

ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА

УДК 528.91:659.2

Создание ГИС мониторинга природопользования бассейна озера Байкал

З.З. Пахахинова, А.Н. Бешенцев, Е.Ж. Гармаев*

*Байкальский институт природопользования СО РАН
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8*

Поступила в редакцию 8.02.2018 г.

Приводятся результаты создания и использования геоинформационной системы (ГИС) долгосрочного мониторинга хозяйственного освоения территории на примере бассейна оз. Байкал. Представлена функциональная структура ГИС, состоящей из измерительной, информационной, технологической и аналитической подсистем. Даны результаты анализа ретроспективных карт как основных документов для долгосрочной метрической оценки динамики природопользования. Описана методика геометрической коррекции ретроспективных карт на современной топографической основе. Разработана методика создания и использования картографических информационных ресурсов для мониторинга природопользования. Представлен практический пример результата мониторинга в виде карты динамики пашни в XX в.

Ключевые слова: ГИС, динамика природопользования, ретроспективные карты, геоинформационный мониторинг; GIS, the dynamics of nature use, retrospective maps, geographic information monitoring.

Введение

Важнейший процесс в системе «общество–природа» — процесс природопользования — сопровождается непрерывной динамикой различных географических объектов. Эта динамика является индикатором преобразования географической среды и фиксируется изменениями пространственных и субстанциональных характеристик географических объектов во времени. В условиях современной информатизации территориальной деятельности все больше географических исследований реализуется на основе картографических информационных ресурсов и геоинформационной технологии [1]. В настоящее время многие государственные и научно-исследовательские организации, связанные с системой территориального управления и планирования, формализовали значительные массивы тематических и топографических карт разных лет издания Корпуса военных топографов, Главного управления геодезии и картографии (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 карты являются важными информационными ресурсами для получения нового геознания о хозяйственном освоении территории и надежным источником геоинформационного прогнозирования [2].

Постановка задачи исследования

Мониторинг и исследование динамики природопользования имеют важное практическое значение, так как позволяют определить уровень антропогенного воздействия на природную среду, выявить негативные и позитивные стороны природопользования, сформулировать рекомендации по оптимизации для органов территориального 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].

Ретроспективные карты незаменимы при исследованиях динамики географических объектов, и в первую очередь изменений лесного покрова [4, 5], оценки динамики русел рек [6]. Кроме того, на сегодняшний день интерес к ретроспективным картам связан с возможностями геоинформационной технологии, которая обеспечивает их формализацию в программной среде и позволяет совместить разновременные объектные слои в едином покрытии для последующего пространственно-временного моделирования. Основной проблемой автоматизации

* Зоригма Зундуевна Пахахинова (mzorigma@mail.ru); Андрей Николаевич Бешенцев (abesh@mail.ru); Ендон Жамьянович Гармаев (info@binm.ru).

ретроспективных карт является их привязка к геоинформационному полю и последующая геометрическая коррекция ретроспективных объектных слоев на современной топооснове [7]. Существующие ГИС-программы позволяют успешно решать эти задачи [8–10]. Так, например, на основе разновременных картографических и спутниковых материалов проведен мониторинг зоны влияния водохранилищ ангарского каскада для обеспечения рационального природопользования и эффективного территориального управления [11]. В Красноярском крае на основе разработанной системы показателей устойчивого природопользования выполнен комплексный мониторинг хозяйственного освоения окружающей среды региона [12]. Проведены исследования на территории Алтайского края с целью оперативного мониторинга природопользования и прогнозирования источников природных чрезвычайных ситуаций [13].

Таким образом, разработка методологических основ геоинформационного мониторинга природопользования на основе ретроспективных карт – важное исследовательское направление. Создание ГИС, позволяющей хранить значительные массивы разновременных пространственных данных, анализировать их и получать новую информацию об изменениях природных ландшафтов, отвечать на запросы пользователя и оперативно выдавать информацию в любой форме, является актуальной задачей.

Материалы и методы

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

Данная система представляет собой программно-управляемый комплекс геоинформационной регистрации объектов и процессов природопользования, позволяющий в интерактивном режиме оценивать и прогнозировать долговременную динамику

хозяйственного использования территории и изменения природной среды региона. Информационной основой ГИСМП служит совокупность массивов разновременных топографических растровых и векторных карт 1896–2005 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 : 84000), в поперечно-цилиндрической проекции Гаусса. Для оценки пригодности ретроспективных карт как документов мониторинга выполнен анализ их достоверности и полноты содержания и точности совместно с изучением географической литературы, дополнительных картографических материалов и статистических источников начала XX в. Для определения точности и принципов генерализации проведен 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 природопользования территории в начале XX в. 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, а также наполнение таблиц атрибутов, которые формируются автоматически при экспорте в среду ArcGIS (таблица). 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 культовые объекты, геодезические пункты, отметки высот, центры населенных пунктов, устья рек, пересечения дорог. Установлено, что наименьшую



Рис. 1. Функциональная структура ГИС

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

№	Процедуры мониторинга	Операции мониторинга
1	Редакционно-подготовительные работы	– оценка картографических материалов; – разработка редакционных указаний
2	Формализация листов ретроспективных карт	– сканирование листов; – создание растровых покрытий по параметрам исходной картографической проекции; – векторизация элементов содержания
3	Создание ретроспективных объектных слоев	– экспорт векторных слоев в среду ArcGIS; – склейка объектных слоев; – редактирование слоев; – создание топологии
4	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
5	Наполнение таблиц атрибутами ретроспективных слоев	– разработка системы классификации и кодирования объектов природопользования; – ввод атрибутивных данных по слоям
6	Создание объектных слоев динамики природопользования	– совмещение ретроспективных и современных векторных слоев по необходимым временным срезам; – устранение осколочных полигонов; – обновление топологии; – редактирование таблиц атрибутов
7	Геоинформационное картографирование динамики природопользования	– создание ГИС-проекта; – составление карт динамики природопользования; – пространственная оценка динамики; – ранжирование территории по степени динамики
8	Геоинформационное моделирование динамики природопользования	– пространственное моделирование динамики (геометрическое, проекционное, масштабное, сетевой анализ, буферизация); – субстанциональное моделирование динамики (математическое, семиотическое); – моделирование посредством запросов
9	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

ошибку планового положения объектов дает преобразование по устьям рек. На листах с хорошо развитой речной сетью среднеквадратическая ошибка планового положения объектов уменьшалась до 0,5 мм, а вблизи регистрационных точек наблюдалось 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 посред-

вом алгоритма «резиновый лист». В этом случае исправление геометрических искажений выполняется вручную векторами смещения.

Обсуждение результатов

В результате создаются геоинформационные ресурсы, представляющие совокупность векторных слоев (файлы.shp) и однозначных таблиц атрибутов (таблицы.dbf), размещенных в среде ArcGIS, и регистрирующие физико-географические параметры объектов природопользования исследуемой территории в начале XX в. 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 топографических карт масштаба 1 : 100 000 издания 2002 г. (Роскартография) и 1962 г. (ГУГиК).

При мониторинге центральной, наиболее освоенной части бассейна оз. Байкал, использованы листы сельскохозяйственной карты масштаба 1 : 100 000 издания 2000 г. В результате совмещения слоев «пашня 1900 г.» и «пашня 2000 г.» создано векторное покрытие «динамика пашни», регистрирующее площадь распаханности территории по двум временным срезам. На основе покрытия составлена карта (рис. 2).

Покрытие содержит атрибуты совмещенных слоев и метрические параметры вновь образовавшихся полигонов. Количественная оценка пространственных характеристик распаханности территории выполняется в пределах бассейнов главных рек. На основании интерактивного анализа покрытия «динамика пашни» пользователь может получить метрические данные, территориально характеризующие изменение явления, а также выделить участки современной, заброшенной и новой пашни,

площади, распахиваемые во время всего периода, и т.п. Кроме того, совмещение покрытия со слоем «природные ландшафты» позволяет выявить приуроченность пашни к определенным типам ландшафтов и выполнить количественную оценку их трансформации.

Таким образом, процесс геоинформационного мониторинга представляет собой совокупность человеко-машинных операций по совмещению разновременных геоданных с целью получения новой геоинформации о динамике долговременных процессов природопользования и об их последствиях.

Заключение

Разработка методики автоматизации ретроспективных карт и их геометрической коррекции позволяет говорить о создании нового геоинформационного ресурса [14], обеспечивающего надежный картографический мониторинг и прогнозирование регионального природопользования. Значительный объем содержательной информации этих ресурсов позволяет использовать их при изучении долговременных природных (опустынивание, заболачивание и др.) и социально-экономических (добыча полезных ископаемых, миграция населения и др.) процессов. Также они фиксируют состояние земной поверхности в период строительства и ввода в эксплуатацию Транссиба и являются основным материалом в исследованиях воздействия магистрали на географическую среду региона.

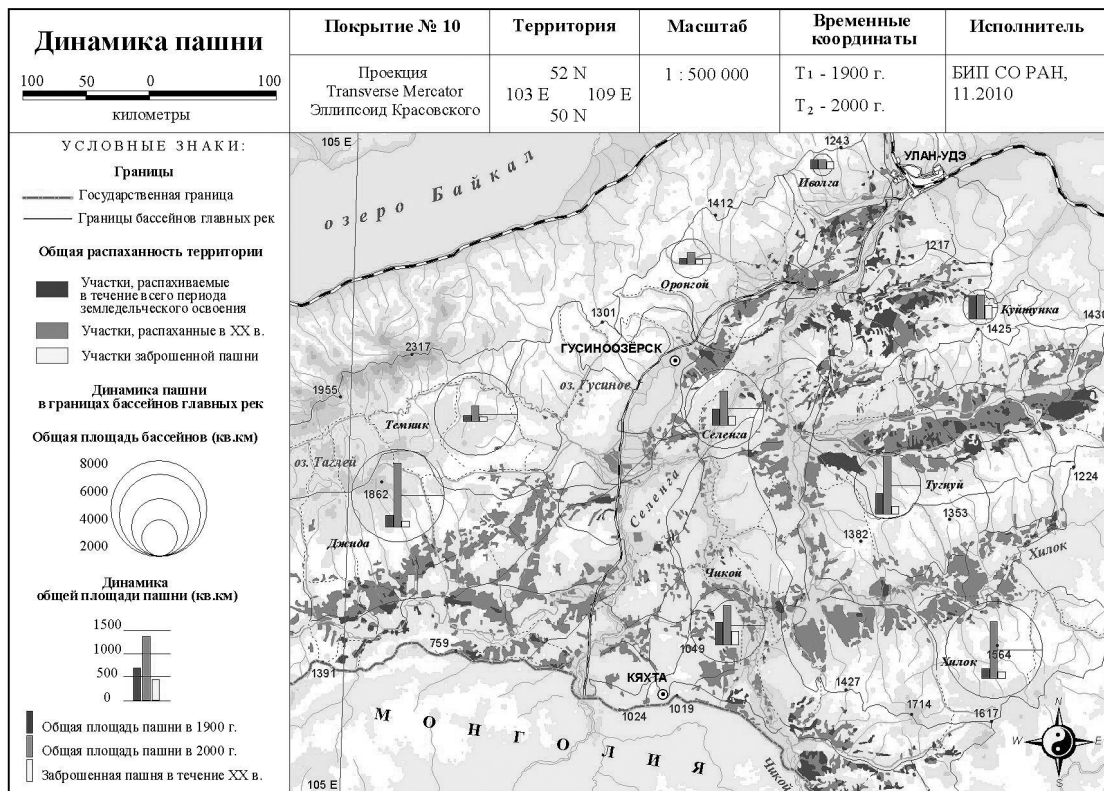


Рис. 2. Результат картографического мониторинга аграрного природопользования

Созданная ГИС – это программно-технический комплекс для регистрации и оценки динамики объектов природопользования, обеспечивающий междисциплинарную интеграцию научных исследований хозяйственного освоения бассейна оз. Байкал. Она соответствует международным требованиям к аналогичным продуктам, открыта для дополнения пространственными и атрибутивными данными, методически проста и управляема.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-45-030020 «Интегральная оценка рисков от наводнений на реках бассейна оз. Байкал»).

1. *Бугаевский Л.М., Цветков В.Я.* Геоинформационные системы. М.: Златоуст, 2000. 224 с.
2. *Кудж С.А.* Исследование окружающего мира методами геоинформатики // Вестн. МГТУ МИРЭА MSTU MIREA HERALD. 2013. Т. 1, № 1. С. 95–102.
3. *Цветков В.Я.* Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информ. техн. 2014. № 6. С. 64–69.
4. *Кукса И.В.* Исследование динамики распространения лесов по космическим снимкам и старым картам: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ им. Ломоносова М.В., 1993. 24 с.
5. *Черепанова Е.С.* Картографирование лесных ресурсов на разновременных картах XIX–XXI вв. (территория Пянтежской лесной дачи) // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края. Пермь: Изд-во ПГУ. 2013. С. 100–103.
6. *Каргаполова И.Н.* Использование старых русских карт для изучения динамики русел рек // Геодезия и картография. 2007. № 12. С. 10–20.

7. *Бешенцев А.Н.* Информационная концепция картографического мониторинга геосистем: Дис. ... д-ра геогр. наук. Иркутск: Байкал. ин-т природопольз. СО РАН. Иркутск, 2013. 332 с.
8. *Шмелев В.К.* Географическая привязка старых карт (на примере карт города Москвы) // Прил. к журн. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. Сб. ст. по итогам науч.-техн. конф. 2015. № 8. С. 121–124.
9. *Кондратьев И.И.* Картография XVIII столетия: от артефакта к источнику (методика топографической адаптации картографических материалов XVIII века) // Вестн. Твер. гос. ун-та. Сер. История. 2009. № 2. С. 90–98.
10. *Уставич Г.А., Пластинин Л.А., Пошивайло Я.Г., Каретина И.П.* Разработка метода ретроспективного картографирования почвенного покрова земель населенных пунктов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. № S4. С. 99–103.
11. *Гиенко А.Я., Пластинин Л.А., Стутин В.П.* Оперативный дистанционный мониторинг Приангарья в интересах обеспечения рационального природопользования и эффективного управления // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2010. Т. 1, № 3. С. 138–142.
12. *Шапарев Н.Я.* Мониторинг окружающей среды Красноярского края в показателях устойчивого природопользования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. Т. 18, № 12. С. 110–113.
13. *Лагутин А.А.* Разработка геоинформационных технологий оперативного мониторинга окружающей среды и прогнозирования источников природных чрезвычайных ситуаций территории: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Барнаул: Алт. гос. ун-т. Барнаул, 2007. 22 с.
14. *Савиных В.П., Цветков В.Я.* Геоданные как системный информационный ресурс // Вестн. РАН. 2014. Т. 84, № 9. С. 826–829.

Z.Z. Pakhakhinova, A.N. Beshentsev, E.Z. Garmaev. Creation of GIS for monitoring of management of nature use in the Lake Baikal basin.

The paper describes the creation and use of a geoinformation system (GIS) for long-term monitoring of agricultural development of a territory using the Lake Baikal basin as an example. The functional structure of GIS consists of measuring, information, technological, and analytical subsystems. The analysis results of retrospective maps as the main documents for the long-term metric assessment of the nature use dynamics are given. A technique for geometric correction of the retrospective maps on the modern topographic basis is described. A methodology for creating and using cartographic information resources for environmental monitoring is developed. A practical example of monitoring results in the form of a map of the arable land dynamics in the XX century is presented.