки сервисов. При этом необходимо отметить, что применение алгоритмов геообработки (например, морфометрический анализ, оверлейный анализ) для выполнения задач анализа в геопорталах развито достаточно слабо, и большинство существующих геопорталов реализуют только функции публикации данных в Интернете. Хотя есть в открытом доступе отдельные программы, реализующие функции геообработки.

Создание Информационно-аналитической системы (ИАС) мониторинга и оценки антропогенного воздействия на экологию прибрежной зоны оз. Байкал в виде геопортала имеет ряд преимуществ:

- обеспечение надежного хранения данных;
- легкий доступ к алгоритмам, моделям и методам геообработки данных в виде сервисов, возможность постоянного расширения банка алгоритмов;
- отсутствие необходимости установки пользователям программного обеспечения и его обслуживания;
- возможность использования систем высокопроизводительных вычислений для ресурсоемких приложений геообработки.

АРХИТЕКТУРА ИАС

Разработанная в рамках проекта ИАС является клиент-серверной (рис. 1). Пользователям через Web-клиент обеспечивается доступ к картографическим и тематическим базам данных (БД), а также к ряду сервисов геообработки. Архитектура системы разработана таким образом, чтобы обеспечить возможность расширения функциональности путем добавления новых сервисов. Большинство функций геопортала реализовано в виде сервисов, например, конвертация данных из одного формата в другой.

Серверная часть геопортала состоит из следующих компонентов.

Контроллер — модуль, который обеспечивает формирование пользовательского интерфейса. В основе работы модуля лежит технология применения структурных спецификаций, позволяющая упростить многие аспекты разработки и сопровождения информационных систем, обеспечивающих взаимодействие с реляционными БД [2]. Предлагаемые структурные спецификации таблиц представляются в формате JSON и являются моделями этих таблиц. На основе структурных спецификаций в соответствии с заданными политиками безопасности контроллер реализует создание таблиц, пользовательского интерфейса для работы с ними, формирует SQL-запросы.

Система управления базами данных PostgreSQL (с расширением для обработки пространственных данных PostGIS) [3] обеспечивает хранение пользовательских наборов данных и служебной информации геопортала. Расширение PostGIS позволяет хранить пространственные данные и реализует поддержку стандартов OGC [4]. Каждому пользователю системы предоставляется схема базы данных, в которой он может создавать таблицы.

Система хранения данных (СХД) — программно-аппаратное обеспечение на основе SAN ReadyStorage 3994 с общей стартовой дисковой емкостью 84 Тбайт, которое гарантирует надежное хранение пользовательских данных, бесперебойную работу и достаточно высокую скорость чтения/записи данных.

Mapserver — обеспечивает на стороне сервера генерацию изображений слоев карт в соответствии со стандартом WMS [5]. В настоящий момент все карты геопортала — в системе координат WGS 84. В перспективе планируется подключение сервисов пересчета координат из других систем. На основе пользовательских данных, загруженных в БД геопортала, реализовано построение тематических слоев, в том числе реализована раскраска объектов карт по значениям их семантики.

Клиентская часть геопортала обеспечивает многопользовательскую работу через Интернет, ввод и редактирование данных разных по структуре реляционных таблиц, создание пользователями своих наборов данных (таблиц), работу с цифровыми картами, вызов сервисов геообработки (например, интерполяция точечных данных на регулярную сетку, расчет плотности точечных объектов). Пользовательский интерфейс в браузере реализуется следующими компонентами: *таблица* — модуль, формирующий пользовательский интерфейс таблицы на основе jQuery Datatables; *форма ввода* — модуль,

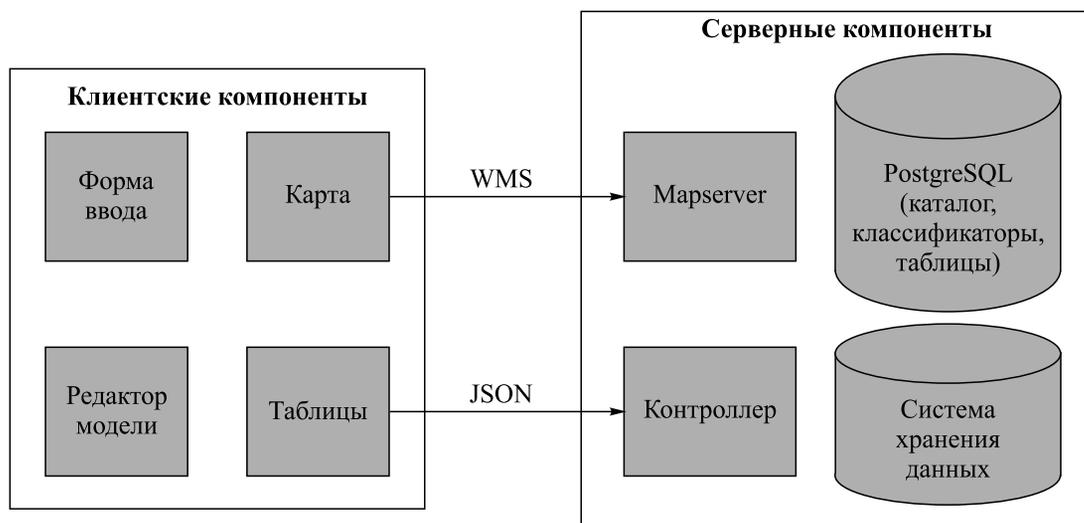


Рис. 1. Архитектура геопортала.

предназначенный для генерации пользовательского интерфейса, обеспечивающий редактирование таблицы на основе ее модели; *редактор модели* — модуль, предназначенный для создания и редактирования модели таблицы; *каталог таблиц* — системная таблица, содержащая метаданные пользовательских таблиц и их структурные спецификации; *карта* — модуль, отвечающий за формирование пользовательского интерфейса, отображения карты на основе библиотеки с открытым исходным кодом (Leaflet) [6]. В качестве фоновых карт геопортал позволяет использовать карты известных ГИС, такие как Google satellite, ЯндексКарты, 2GIS, Bing, OpenStreetMap, а также подключена кадастровая карта РФ. Пользователи могут подключать сторонние векторные и растровые карты, в том числе карты с батиметрией.

Разработанная система ввода и редактирования данных поддерживает регламентированную передачу данных WPS-сервисам [7]. При запуске WPS-сервиса пользователь может выбрать таблицу в качестве входного параметра. Перед совершением непосредственного запроса к удаленному WPS-сервису указанная пользователем таблица конвертируется с помощью утилиты `pgsql2shp`, входящей в стандартный пакет СУБД PostgreSQL, в файлы формата SHP. Далее сервису передаются HTTP-ссылки на сконвертированные данные в соответствии со стандартом WPS.

ДАННЫЕ ИАС

В рамках работ по проекту в 2016 г. проведено наполнение геопортала (рис. 2) тематическими и пространственными данными по результатам исследований сотрудников ИГ СО РАН и ЛИИ СО РАН. На основе данных, полученных в ИГ СО РАН, созданы БД и соответствующий картографический слой содержания антропогенных загрязнителей в природных средах, находящихся в прямой связи друг с другом, в рамках ландшафтно-геохимических потоков. Созданная БД содержит информацию о пробах снега, почвы и воды, взятых в 52 точках на территории и в окрестностях пос. Листвянка в различные периоды года. По каждой пробе в БД содержатся количественные показатели по ряду загрязнителей и характеристики: микробиологические показатели, содержание нефтепродуктов, взвешенных веществ, температура, минерализация, pH, катионы, анионы: Cl^- , HCO_3^- , F^- , SO_4^{2-} , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , микроэлементы: Mn, Ba, Al, Pb, Ni, Cu, Be, V, Mo, Cr, Fe, Si, Zn, Sr, Ti, Co, Cd. Собранные данные позволяют получать интегральные показатели, которые содержат информацию об антропогенном влиянии на природную среду за определенный промежуток времени.

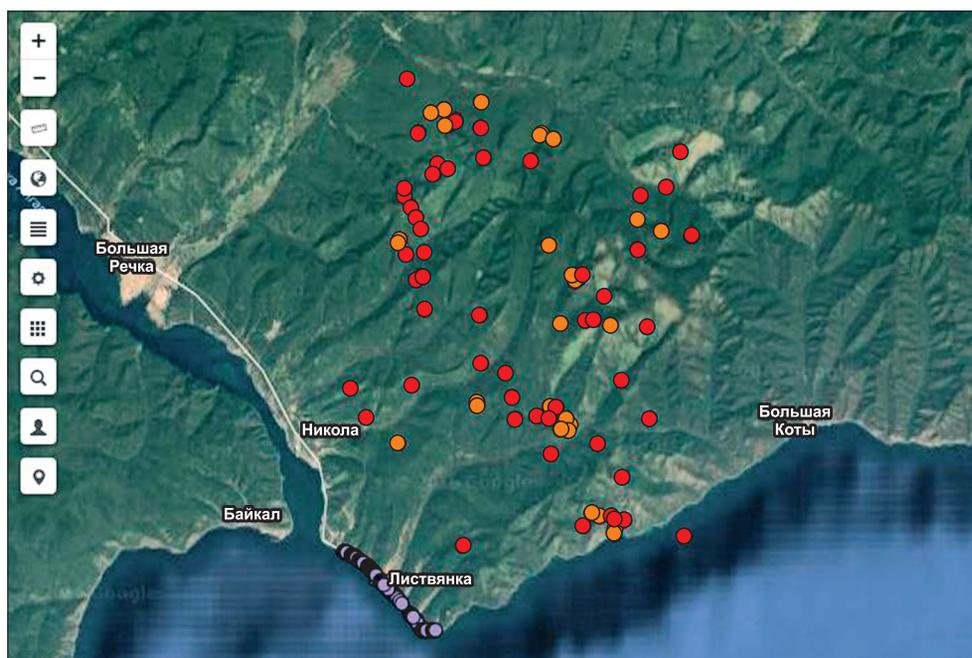


Рис. 2. Объекты с географической привязкой из БД.

По результатам проведенных в ЛИН СО РАН исследований создан ряд БД и соответствующих картографических слоев на геопортале: «Измерения удельного электрического сопротивления грунта методами электротомографии» (точки вдоль уреза воды на рис. 2); «Химический состав воды в ручьях, реках, лунках пляжей и литорали залива Лиственничный» (показателями базы являются концентрации элементов в фильтрованных пробах воды); «Санитарная микробиология рек п. Листвянка».

В рамках работ по проекту ИДСТУ СО РАН с применением оригинальной библиотеки триангуляции и технологии морфинга электронных карт была построена цифровая модель рельефа суши и дна в районе пос. Листвянка [8]. Модель суши была построена на основе снимков радарной топографической съемки — SRTM (Shuttle radar topographic mission), модель подводного рельефа — на основе данных батиметрии, предоставленных ЛИН СО РАН. Созданная цифровая модель позволяет повысить точность при моделировании распространения антропогенных загрязнителей с учетом рельефа местности. На основе полученных с Публичной кадастровой карты данных построен тематический слой «Источники потенциального загрязнения бытовыми стоками». В семантике объектов карты указано их назначение (гостиницы, кафе и т. д.), что позволяет оценивать вклад в антропогенное загрязнение от того или иного вида деятельности в районе этих объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная авторами информационно-аналитическая система дает возможность объединить усилия ученых и качественно повысить уровень исследований антропогенного воздействия на экологию прибрежной зоны оз. Байкал. Открытая архитектура разработанного геопортала позволяет расширять его функциональность путем добавления новых сервисов, находящихся как локально на сервере геопортала, так и удаленно на других серверах. За счет поддержки стандартов в области геоинформатики повышается интероперабельность программных систем, реализующих функции анализа и обработки геоданных.

Работа выполнена в рамках Интеграционной программы ИИЦ СО РАН «Фундаментальные исследования и прорывные технологии как основа опережающего развития Байкальского региона и его межрегиональных связей».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков И. В., Плюснин В. М., Ружников Г. М., Хмельнов А. Е., Фёдоров Р. К., Гаченко А. С. Создание инфраструктуры пространственных данных в управлении регионов // География и природ. ресурсы. — 2013. — № 2. — С. 145–150.
2. Фереферов Е. С., Бычков И. В., Хмельнов А. Е. Технология разработки приложений баз данных на основе декларативных спецификаций // Вычислительные технологии. — 2014. — Т. 19, № 5. — С. 85–100.
3. PostgreSQL: The PostgreSQL Global Development Group [Электронный ресурс]. — <http://www.postgresql.org/> (дата обращения 04.10.2016).
4. Geospatial and location standards [Электронный ресурс]. — <http://www.opengeospatial.org/> (дата обращения 07.10.2016).
5. Mapserver [Электронный ресурс]. — <http://mapserver.org/> (дата обращения 07.10.2016).
6. LeafLet — a JavaScript Library for Interactive Maps [Электронный ресурс]. — <http://leafletjs.com/> (дата обращения 07.10.2016).
7. OGC® WPS 2.0 Interface Standard [Электронный ресурс]. — <http://docs.opengeospatial.org/is/14-065/14-065.html> (дата обращения 07.10.2016).
8. Хмельнов А. Е., Гаченко А. С. Реализация совмещения неточной модели рельефа речного дна с моделью надводного рельефа // Вестн. Бурят. гос. ун-та. Математика, информатика. — 2016. — № 2. — С. 77–84.

Поступила в редакцию 24 октября 2016 г.