ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА БИОРАЗНООБРАЗИЯ НА ООПТ ОБЪЕКТА ВСЕМИРНОГО ПРИРОДНОГО НАСЛЕДИЯ «ОЗЕРО БАЙКАЛ»

А.Н. Бешенцев, Е.Ж. Гармаев*, Л.Г. Намжилова**
**Байкальский институт природопользования СО РАН,*
Улан-Удэ, Россия, anbesh@gmail.com

ORGANIZATION OF GEOINFORMATION MONITORING OF BIODIVERSITY ON SPECIAL PROTECTED NATURAL AREAS OF THE OBJECT WORLD NATURAL HERITAGE 'LAKE BAIKAL'

A.N. Beshentsev, E.Zh. Garmaev*, L.G. Namzhilova**
**Baikal Institute of Nature Management SB RAS,*
Ulan-Ude, Russia, anbesh@gmail.com

Abstract. The article presents the results of the organization geoinformation monitoring of biodiversity on special protected natural areas the coast of Lake Baikal. Defined specificity of such monitoring, developed structure of a data bank of biodiversity, created the GIS of biodiversity and proposed spatial indicators to assess the dynamics of objects biodiversity.

Keywords: biodiversity, geoinformational monitoring, special protected natural area, Annals of nature, GIS, database of biodiversity.

Введение. Мониторинг биоразнообразия, как один из разделов экологического мониторинга, представляет систему регулярных длительных наблюдений в пространстве и времени, предоставляющий информацию о состоянии биоразнообразия во всех его проявлениях с целью оценки прошлого, настоящего и прогноза в будущем параметров биоразнообразия, обеспечивающих естественный гомеостаз экосистем [4, 5]. В настоящее время различные государственные и научные организации, связанные с системой федерального и регионального управления биоразнообразием бассейна оз. Байкал, формализовали значительные массивы географических документов в виде специальных реестров, кадастров, корпоративных архивов и т.п. Эти информационные ресурсы представляют собой разновременные метрические модели особо охраняемых экосистем и являются исходной информацией для долгосрочного мониторинга биоразнообразия [1, 2].

На территории Объекта всемирного природного наследия «Озеро Байкал» расположены: в Республике Бурятия – государственные природные биосферные заповедники «Баргузинский», входящий в ФГБУ «Заповедное Подлеморье», и «Байкальский», государственный природный заповедник «Джержинский», Забайкальский государственный национальный природный парк («Заповедное подлеморье») и государственный национальный парк «Тункинский» (частично), Фролихинский и Кабанский заказники федерального значения; в Иркутской области – государственный природный заповедник «Байкало-Ленский» и Прибайкальский государственный национальный парк (рис. 1), входящие в состав ФГБУ «Заповедное Прибайкалье» с февраля 2014 г.

Постановка проблемы. Сложившаяся система мониторинга биоразнообразия в России отличается исключительно ведомственным подходом и отсутствием четкой координации действий. До сих пор на федеральном уровне нет ведомства и инфраструктуры для сбора, обработки, анализа и проверки достоверности информации, поступающей из разных источников [7]. Создаваемые информационные массивы, как правило, имеют узко территориальный характер, различную точность привязки, специальные форматы, не унифицированы, а иногда и противоречивы. В результате слабого взаимодействия между ведомствами и низкой стандартизации экологических данных многие показатели состояния биоразнообразия остаются невостребованными и бесполезно хранятся в отраслевых архивах.

Наиболее полно требованиям постоянного контроля за компонентами биоразнообразия отвечает «Летопись природы» – система наблюдений и отчетности на ООПТ, представляющая собой набор определенных показателей, обеспеченных многолетними рядами наблюдений. Она включает отдельные факты, результаты измерений и учета особей и популяций охраняемых растений и животных, а также климатические, ландшафтные и др. наблюдения [6]. При этом системным недостатком «Летописи природы» как программы мониторинга является то, что она не является аналитическим документом: при отсутствии задач по оценке состояния биоразнообразия происходит сбор данных, которые либо неадекватны, либо недостаточны для проведения исследовательских работ [7]. Кроме того, отмечается и низкая репрезентативность собираемых данных, когда зачастую данные, собираемые из одного урочища, экстраполируются на всю территорию ООПТ без учета ее ландшафтной неоднородности.

Рис. 1. ООПТ на территории Объекта всемирного природного наследия «Озеро Байкал»

Таким образом, важной проблемой при инвентаризации и мониторинге объектов биоразнообразия является необходимость интеграции значительных массивов разнородных пространственных, качественных и количественных данных с целью формирования проблемно-ориентированных баз данных и поисково-аналитических систем, обеспечивающих оперативный доступ к информации заинтересованных лиц и организаций. Внедрение геоинформационной технологии позволяет автоматизировать процесс использования разновременных и разноформатных экологических данных и способствует формированию геоинформационного мониторинга биоразнообразия как надежного методического приема отслеживания состояния и динамики биогеоценозов. При этом разработка методических основ геоинформационного мониторинга биоразнообразия представляет собой современное исследовательское направление, а создание надежного программно-технического комплекса, позволяющего хранить и анализировать большие объемы экологических данных, является актуальной практической задачей.

Материалы и методы исследований. Основным источником экологических данных для геоинформационного мониторинга биоразнообразия является «Летопись природы», представляющая ежегодную сводку данных о состоянии заповедных территорий. Этот документ объединяет всю информацию о состоянии природных систем и их компонентов. Он позволяет получить объективные и разносторонние характеристики процессов, происходящих в заповедных экосистемах, что очень важно для прогнозирования динамики природной среды и территориального управления. Некоторые заповедники ведут «Летопись природы» более 50 лет и имеют непрерывные долгосрочные ряды наблюдений по численности животных, биологическому разнообразию, динамике экосистем, а также данные изменений параметров абиотических факторов.

В современной научной литературе под мониторингом понимается технологическая система, либо процесс наблюдений, оценки и прогноза изменений компонентов географической среды, главным образом под влиянием человеческой деятельности. В обоих случаях речь идет о необходимости регламентированных периодических наблюдений и качественно-количественной оценке изменений объектов мониторинга. Для определения геоинформационного мониторинга биоразнообразия (ГМБ) из множества дефиниций наиболее обоснованной является «мониторинг – комплексная многоцелевая информационная система регламентированных периодических наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния природной среды с целью выявления негативных изменений и выработки рекомендаций по их устранению или ослаблению» [3]. Специфика ГМБ заключается в том, что инвентаризация и оценка динамики видового состава и вмещающих экосистем осуществляется посредством метрического отслеживания их параметров и топологических взаимоотношений в информационной среде. Регистрация и хранение эко-

гических данных осуществляется в геоинформационном поле на основе грамматического строя языка карты. Пространственное положение особо охраняемого объекта регистрируется геодезическими координатами, сущностные характеристики (атрибуты) фиксируются в реляционной таблице. ГМБ основывается на принципах математической формализации (масштаб, проекция), знаковой символизации, генерализации и системного подхода к отображаемым объектам и процессам.

Реализация мониторинга осуществляется посредством ГИС – комплекса информационных, программных и технических средств, предназначенных для накопления, хранения и коллективного использования геоданных с целью получения необходимой пространственно-временной информации. Главная задача такой системы – непрерывная информационная оценка пространственного и сущностного развития биоразнообразия на конкретной территории во взаимосвязи с экологической оценкой последствий этого процесса. Конечная цель системы – разработка универсальных картографических моделей и типовых геоинформационных запросов развития охраняемых объектов и территорий, назначение которых, формируются под влиянием требований пользователей. Концептуальной основой ГИС являются принципы единства картографируемых объектов биоразнообразия и их характеристик на используемых картографических и аэрокосмических материалах, единая картографическая проекция, сходство принятых классификаций, преемственность методов составления и принципов генерализации.

Для осуществления мониторинга биоразнообразия и последующего внедрения в администрации ООПТ в Байкальском институте природопользования СО РАН создана проблемно ориентированная ГИС, состоящая из пяти открытых подсистем. Техническую базу измерительной подсистемы составляют геохимические и геофизические приборы, предназначенные как для полевой регистрации параметров биоты и абиотических факторов, так и для камеральной обработки геоданных. Наличие дифференциальной станции глобального позиционирования обеспечивает надежное измерение параметров геообъектов и высокую точность математической основы мониторинга.

Основу информационной подсистемы составляют разновременные цифровые покрытия, аэрокосмическая, статистическая, литературная информация и фотографические материалы. Информационная подсистема решает задачи накопления, структурирования, хранения и обновления первичной пространственно-временной информации на электронных носителях.

Технологическая подсистема базируется на программном обеспечении ArcGIS, представлена необходимыми техническими и программными средствами, обслуживается квалифицированным персоналом, обеспечивает надежную реализацию всех операций картографирования биоразнообразия и соединена локальной сетью. Рабочая станция одновременно является сервером информации. Подсистема обеспечивает возможность как интерактивной работы пользователя в режиме запроса, так и малотиражную печать информации в любом виде.

Семиотическая подсистема состоит из методики оформления карт и таблиц информативности цветов и графознаков. Основная задача этой подсистемы заключается в адекватном отображении объектов флоры и фауны с помощью геоинформационных моделей на основе законов семиотики.

Аналитическую подсистему представляют методики геоинформационного картографирования и моделирования, а также система геоинформационных запросов. Она решает задачи обработки геоданных, оценки и анализа состояния растительных и животных популяций, а также прогнозирования динамических процессов.

Информационное обеспечение ГИС включает массивы базовых пространственных данных: топографическую основу главного масштабного ряда, сцены Landsat, цифровую модель рельефа SRTM (рис. 2). Топографическая основа включает следующие слои: гидрография (реки, озера); рельеф (изолинии, отметки высот); дорожная сеть; населенные пункты; растительность; грунты. Цифровая модель рельефа SRTM является высотной основой для локализации тематических слоев биоразнообразия. Для регистрации параметров ландшафтов, растительных сообществ, почв используется мультиканальная сцена данных дистанционного зондирования Landsat.

Рис. 2. Пример массива базовых пространственных данных для ОППТ (Байкальский заповедник)

Регистрация и моделирование объектов и процессов биоразнообразия осуществляются посредством инвентаризационных, синтетических и аналитических карт на трех масштабных уровнях. Региональный уровень (1:500 000–1:1 000 000) позволяет выявить внешние связи заповедников и национальных парков в совокупности одноранговых геосистем (климат, воздушный перенос и т.п.) в пределах Байкальской природной территории и выполнить их сравнительный анализ. Локальный уровень (1:100 000–1:200 000) обеспечивает картографирование системы природопользования и типов ландшафтов, а также характеризует физико-географические условия ООПТ как единого природного комплекса. Объектный уровень (1:25 000–1:50 000) отображает взаимосвязи природоохранной инфраструктуры и природных геосистем и обеспечивает оценку территории в пределах урочища, а также позволяет выполнять мониторинг отдельных объектов флоры и фауны.

Результаты исследований и их обсуждение. В результате формализации и обобщения разновременных показателей «Летописи природы» ООПТ исследуемой территории в БИП СО РАН сформирован Банк данных биоразнообразия. Объекты мониторинга биоразнообразия выделяются на видовом (популяционном) и экосистемном уровнях. Банк данных биоразнообразия ООПТ включает базы данных: растительный покров; животный мир; грибы; факторы развития экосистем (рис. 3).

Рис. 3. Банк данных биоразнообразия

В каждой базе данных выделяются информационные массивы наиболее значимых или характерных, для данной ООПТ, объектов биоразнообразия:

1. редких таксонов, в первую очередь, внесенных в Красные книги РФ и Республики Бурятия, и узко эндемичные;
2. социально-экономически значимых видов, включая охотничье-промысловые, вредящие сельскохозяйственным и лесным культурам; имеющие эпидемиологическое значение и т.д.;
3. видов особой биоценотической значимости, являющихся эдификаторами экосистем, формирующих важные консорции и т.д., а также чуждых видов (вселенцев), способных нанести ущерб аборигенным сообществам и экосистемам;
4. видов особо уязвимых, в силу образования ими массовых скоплений (колонияльные виды животных).

Мониторинг на экосистемном уровне охватывает:

1. Эталонные сообщества и экосистемы – ненарушенные(коренные)сообщества и экосистемы, наиболее характерные для Байкальской природной территории (БПТ). Регулярные наблюдения за состоянием эталонных сообществ и экосистем необходимы для контроля их благополучности, в целях обеспечения их сохранения в качестве эталонов природы, а также позволяют отслеживать естественные природные процессы, связанные с климатическими изменениями и т.д., происходящие без прямого влияния деятельности человека, что обеспечивает выполнение заповедником (национальным парком) одной из основных своих функций. Среди наземных экосистем к эталонным относятся, в первую очередь, зональные экосистемы, свойственные плакорам и их горным аналогам, а также сообщества и экосистемы, не являющиеся плакорными, но широко распространенные на равнинных водоразделах и горных склонах и в значительной степени определяющие облик ландшафта, интразональные сообщества и экосистемы, особо характерные или специфичные для Байкальской природной территории.

2. Редкие, в том числе реликтовые, сообщества и экосистемы, в первую очередь сообщества, отличающиеся высоким видовым богатством и разнообразием, значимым участием или доминированием реликтовых и (или) узко эндемичных форм. Реликтовые сообщества, для которых существующие условия не являются оптимальными, могут наиболее чутко реагировать на направленные изменения природной среды климатогенного характера – потепления и похолодания, аридизацию и гумидификацию.

3. Сообщества специфических и экстремальных сред обитания (термальные, пещерные и т.д.), мониторинг которых, помимо слежения за состоянием этих редких и уникальных объектов, имеет существенное научно-познавательное значение, а также требует специальных подходов и индивидуальных методов.

Все объекты биоразнообразия формализованы в ГИС в виде объектных тематических слоев (точечных, линейных, полигональных). Каждый слой представляет собой совокупность векторного файла (shp-file) и таблицы атрибутов (dbf-file). Все слои представлены в проекции UTM на геоиде WGS 84, каждый слой имеет файл привязки prj (рис. 4).

Рис. 4. Пример записи тематических слоев в ГИС
(Забайкальский государственный национальный природный парк)

Оценка экологического состояния биоты может включать самые разнообразные биогеоэкологические параметры (видовое разнообразие и количественный состав популяций, динамика сообществ, изменения местообитаний и экологических ниш, признаки нарушений жизнедеятельности и др.). При мониторинге биоразнообразия из множества показателей, регистрируемых Банком данных, наиболее репрезентативными являются те, которые являются биоиндикаторами – «организмы, присутствие, количество или особенности развития которых, служат показателями естественных процессов, условий или антропогенных изменений среды обитания». Однако единой системы биоиндикаторов для исследуемых ООПТ не существует. По этой причине в качестве основных биоиндикаторов для оценки и изучения популяций и экосистем нами использовались: видовой состав, численность и структура сообществ.

Кроме того, в качестве информационных индикаторов состояния и динамики объектов биоразнообразия нами использовались морфометрические и картометрические показатели, отображающие состояние объекта наблюдения и ход процессов в форме, удобной для восприятия. Морфометрические показатели обеспечивают метрическую и топологическую оценку объектов биоразнообразия в пределах природных и антропогенных территориальных единиц (ООПТ, выдел, участок, маршрут учета, геосистема). К таким показателям относятся: плотность, концентрация, централизация, сосредоточенность, количество, высотная дифференциация; густота, извилистость, симметричность, характер распространения (сплошное, дискретное) объектов. Картометрические показатели обеспечивают локализацию объектов биоразнообразия в геоинформационном поле: геодезические координаты, высота над уровнем моря, экспозиция, уклон, протяженность и площадь объектов.

Динамика объектов биоразнообразия определяется изменениями их пространственного положения и качественно-количественного состояния за определенный промежуток времени. При изменении отдельных объектов меняются их топологические отношения и пространственная структура популяции в целом. Результатом картографирования этих изменений является определение тех или иных повторяющихся форм и состояний объектов и ареалов, тех или иных особенностей переходных стадий их развития, анализ пространственно-временной структуры инвариантов их территориальных, качественных и количественных преобразований. Оценка изменений биоразнообразия осуществляется на основании моделей динамики: пространственное движение, качественно-количественное изменение, качественное замещение объектов, ареалов и популяций. Таким образом, эти биологические и информационные индикаторы отражают пространственные и временные характеристики развития биоразнообразия.

Выводы. Предложенная ГИС мониторинга оптимизирует систему сбора и анализа биотических и абиотических параметров ООПТ: выбор объектов, показателей и индикаторов мониторинга; выбор и обоснование использования как традиционных, так и инновационных методик, приборов и оборудования; выбор и обоснование мониторинговых площадок с их детальной характеристикой. Важным преимуществом предлагаемой автоматизированной системы является возможность интерактивной работы с большим числом векторных слоев и многослойных рабочих покрытий посредством геоинформационных запросов хранящимся данным. Такое взаимодействие обеспечивает оперативность всех операций мони-

торинга биоразнообразия в части методического сопровождения в соответствии с современными требованиями информационного общества.

Таким образом, созданная ГИС обеспечивает автоматизированную реализацию всех аспектов метрической и субстанциональной оценки объектов и процессов биоразнообразия, соответствует международным требованиям для аналогичных продуктов, открыта для дополнения любой геоинформацией, методически проста и управляема. Управление системой предполагает возможность создания различных по типу и предмету карт и геоинформационных запросов.

Разработка ГИС мониторинга биоразнообразия позволила:

- оптимизировать технологию организации аналогичных продуктов;
- определить особенности необходимого технического и программного обеспечения;
- выявить и минимизировать проблемы информационной безопасности и технологической устойчивости программно-технического комплекса и сетевых ресурсов.

Однако при внедрении ГИС были установлены препятствия технологического, кадрового и методического характера, требующие долгосрочного преодоления. Всесторонний анализ этих проблем позволил разработать комплекс рекомендаций, направленных на оптимизацию мониторинга биоразнообразия, и довести их до административных ООПТ. Выполнение рекомендаций обеспечит достижение необходимого информационного потенциала каждой ООПТ и создание согласованных геоинформационных ресурсов, а также будет способствовать развитию единой инфраструктуры пространственных данных биоразнообразия региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК REFERENCES

1. Бешенцев А.Н., Тулохонов А.К., Бычков И.В., Ружников Г.М., Батуев А.Р. Геоинформационные ресурсы Байкальской природной территории: нормативно-правовой контент. / Материалы международной конференции ИнтерКарто-ИнтерГИС-18: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Редкол.: С.П. Евдокимов (отв. ред.). – Смоленск, – 2012. – С. 101–105

Beshentsev A.N., Tulohonov A.K., Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Batuev A.R. Geoinformacionnye resursy Bajkal'skoj prirodnoj territorii: normativno-pravovoj kontent. / Materialy mezhdunarodnoj konferencii InterKarto-InterGIS-18: Ustojchivoje razvitie territorij: teorija GIS i prakticheskij opyt. Redkol.: S.P. Evdokimov (otv. red.). Smolensk, – 2012. – pp. 101–105. (In Russian).

2. Бешенцев А.Н., Тулохонов А.К., Бычков И.В., Ружников Г.М., Батуев А.Р. Создание геоинформационных ресурсов для междисциплинарных исследований дельтовых территорий побережья оз. Байкал. / Материалы международной конференции «ИнтерКарто-ИнтерГИС-19». – Курск, – 2013. – С. 50–54.

Beshentsev A.N., Tulohonov A.K., Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Batuev A.R. Sozdanie geoinformacionnyh resursov dlja mezhdisciplinarnyh issledovanij del'tovyh territorij poberezh'ja oz. Bajkal. / Materialy mezhdunarodnoj konferencii 'InterKarto-InterGIS-19'. Kursk, – 2013. – pp. 50–54. (In Russian).

3. Горная энциклопедия /Под редакцией Е.А. Козловского. М.: Советская энциклопедия, – 1984–1991. – 800 С.

Gornaja jenciklopedija / Pod redakciej E.A. Kozlovskogo. M.: Sovetskaja jenciklopedija, – 1984–1991. – 800 s. (In Russian).

4. Мониторинг биоразнообразия / Под общей ред. В.Е. Соколова и др. М.: ИПЭЭ РАН, – 1997. – 368 С.

Monitoring bioraznoobrazija / Pod obshhej red. V.E. Sokolova i dr. M.: IPJeJe RAN, – 1997. – 368 p. (In Russian).

5. Смуров А.В. Мониторинг биоразнообразия / А.В. Смуров, В.Н. Максимов, В.С. Тикунов // География и мониторинг биоразнообразия. М.: НУМЦ, – 2002. – С. 303–370.

Smurov A.V. Monitoring bioraznoobrazija / A.V. Smurov, V.N. Maksimov, V.S. Tikunov // Geografija i monitoring bioraznoobrazija. M.: NUMC, – 2002. – pp. 303–370. (In Russian).

6. Филонов К.П., Нухимовская Ю.Д. Летопись природы в заповедниках СССР / Методическое пособие. М.: Наука, – 1985. – 143 С.

Filonov K.P., Nuhimovskaja Ju.D. Letopis' prirody v zapovednikah SSSR / Metodicheskoe posobie. M.: Nauka, – 1985. – 143p. (In Russian).

7. Яшина Т.В. Индикаторы оценки биоразнообразия на особо охраняемых природных территориях Алтае-Саянского экорегиона. Руководство по использованию. Красноярск, 2011. 56 С.

Jashina T.V. Indikatory ocenki bioraznoobrazija na osobo ohranjaemyh prirodnyh territorijah Altae-Sajanskogo jekoregiona. Rukovodstvo po ispol'zovaniju. Krasnojarsk, – 2011. – 56 p. (In Russian).