

INFORMATION MODELING OF TEMPORAL SPATIAL DATA FOR ECOLOGICAL MONITORING OF THE KRASNOYARSK RESERVOIR

Anna V. Korobko, Alexey A. Korobko, Tatiana V. Yakubaylik

Institute of Computational Modelling SB RAS, Federal Research Center Krasnoyarsk
Science Center of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Krasnoyarsk, Russia

Abstract

Efficiency of ecological monitoring data analysis is determined by elaborating, adequateness and comprehension of the informational models describing content and structure of expeditionary and laboratory research. The paper is dedicated to represent technologies of spatial temporal data processing and management for hydrobiological researches in the model-oriented system of operational information-analytical support of consolidation and processing of expedition data. Information models of the developed system are suggested according to research tasks of ecological monitoring.

Keywords: model driven architecture, information decision making support, data consolidation, geoinformation mapping, bathymetry

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ДАННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Коробко А.В., Коробко А.А., Якубайлик Т.В.

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

Эффективность анализа данных экологического мониторинга определяется проработанностью, адекватностью и полнотой информационных моделей, описывающих состав и структуру данных экспедиционных и лабораторных исследований. Настоящая работа посвящена представлению технологий обработки и организации пространственно-временных данных гидробиологических исследований и описанию информационных моделей, предназначенных для решения отдельных задач автоматизации экологического мониторинга Красноярского водохранилища в рамках модельно-ориентированной системы оперативной информационно-аналитической поддержки консолидации и обработки экспедиционных данных.

Ключевые слова: модельно-ориентированная архитектура, информационная поддержка принятия решений, консолидация данных, геоинформационное картографирование, батиметрия.

Введение. Красноярское водохранилище, являясь искусственным водоемом, тем не менее, остается объектом живой природы, самоорганизующейся экосистемой, которая требует даже более пристального изучения, чем естественные водные объекты. Для водохранилища так же актуальны вопросы гидробиологии, касающиеся изучения внутренних процессов экосистемы, ее реакции на внешнее воздействие (в том числе влияние антропогенного фактора) и прогноза состояния устойчивого функционирования. Решение перечисленных исследовательских вопросов неразрывно связано с обработкой данных, которые решаются путем анализа информации, полученной в ходе более ранних исследований, данных современных натуральных наблюдений и результатов математического моделирования.

Задачи сбора и хранения данных экспедиционных (полевых) и лабораторных исследований, как правило, решаются на базе простейших табличных редакторов [1]. Обработка накопленной информации выполняется либо стандартными статистическими методами, либо многофункциональными системами анализа данных, требующими углубленных знаний математики и информационных технологий. Сложившийся подход к организации процессов управления данными научных исследований решает тактические задачи исследователей, но не позволяет использовать преимущества технологических методов информационно-аналитического моделирования. Вызывает опасения степень достоверности результатов анализа, полученных при обработке данных, хранящихся без учета требования целостности и непротиворечивости. Слабая структурированность данных и отсутствие единой нормативно-справочной информации затрудняет корректное сопоставление экспериментальных данных с результатами, полученными в смежных областях науки и в ходе более ранних исследований, осложняет задачу комплексной и системной оценки накопленных данных и научной преемственности.

Основным методическим инструментом структурирования данных является информационное моделирование – представление существующих информационных потоков в виде формальных моделей. Каждая из решаемых исследователями задач сопряжена с построением моделей на разных концептуальных уровнях. Настоящая работа посвящена представлению технологий обработки и организации пространственно-временных данных гидробиологических исследований и описанию информационных моделей, предназначенных для решения отдельных задач автоматизации экологического мониторинга Красноярского водохранилища в рамках единой модельно-ориентированной системы оперативной информационно-аналитической поддержки консолидации и обработки экспедиционных данных. Авторская технология сбора данных экспедиционных и лабораторных исследований представлена управляющей моделью,

которая определяет и схему хранения данных, и пользовательский интерфейс разрабатываемой системы. Ранее накопленный фактический материал экологического мониторинга представлен в виде геоинформационных моделей станций отбора проб с 2000 по 2016 гг. и батиметрии Красноярского водохранилища.

Управляющая модель системы оперативной информационно-аналитической поддержки консолидации и обработки экспедиционных данных. Разрабатываемая модельно-ориентированная система [2] нацелена на сопровождение всех этапов изучения экосистемы, начиная с фиксации станции отбора проб в ходе экспедиции и внесения результатов лабораторных измерений и заканчивая аналитической и интеллектуальной обработкой накопленных данных. Главным фактором, определяющим достоверность и повторность результатов аналитической обработки данных, является структурирование информации с учетом требований атомарности, избыточности и непротиворечивости. Построение базы для хранения данных, в том числе и пространственно-временных, требует специальных знаний и опыта проектирования схем баз данных, с одной стороны, и владения, как минимум, терминами предметной области, с другой стороны. Учитывая, что построение базы данных процесс итеративный, ввиду постепенной структуризации накопленных данных и желания расширения тематического ядра системы в ходе ее эксплуатации [3], необходимость в привлечении специалиста в области информационных технологий и системного аналитика будет возникать регулярно. Решение проблемы поэтапного развития системы за счет расширения тематического ядра достигается путем применения авторской реализации модельно-ориентированного подхода в виде информационной системы построенной на основе управляющей модели, которая редактируется через интерфейс самой системы. Такой подход позволяет ученым-исследователям формировать и наполнять систему в соответствии с особенностями предмета своего изучения и своими аналитическими потребностями, без привлечения сторонних разработчиков. На рис. 1 представлен фрагмент управляющей модели модельно-ориентированной системы оперативной информационно-аналитической поддержки консолидации и обработки экспедиционных данных гидробиологических исследований.

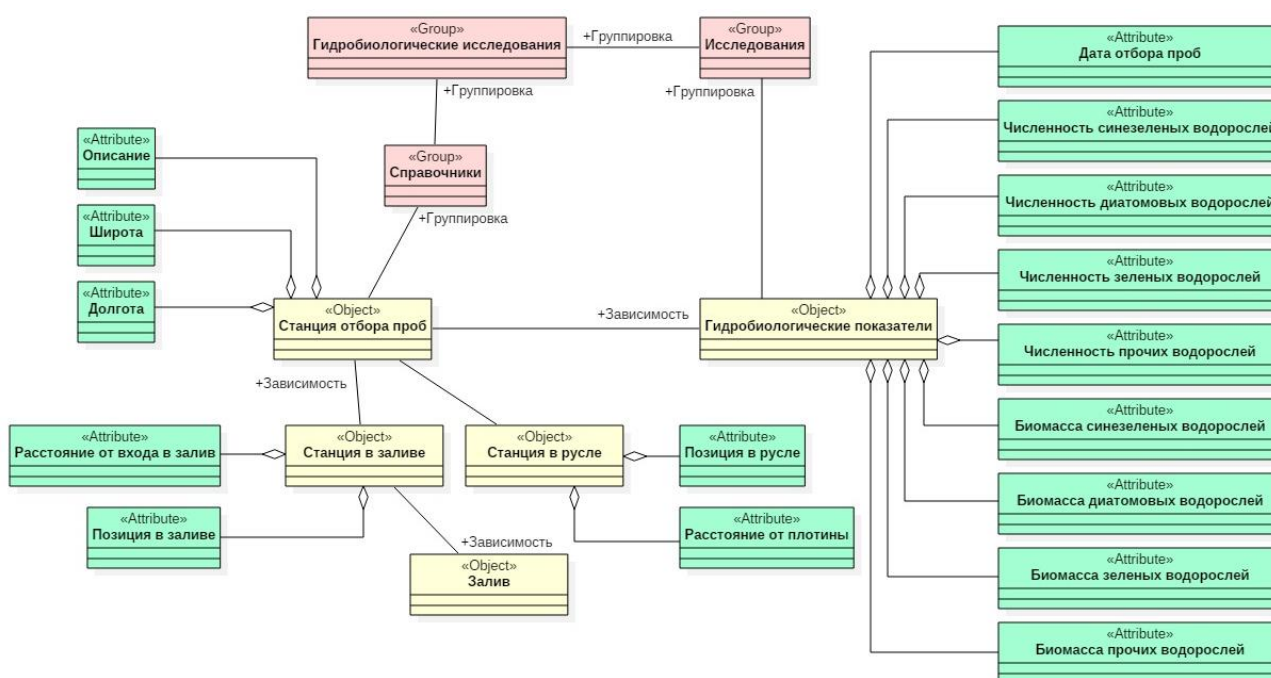


Рис. 1. Управляющая модель модельно-ориентированной системы оперативной информационно-аналитической поддержки консолидации и обработки экспедиционных данных.

Управляющая модель построена в соответствии с ранее предложенной авторской спецификацией, подробно описанной в работе [4]. Классы группировки задают структуру отображения аналитических объектов исследования в интерфейсе модельно-ориентированной системы. Связи между объектами модели соответствуют отношению зависимости между ними. Отношения обладания между объектами и атрибутами задают набор характеристик объектов, позволяя один и тот же атрибут связать с несколькими объектами, сохраняя при этом единый формат представления параметра (атрибута).

Геоинформационная модель экспедиционных исследований Красноярского водохранилища с 2000 по 2016 гг. Объектом информационного моделирования является Красноярское водохранилище. Специфика абиотических и биотических параметров экосистемы Красноярского водохранилища, проявление неблагоприятных последствий функционирования водохранилища для населения прибрежной зоны, включая г. Дивногорск и г. Абакан, а также расположенный ниже по р. Енисей г. Красноярск, обусловили необходимость систематизации наблюдений и исследований на нем.

Красноярское водохранилище вытянуто в меридиональном направлении с севера на юг (E 91°–92°, N 53°–56°), находится в зоне с резко-континентальным климатом (с холодной зимой более 5 месяцев и коротким теплым летом). Основные морфометрические характеристики при нормальном подпорном уровне 243 м: площадь водного зеркала 2000 км², объем водной массы 73,3 км³, длина 386 км, средняя ширина 5,8 км, средняя глубина 36,7 м; водообмен 1,4 раза в год [5].

Данные экспедиционных наблюдений накоплены за период 2000–2016 гг. Исследования проводились в вегетационный период (с июня по август) с многократным повтором забора проб с фиксированных станций. В ходе исследований проводился отбор проб воды в различных участках Красноярского водохранилища на протяжении от верхнего бьефа водохранилища до залива Улазы (Новоселовский район) (~172 км) со 190 станций. Для комплексной оценки функционального состояния водохранилища выполнялся анализ проб бактериопланктона и фитопланктона из 21 залива и русла водохранилища, были изучены функциональные характеристики бактерио- и фитопланктона в рамках 92 суточных серий бактериальной и первичной продукции и деструкции органического вещества; 65 серий 8-ми суточных определенных биологического потребления кислорода (БПК). Параллельно с биологическими анализами проводились флуоресцентные исследования 516 проб воды для определения биологических показателей активности (фито- и бактериопланктона) по концентрациям хлорофилла и растворенного органического вещества. Основные гидрооптические показатели определены для 204 проб [6].

В качестве инструмента редактирования геоинформационной модели [7] станций отбора проб выбран Конструктор карт Яндекс [8]. Преимущества выбранного средства заключаются в возможности совместного доступа к карте, предоставления прав просмотра по ссылке и импорта данных в распространенные форматы передачи геоданных для последующего экспорта в модельно-ориентированную систему оперативной информационно-аналитической поддержки консолидации и обработки экспедиционных данных. Фрагмент карты представлен на рис. 2.

Фактические координаты станций отбора проб были восстановлены по журналам наблюдений, под руководством специалистов, непосредственно принимавших участие в экспедиционных исследованиях. Для обеспечения корректного анализа данных прошлых и будущих исследований, станции отбора проб определены как геоточка с окрестностью, позволяющей сопоставить данных натуральных наблюдений в разные годы без потери информации – окрестность выбиралась с учетом отдаленности (близости) станций, пройденных за один день. Точное позиционирование станций отбора проб позволило создать справочники положения относительно заливов и русла (рисунок 1). Заливы условно разделены на устье, центр, глубь и подпор, а станции русла отнесены к правому и левому берегам и центру.

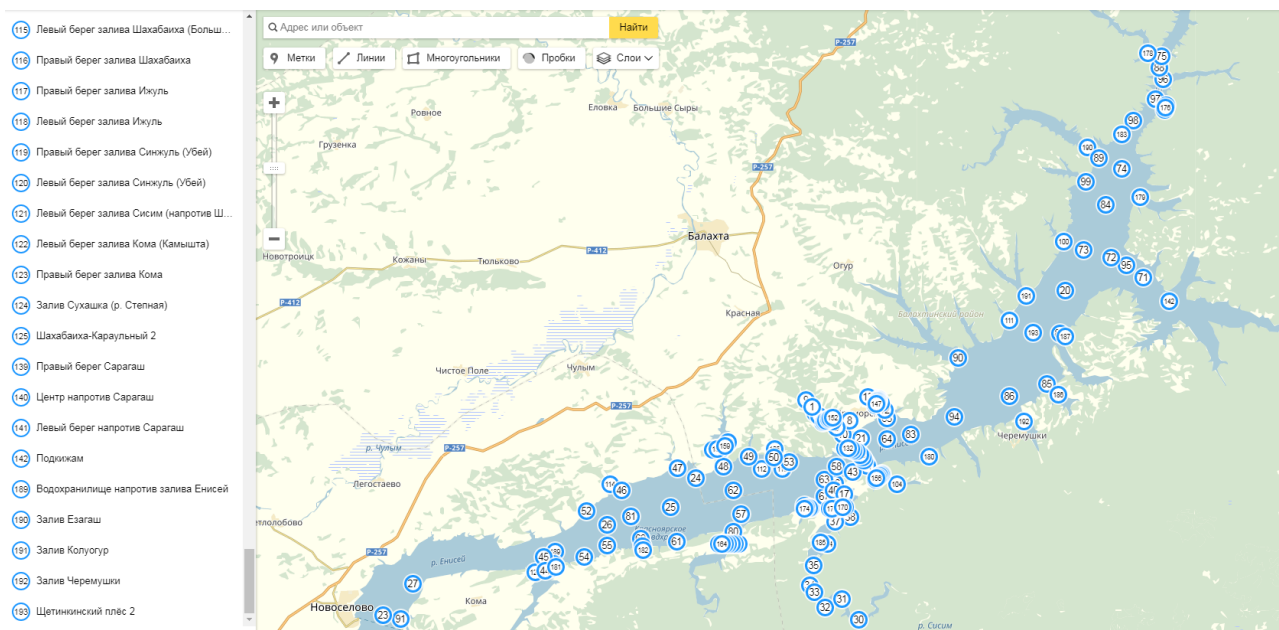


Рис. 2. Геоинформационная модель экспедиционных исследований Красноярского водохранилища с 2000 по 2016гг.

Геоинформационная модель батиметрии Красноярского водохранилища. Практика создания батиметрических карт [9] в значительной степени связана с технологическими возможностями. На протяжении длительного времени основным и единственным способом построения карт глубин были методы линейной интерполяции отметок глубин, полученных прямыми измерениями (с помощью специальных приборов – лотов). С развитием акустического способа измерения глубин, методов эхолотации, с изобретением и массовым использованием эхолотов (середина 20 века) эффективность работ по созданию карт подводного рельефа значительно повысилась. В послевоенные годы были созданы подробные батиметрические карты для всех внутренних водоемов страны. Новый этап развития начался с появлением компьютеров.

В современной нам действительности для создания карт рельефа дна применяются методы исследования, базирующиеся на высокоточной измерительной аппаратуре, методах геолокации GPS/ГЛОНАСС, сложном программном обеспечении – геоинформационных системах (ГИС) [10].

Современная ГИС предоставляет весь необходимый набор инструментов для моделирования данных по подводному рельефу. В настоящей работе исходной информацией для построения цифровой модели подводного рельефа Красноярского водохранилища были отметки и изобаты глубин, оцифрованные с карты-лоции. Лоция была предварительно оцифрована и геопозиционирована с помощью локально-аффинных преобразований по спутниковым снимкам Sentinel-2A с пространственным разрешением 10 м/пиксел. Оцифрованные данные лоции были преобразованы в географическую систему координат (градусы широты/долготы), а затем конвертированы в равноугольную поперечно-цилиндрическую проекцию Меркатора. Таким образом, исходная информация по глубинам лоции стала основой геоинформационной модели батиметрии.

Исходные данные лоции – это отдельные точки со значениями глубин и изобаты – линии с одинаковой глубиной. Все они использовались на следующем этапе обработки – интерполяции в регулярную сетку с задаваемым пользователем размером ячейки. На этом этапе были использованы различные методы – метод триангуляции (TIN – Triangular Irregular Network) и обратного взвешивания расстояний (IDW – Inverse Distance Weighted). Таким образом, была построена серия сеток с батиметрией Красноярского водохранилища разного уровня детализации. Значениями ячеек сетки являются вычисленные глубины водохранилища.

Заключение. Предложенные информационные модели нацелены на создание технологической основы и формирование тематического ядра модельно-ориентированной системы оперативной информационно-аналитической поддержки консолидации и обработки экспедиционных данных. Систематизация информации о ключевых аспектах научного исследования позволяет создать основу для преемственности результатов многолетних наблюдений, сравнительного анализа данных смежных исследований, оперативного анализа данных и извлечения новых знаний о функционировании объектов окружающей среды. Подробное описание точек отбора проб в совокупности с батиметрической моделью определяет качество нормативно-справочной информации разрабатываемой системы и спектр возможностей по выявлению закономерностей, прогнозированию и построению более точных математических моделей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности в рамках научного проекта № 16-41-240425-р_а.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Постникова П.В., Макарская Г.В., Апонасенко А.Д., Пономарева Ю.А. Многолетние гидробиологические исследования центральной части красноярского водохранилища // Всероссийская конференция по крупным внутренним водоемам Сборник научных трудов конференции (V Ладужский симпозиум), 2016. С. 318-323.
- [2] Грищенко М. А. и др. Применение модельно-управляемого подхода для создания производственных экспертных систем и баз знаний //Искусственный интеллект и принятие решений. 2016. №. 2. С. 16-29.
- [3] Korobko A., Postnikova P. Database development for spatial temporal facts about Krasnoyarsk reservoir// 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, www.sgem.org, SGEM2016 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-61-2 / ISSN 1314-2704, June 28 - July 6, 2016, Book3 Vol. 1, 227-234 pp. DOI:10.5593/SGEM2016/B31/S12.030
- [4] Korobko A.A., Nozhenkova L.F. Application of Model Driven Architecture for Development of Data Consolidation Web-system // Proc. 39th Intern. Conv. The conf. "MIPRO 2016". 2016. P. 1729-1734.
- [5] Гольд З.Г. Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество воды. Красноярск: Издательство СФУ, 2008. 538 с.
- [6] Postnikova P. V. Inter-annual dynamics of changes in hydrooptical characteristics of ecosystem of the Yenisei basin// Proc. SPIE 10035, 22nd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 1003535 (November 29, 2016); doi:10.1117/12.2248511
- [7] Янкевич С.С., Женибекова А.Б. Формализация картографического отображения при мониторинге окружающей среды для широкого круга пользователей // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. №2. С.103-106
- [8] Рассказова Н.С., Бобылев А.В. Представление данных цифровых моделей рельефа в экологических геоинформационных системах (на примере геоинформационной системы Шершневого водохранилища) // Вест. Челябинского гос. ун-та. 2010. № 8 (189). С. 36–39.
- [9] Лопаткин Д.А., Шерстянкин П.П. Геоинформационное картографирование рельефа дна озера Байкал // Геодезия и картография. 2015. № 3. С. 22-28.