

# ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ GEOINFORMATION SYSTEMS

УДК 528.91: 659.2

**А. Н. Бешенцев**, канд. геогр. наук, ст. науч. сотр., зав. лаб., e-mail: anbesh@gmail.com,  
Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Удэ

## Геоинформационная система долгосрочного мониторинга природопользования

*Представлены результаты создания и использования геоинформационной системы мониторинга хозяйственного освоения территории на примере бассейна озера Байкал. Описана методика создания картографических информационных ресурсов на основе ретроспективных топографических карт для исследования динамики географической среды. Представлен опыт создания картографического хранилища векторных данных и практический пример качественно-количественной оценки хозяйственного преобразования территории.*

**Ключевые слова:** ГИС, динамика природопользования, ретроспективные карты, картографическое хранилище векторных данных, геоинформационный мониторинг

### Введение

Современная информатизация территориальной деятельности общества способствует тому, что все большая часть географических исследований реализуется на основе картографических информационных ресурсов. Важное значение в обществе приобретают географические информационные системы [1], телекоммуникационные картографические сервисы, банки и базы геоданных. Современные приборы и методики оценки географической реальности обеспечивают формализацию геосвойств различной природы происхождения и интеграцию наук о Земле на базе геоинформационной технологии.

В настоящее время большинство государственных и научно-исследовательских организаций, связанных с системой территориального управления и планирования, формализовали значительные массивы тематических и топографических карт разных лет издания Корпуса военных топографов, ГУГиК, Генерального штаба СССР и Роскартографии. Эти карты создаются уже около 200 лет в единых картографических проекциях и системах координат, характеризуются единством картографируемых объектов и отображаемых параметров, сходством принятых классификаций, преемственностью методов составления и принципов генерализации. Они представляют собой разновременные модели физико-географического и социально-экономического состояния территории и служат исходными документами для метрической оценки долговременной динамики географической среды и трансформации природных ландшафтов. По этим причинам они являются

важными информационными ресурсами для получения нового геознания о хозяйственном освоении территории и надежным источником геоинформационного прогнозирования [2].

### Постановка задачи исследования

Индикатором хозяйственной деятельности является динамика географических объектов и процессов, которая фиксируется разновременными картографическими и аэрокосмическими материалами посредством изменения их планово-высотных и субстанциональных характеристик. Мониторинг и исследование этих изменений имеют большое практическое значение, так как позволяют определить уровень антропогенного воздействия на природную среду, выявить негативные и позитивные стороны природопользования, сформулировать рекомендации по оптимизации для органов управления. Внедрение геоинформационной технологии позволяет автоматизировать процесс использования разновременных картографических ресурсов, повышает точность и оперативность изысканий, снижает уровень субъективизма, обеспечивает возможность манипулирования значительными объемами геоданных [3]. Разработка методологических основ геоинформационного мониторинга долговременных природных и социально-экономических процессов является важным исследовательским направлением. Создание ГИС, позволяющей хранить значительные массивы разновременных пространственных данных, анализировать их и получать новую информацию об изменениях природных ланд-

шафтов, отвечать на запросы пользователя и оперативно выдавать информацию в любой форме, является актуальной задачей.

### Материалы и методы

В целях непрерывного отслеживания территориальных параметров хозяйственного освоения бассейна озера Байкал и негативных последствий природопользования в Байкальском институте природопользования (БИП) СО РАН разработана и внедрена геоинформационная система мониторинга природопользования (ГИСМП) на основе пакета ArcGIS (рис. 1).

ГИСМП представляет собой программно-управляемый комплекс периодической картографической регистрации объектов и процессов природопользования, позволяющий в интерактивном режиме оценивать и прогнозировать долговременную динамику хозяйственного использования территории и изменения природной среды региона [4]. Информационной основой ГИСМП является совокупность массивов разновременных топографических растровых и векторных карт 1896—1980 гг. издания. Первый временной срез представлен листами топографической карты, созданной Корпусом военных топографов в 1896—1914 гг. в масштабе 2 версты в 1 дюйме (1:84 000), в поперечно-цилиндрической проекции Гаусса. Для оценки пригодности ретроспективных карт как документов мониторинга выполнен анализ их достоверности и полноты содержания совместно с изучением географической литературы, дополнительных картографических материалов и статистических источников начала XX века. Для определения точности и принципов генерализации осуществлен сравнительный анализ ретроспективной карты с современной, сходной по назначению.

На основании анализа можно сделать вывод, что оцениваемые карты являются высокоинформативными источниками и подробно отображают физико-географическое состояние и систему природополь-

зования территории в начале XX века. Они являются важной метрической базой для мониторинга природопользования Байкальского региона, поскольку представляют результат первой геодезической съемки отображаемой части России.

В процессе автоматизации ретроспективных карт осуществляются послойная векторизация элементов содержания и геометрическая коррекция создаваемых слоев [5], а также наполнение таблиц атрибутов, которые формируются автоматически при экспорте в среду ArcGIS (см. таблицу). Минимизация геометрических искажений ретроспективной топоосновы представляет собой совокупность операций исправления векторных слоев на основе ряда геометрических преобразований сети регистрационных точек, однозначно установленных на современной и ретроспективной топоосновах. Для каждого листа формируется отдельный массив таких точек, в качестве которых поочередно были использованы геодезические пункты, отметки высот, центры населенных пунктов, устья рек, пересечения дорог, культовые объекты. Установлено, что наименьшую ошибку планового положения объектов дает преобразование по устьям рек. На листах с хорошо развитой речной сетью среднеквадратическая ошибка планового положения объектов уменьшалась до 0,2 мм, а вблизи регистрационных точек было полное совмещение.

В результате аффинного преобразования сети регистрационных точек выполняется координатная трансформация ретроспективных векторных слоев. Чем больше регистрационных точек, тем выше точность первичной коррекции. Для последующей коррекции на ретроспективной топооснове вновь указываются координаты положения регистрационных точек и выполняется трансформация посредством алгоритма "резиновый лист". В этом случае исправление геометрических искажений осуществляется вручную векторами смещения.

В результате создаются геоинформационные ресурсы, представляющие совокупность векторных слоев (shp-файлы) и однозначных таблиц атрибу-



Рис. 1. Функциональная структура ГИС

**Методика создания и использования картографических информационных ресурсов для мониторинга природопользования**

Процедуры мониторинга	Операции мониторинга
Редакционно-подготовительные работы	Оценка картографических материалов Разработка редакционных указаний
Формализация листов ретроспективных карт	Сканирование листов Создание растровых покрытий по параметрам исходной картографической проекции Векторизация элементов содержания
Создание ретроспективных объектных слоев	Экспорт векторных слоев в среду ArcGIS Склейка объектных слоев Редактирование слоев Создание топологии
Геометрическая коррекция ретроспективных объектных слоев	Проецирование современной топоосновы по параметрам исходной картографической проекции Создание сети регистрационных точек Координатная трансформация ретроспективных слоев по сети регистрационных точек Оценка точности преобразования Редактирование слоев с помощью алгоритма "резиновый лист" Обновление топологии ретроспективных слоев
Наполнение таблиц атрибутов ретроспективных слоев	Разработка системы классификации и кодирования объектов природопользования Ввод атрибутивных данных по слоям
Создание объектных слоев динамики природопользования	Совмещение ретроспективных и современных векторных слоев по необходимым временным срезам Устранение осколочных полигонов Обновление топологии Редактирование таблиц атрибутов
Геоинформационное картографирование динамики природопользования	Создание ГИС-проекта Составление карт динамики природопользования Пространственная оценка динамики Ранжирование территории по степени динамики
Геоинформационное моделирование динамики природопользования	Пространственное моделирование динамики (геометрическое, проекционное, масштабное, сетевое анализ, буферизация) Субстанциональное моделирование динамики (математическое, семиотическое) Моделирование посредством запросов
Представление результатов мониторинга	Инвентаризационные карты динамики объектов природопользования Синтетические карты взаимосвязей динамики объектов природопользования Аналитические карты зонирования и районирования территории во взаимосвязи с экологическими последствиями динамики природопользования Прогнозные карты сценариев развития природопользования Системы запросов динамики природопользования Графические и табличные материалы

тов (dbf-таблицы), размещенных в среде ArcGIS, и регистрирующие физико-географические параметры объектов природопользования исследуемой территории в начале XX века. Информационная структура базы данных ресурсов разработана на основе элементов содержания топографических карт: гидрография; населенные пункты; дорожная сеть; растительность; грунты; промышленные, сельскохозяйственные и социальные объекты; рельеф. Ресурсы имеют математическую основу, классификации элементов содержания и точность, аналогичные параметрам современных геоизображений, и могут быть использованы при реализации всех аналитических операций программной среды. Для отображения других временных срезов использованы листы топографической карты масштаба 1:100 000 издания 2002 г. (Роскартография) и издания 1962 г. (ГУГиК).

### Обсуждение результатов

В результате совмещения разновременных векторных слоев объектов природопользования и природных ландшафтов создано картографическое хранилище векторных данных [4]. Для каждого атрибута создана avl-легенда, позволяющая моментальное формирование визуального представления геоданных. База данных картографического хранилища содержит атрибуты совмещенных слоев, а также описывает планово-высотные метрические параметры пространственных объектов и является информационной основой для междисциплинарных научных исследований бассейна озера Байкал.

Методика использования хранилища представляет собой совокупность последовательных операций программной среды и заключается в формировании множества картографических представле-



Рис. 2. Схема использования картографического хранилища векторных данных

### Заключение

ний, в которых меняются лишь элементы содержания и способы картографического изображения объектов, а топологическая связность массивов данных сохраняется и не зависит от их комбинирования. Применение указанного подхода обеспечивает топологическую целостность данных и удобство любых преобразований как в интерактивном режиме, так и в автоматическом (рис. 2). Такое управляемое картографирование оптимизирует решение традиционных задач, связанных с выбором математической основы и компоновки карт, позволяет оперативную смену проекций, свободное масштабирование, обеспечено средствами визуализации и алгоритмами автоматической генерализации, а составление и оформление карт, подготовка к изданию реализуются на одном рабочем месте.

Важным механизмом моделирования пространственной информации является интерактивная работа с ГИС посредством геоинформационных запросов — совокупности последовательных операций программной среды, формируемых пользователем и отвечающих заданным субстанциональным и топологическим критериям. С помощью пакета ArcGIS можно выполнять различные запросы к картогра-

фическому хранилищу от простого выбора объектов для их идентификации, определения местоположения по критериям выборки до анализа пространственных взаимосвязей между различными объектами.

Например, на запрос "Создать модель динамики распаханности природных ландшафтов в XX в." первым шагом его реализации является выбор объектов моделирования (пашня и ландшафты). Затем устанавливаются топологические отношения между этими слоями и выполняется автоматизированная метрическая оценка образовавшихся полигонов. В результате этих операций создается новый слой, регистрирующий пространственное и количественное состояние моделируемого явления (в данном случае распаханность ландшафтов). При этом картографическая модель отображает плано-высотную характеристику явления. Графическая модель представляет количественную характеристику ареалов в виде метрических параметров и числа участков. Математическая модель представляет собой таблицу, содержащую метрические параметры распаханности ландшафтов.

Разработка методики автоматизации ретроспективных карт позволяет говорить о создании нового геоинформационного ресурса [6], обеспечивающего надежный картографический мониторинг и прогнозирование регионального природопользования. Значительный объем содержательной информации этих ресурсов позволяет их использовать при изучении долговременных природных (опустынивание, заболачивание и др.) и социально-экономических (добыча полезных ископаемых, миграция населения и др.) процессов. Кроме того, они фиксируют состояние земной поверхности в период строительства и ввода в эксплуатацию Транссиба и являются основным материалом при исследованиях воздействия магистрали на географическую среду региона.

Созданная ГИС является программно-техническим комплексом для регистрации и оценки динамики объектов природопользования, обеспечивающим междисциплинарную интеграцию научных исследований хозяйственного освоения бассейна озера Байкал. Она соответствует международным требованиям к аналогичным продуктам, открыта для дополнения пространственными и атрибутивными данными, методически проста и управляема.

Внедрение ГИС в органы управления и планирования соседствующих государств (Российская Федерация и Монголия) будет способствовать формированию единого информационного пространства и способствовать повышению эффективности межгосударственного природоохранного и социально-экономического взаимодействия.

#### Список литературы:

1. Бугаевский Л. М., Цветков В. Я. Геоинформационные системы. М.: Златоуст, 2000. 224 с.

2. Кудж С. А. Исследование окружающего мира методами геоинформатики // Вестник МГТУ МИРЭА "MSTU MIREA HERALD". 2013. № 1 (1). С. 95–102.

3. Цветков В. Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. 2014. № 6. С. 64–69.

4. Бешенцев А. Н. Информационная концепция картографического мониторинга геосистем: Дисс. ... д-ра геогр. наук. Иркутск, 2013. 332 с.

5. Бешенцев А. Н. Картографический мониторинг природопользования // Геодезия и картография. 2011. № 3. С. 14–18.

6. Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоданные как системный информационный ресурс // Вестник Российской Академии Наук. 2014. Т. 84, № 9. С. 826–829.

A. N. Beshentsev, Head of the GIS-laboratory, e-mail: anbesh@gmail.com,

Baikal institute of nature management Siberian branch of Russian, Academy of Sciences, g. Ulan-Ude

## The Geoinformation System of Long-Term Monitoring of Nature Use

*The article contains the results of the development and use of geographic information system for long-term monitoring of nature use of the territory by the example of the Lake Baikal basin. As an information base used arrays of multi-temporal topographic maps. To assess the suitability of these materials for a long-term monitoring of documents made a comprehensive analysis of the topographic map sheets, scale 1:84,000, created in 1896–1914 years. Described the technique of automating, geometric correction and creation cartographic information resources, based on them serving as a reference document for monitoring territory. Submitted by the experience of creating a multi-temporal Cartographical Data Warehouse. The technique of works with Data Warehouse, is the possibility of forming a plurality of cartographic representations, which changes the way of cartographic images of objects, but the integrity and coherence of the topological data sets does not depend on their combination. Presented the mechanism of interactive works with Data Warehouse through the geoinformation requests. Presented a practical example of qualitative and quantitative assessment of the transformation of the territory.*

**Keywords:** GIS, the dynamics of nature use, retrospective maps, cartographical data warehouse, geographic information monitoring

#### References

1. Bugaevskij L. M., Cvetkov V. Ja. *Geoinformacionnye sistemy*. M.: Zlatoust, 2000. 224 p.

2. Kudzh S. A. Issledovanie okruzhajushhego mira metodami geo-informatiki. *Vestnik MGTU MORJeA "MSTU MIREA HERALD"*. 2013, no. 1 (1), pp. 95–102.

3. Cvetkov V. Ja. Situacionnoe modelirovanie v geoinformatike. *Informacionnye tehnologii*. 2014, no. 6, pp. 64–69.

4. Beshentsev A. N. *Informacionnaja koncepcija kartograficheskogo monitoringa geosistem*: Dis. doktora geogr. nauk. Irkutsk. 2013. 332 p.

5. Beshentsev A. N. Kartograficheskij monitoring prirodopozovaniya. *Geodezija i kartografija*. 2011, no. 3, pp. 14–18.

6. Savinyh V. P., Cvetkov V. Ja. Geodannye kak sistemnyj informacionnyj resurs. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk*. 2014, vol. 84, no. 9, pp. 826–829.