

**В.П. Демкин, В.В. Хромых, А.Е. Березин, С.Н. Воробьев, Д.А. Вершинин,
Е.Л. Лобода, П.П. Щетинин, Т.Б. Корнеева**

**Национальный исследовательский Томский государственный университет, ООО «Контек-Софт»,
г. Томск, Россия**

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ

Статья посвящена разрабатываемому в ТГУ проекту высокопроизводительной геоинформационной системы мониторинга и прогнозирования состояния природных объектов. Рассмотрены причины создания системы и приоритетные задачи, на решение которых ориентирована система. Описаны информационное, аппаратное и программное обеспечение ГИС, а также основные подсистемы и их предназначение. Рассчитан экономический эффект для областного бюджета от внедрения ГИС мониторинга и прогнозирования состояния природных объектов. Приведены примеры использования системы в образовательной сфере.

Ключевые слова: геоинформационная система, ГИС, геопортал, мониторинг, прогнозирование, дистанционное зондирование, окружающая среда.

В настоящее время в мировом сетевом информационном пространстве активно набирают популярность различные поисковые системы пространственных данных на базе геосервисов. При этом в науках о Земле явно наметился переход от классических «закрытых» узкоспециализированных геоинформационных систем (ГИС) к новому этапу развития геоинформатики и геоинформационного картографирования – созданию инфраструктур пространственных данных (ИПД). ИПД по сути являются дальнейшее развитие ГИС в тесной интеграции с сетевыми технологиями (прежде всего глобальной сети Internet). Сейчас во многих странах полным ходом идёт разработка национальных ИПД – информационно-телекоммуникационных систем, объединяющих национальные ресурсы пространственных данных [1]. Доступ к пространственным данным в ИПД, как правило, осуществляется через геопорталы. Подобные технологии делают процедуры анализа природной среды и их результаты более доступными для специалистов, ответственных за принятие решений во многих важных сферах деятельности (экологический менеджмент, лесное хозяйство, службы ГО и ЧС и т.п.), так как для доступа к цифровым геоданным теперь не требуется до-

рогостоящее специализированное программное обеспечение ГИС, а достаточно выхода в сеть Internet. Особую актуальность создание геопорталов и «интегральных» ГИС приобретает для больших регионов.

Томская область является собой весьма крупный регион площадью 314,4 тыс. км², что превышает площадь таких государств, как Италия (301,2 тыс. км²), Польша (311,7 тыс. км²), Великобритания (244,1 тыс. км²) [2]. Население области при этом чуть более 1 млн чел. и сконцентрировано в основном в г. Томске и пригородах. Большая часть Томской области отличается слабой заселённостью и транспортной труднодоступностью. Территория характеризуется обилием природных ресурсов, прежде всего лесных, а также охотничьих, дикорастущих и др. При этом некоторые территории испытывают и весьма интенсивное антропогенное воздействие в результате деятельности предприятий нефтегазодобывающего комплекса, лесного и сельского хозяйства. Таким образом, проблема учёта и оценки природных ресурсов, а также мониторинга состояния ландшафтной среды в Томской области стоит весьма остро. До сих пор не существует единой ландшафтной карты Томской области, лишь отдельные территории

покрыты крупномасштабными и среднемасштабными ландшафтными картами, многие из которых сделаны более 30 лет назад. Практически не используются современные технологии ГИС и компьютерной обработки данных дистанционного зондирования для расчётов наличия и урожайности промысловых видов природных ресурсов. Даже данные лесной инвентаризации в цифровом виде покрывают на данный момент менее четверти площади лесничеств Томской области.

9 октября 2015 г. между Департаментом лесного хозяйства Томской области, филиалом ФГБУ «Рослесинфорг» «Запсиблеспроект», Томским филиалом ФГБУ «Рослесинфорг» и Национальным исследовательским Томским государственным университетом было подписано соглашение о взаимодействии для реализации мероприятий Концепции создания в Томской области инновационного территориального центра «ИНО Томск», ключевой целью которого являются разработка и внедрение инновационной геоинформационной технологии учета и оценки природных ресурсов (лесное хозяйство, рыбохозяйственный комплекс, охотничье хозяйство, дикоросы), объемов их допустимого неистощительного извлечения, воспроизводства и охраны, в том числе для улучшения статистического учета. Именно на разработку подобной технологии направлено данное научное исследование.

Основная цель исследования – разработка высокопроизводительной геоинформационной системы мониторинга и прогнозирования состояния природных объектов Томской области.

В рамках реализации данного проекта были определены следующие приоритетные задачи, решение которых должна обеспечивать разрабатываемая система:

- информационное обеспечение инвентаризации и учета лесного хозяйства;
- оперативный мониторинг лесоустройства и лесохозяйственной деятельности;
- оценка и прогнозирование урожайности возобновляемых природных ресурсов;
- обеспечение оперативного мониторинга пожароопасной обстановки на территории Томской области;
- обеспечение оперативного контроля паводковой обстановки на территории Томской области;
- обеспечение оперативного экологического мониторинга, включая контроль нефтяных загрязнений, вырубок леса и др.;

– информационное обеспечение кадастровых работ и контроля освоения земель области;

– мониторинг сельскохозяйственной деятельности.

Геоинформационная система мониторинга и прогнозирования состояния природных объектов располагается на базе Центра обработки данных Национального исследовательского Томского государственного университета.

Аппаратное обеспечение системы включает в себя оборудование, имеющееся в Региональном центре аэрокосмического мониторинга ТГУ, Центре обработки данных и Региональном центре спутникового доступа ТГУ. Для представления данных будет использовано оборудование гео-сервера с характеристиками: процессор 6x3 ГГц; ОЗУ 16ГБ; НМЖД 60ТБ, ОС Ubuntu Server. Для функционирования подсистем сбора, хранения, тематической обработки и анализа геоданных будут задействованы 12 АРМ.

Программное обеспечение системы включает полнофункциональные программные комплексы для работы с геоданными ArcGIS for Server Standard 10.4.1 (ESRI Inc.), PHOTOMOD 5.3, ENVI 5.0, а также специализированное ПО Agisoft PhotoScan, EasyTrace 9.3 Pro, Portal for ArcGIS (ESRI Inc.), Geoportal Server 1.2.6 (ESRI Inc.), GeoServer 2.6.1. Предусмотрено кроссплатформенное использование серверных частей БД – Microsoft Windows, Linux 32- и 64-разрядных архитектур, а также соответствие серверов баз данных всех подсистем стандарту ANSI SQL92 (MS SQL Server, MySQL).

Информационное обеспечение системы включает в себя базы геоданных (БГД) и ГИС различной тематической направленности (ландшафтные, почвенные, геоботанические, гидрологические, метеорологические), существующие и разработанные в ТГУ, мультиспектральные и панхроматические космические снимки высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, имеющиеся в ТГУ и предоставляемые профильными департаментами администрации Томской области по заявке Регионального центра аэрокосмического мониторинга ТГУ, материалы оптических и тепловизионных съёмок с БПЛА Supercam ТГУ, цифровые материалы лесоустройства, предоставляемые Департаментом лесного хозяйства Томской области, данные информационных систем, имеющихся в распоряжении про-

фильных департаментов администрации Томской области, в том числе информация о лесопользователях (собственниках и арендаторах лесных участков) из системы «АВЕРС» (Управление лесным фондом), а также оперативные метеорологические данные и данные об уровнях воды на гидропостах Томской области, предоставляемые Управлением по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и пожарной безопасности Томской области.

Структура системы:

- подсистема сбора и первичной обработки пространственных данных, предназначенная для производства информационной продукции на основе данных, получаемых с космических аппаратов и БПЛА, в ходе полевых геодезических исследований, а также с открытых информационных систем, с целью дальнейшего использования в подсистеме тематической обработки и анализа;

- подсистема хранения данных, предназначенная для организации надёжного отказоустойчивого хранения больших массивов пространственных данных (>300 Tb);

- подсистема тематической обработки и анализа данных, предназначенная для инвентаризации, мониторинга и прогнозирования возобновляемых природных ресурсов, пополнения базы данных семантической информацией, вычисления значений расчётных показателей и сохранения их в базе данных, анализа информации, поиска по запросу пользователя информации во всех доступных для пользователя источниках (БГД, базы данных семантической информации, интегрированные информационные системы) и отображения совмещённой (в числовом и картографическом виде) информации, а также получения отчётности;

- подсистема прогнозирования ситуаций, предназначенная для обеспечения возможности краткосрочных и долгосрочных прогнозов природных и техногенных явлений и процессов, включая прогнозирование урожайности возобновляемых природных ресурсов, прогнозирование паводковой ситуации в период половодья и прогнозирование пожароопасной ситуации;

- подсистема представления данных (Геопортал), предназначенная для организации единой точки доступа к распределённым геоинформационным ресурсам и информационного сопровождения хозяйственной деятельности в регионе;

- подсистема доступа к данным, предназначенная для обеспечения постоянного гарантированного доступа к данным на принципах ролевого участия и ограничения прав.

Реализуемые в проекте современные технологии геоинформационного ландшафтного картографирования позволяют вывести на новый уровень традиционные способы учёта и оценки природных ресурсов, поскольку используется системный (ландшафтный) анализ, позволяющий объединить разнородную и разнovedомственную пространственную информацию в единой базе геоданных. Например, данные лесоустройства объединяются с данными по почвам, промышленным ресурсам и лесопользователям (система «Аверс»), а крупномасштабная цифровая ландшафтная карта Васюганского болота содержит данные об урожайности дикорастущих природных ресурсов (рис. 1), что позволяет учитывать и вводить в оборот эти ресурсы, используя логистические функции системы (на основе слоёв дорожной сети), хотя без подобной системы промышленные ресурсы болотных ландшафтов пока используются весьма ограниченно [3].

В подсистемах первичной и тематической обработки данных проектируемой ГИС широко применяются современные методы компьютерной обработки данных дистанционного зондирования, включающие создание «мозаик» изображений, ортофотопланов, спектральную и радиометрическую коррекцию снимков, экспертную, «обучающую» и автоматизированную классификацию, основанную на кластерном анализе (алгоритм ISODATA), классификацию подпикселей, а также вычисление вегетационных индексов (RVI, NDVI, SAVI, EVI, PVI и т.п.). При этом планируется широко использовать современные космические снимки сверхвысокого разрешения, включая данные с недавно запущенных отечественных спутников «Ресурс-П», «Канопус-В», а также результаты съёмки с имеющегося в ТГУ уникального беспилотного летательного аппарата с инфракрасным сенсором.

В методиках мониторинга ландшафтной среды и прогнозирования паводковой ситуации используются новейшие технологии сложного пространственного анализа в ГИС, включая разработанные в ТГУ методы морфометрического анализа ландшафтов на основе цифровых моделей рельефа [4, 5], трёхмерного моделирования подтопления тер-

ритории [6], а также методы «растровой» алгебры карт и переклассификации растров [7]. Например, на геопортале можно увидеть в режиме реального времени текущую ситуацию и прогноз подтопления территории вблизи населённых пунктов в виде трёхмерной модели (рис. 2). Методики прогнози-

рования урожайности различных промысловых ресурсов разрабатываются с использованием нейросетевого анализа.

При подготовке технико-экономического обоснования разработки ГИС мониторинга и прогнозирования состояния природных объектов был

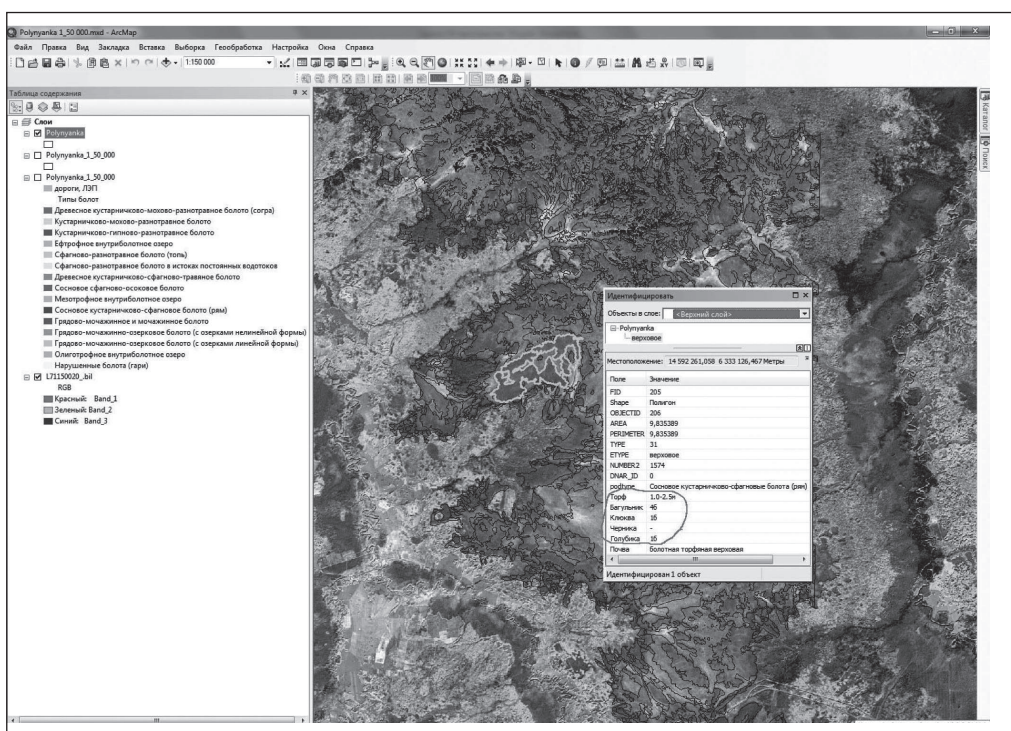


Рис. 1. Информация о наличии промысловых видов дикорастущих ресурсов в базе геоданных

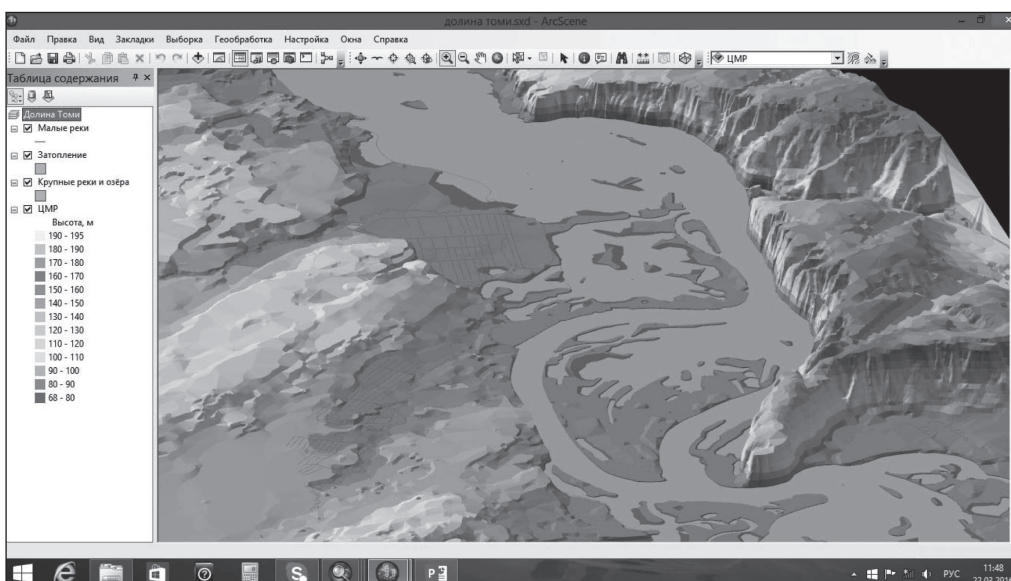


Рис. 2. Прогноз подтопления территории на левобережье Томи вблизи г. Томска (уровень +9 м)

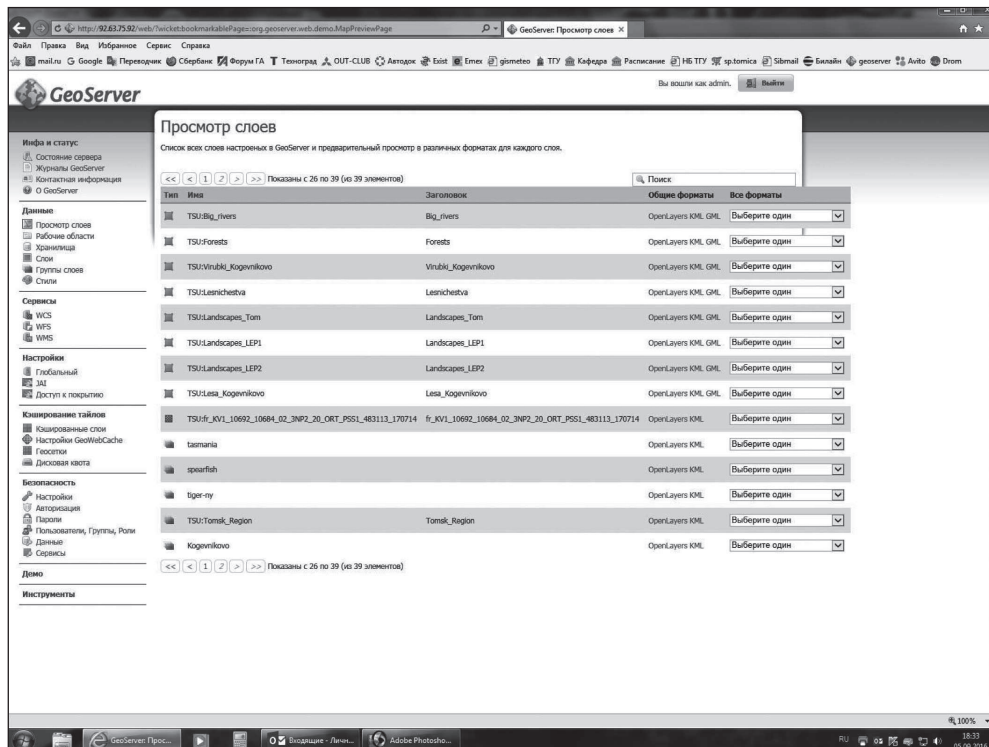


Рис. 3. Интерфейс геопортала (страница выбора слоя для просмотра)

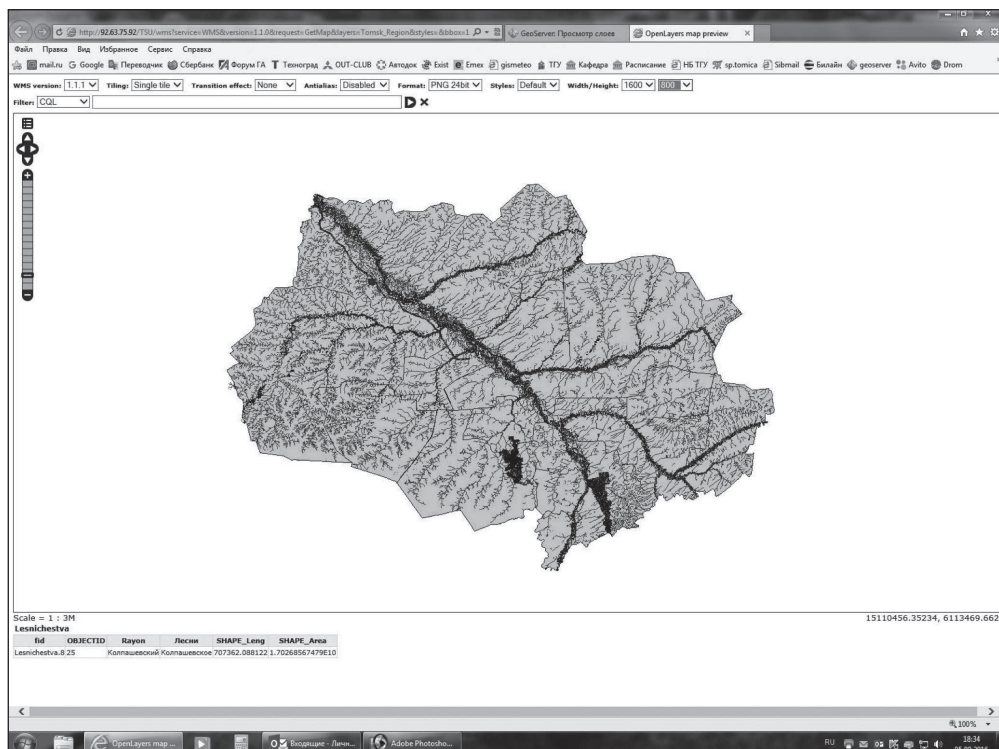


Рис. 4. Картографический сервис геопортала (карта гидросети Томской области с фрагментами крупномасштабных ландшафтных карт)

проведён анализ размера ущерба, причиненного пожарами, паводками и незаконными рубками, для регионального бюджета. В соответствии с проведенным анализом на основе публичных статистических данных за последние 10 лет и аналитической модели среднегодовой объем ущерба составляет:

- ущерб от пожаров – 9 010 млн руб.;
- ущерб, нанесённый паводками (в том числе средства для ликвидации последствий), – не менее 90 млн руб.

Своевременное принятие управленческих решений на основе высокоточных данных оперативного мониторинга смогут сократить объем ущерба минимум в два раза. Таким образом, среднегодовой урон только по указанным направлениям в 9 200 млн руб. может быть сокращен до 4 600 млн руб. при затратах на услуги разрабатываемой ГИС порядка 100 млн руб., обеспечив таким образом потенциальную экономию более 4 000 млн руб. средств областного бюджета.

Планируется широкое использование создаваемой ГИС в образовательной деятельности. Студенты и школьники могут осваивать функции геоинформационных технологий и осуществлять пространственные поисковые запросы к БГД ГИС, получая доступ к системе через геопортал (рис. 3, 4). Помимо этого, студенты геолого-географического, физического и физико-технического факультетов, а также института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства ТГУ будут привлекаться для прохождения научно-производственных практик и организации научно-исследовательской работы с системой непосредственно в лабораториях Регионального центра аэрокосмического мониторинга ТГУ. Уже сейчас разрабатываемый геопортал используется в учебном процессе ТГУ (бакалавриат, магистратура) в качестве примера дистанционного доступа к ресурсам ГИС при проведении практических и лабораторных занятий по курсам «ГИС», «Цифровые модели рельефа», «Компьютерная обработка данных дистанционного зондирования», «Компьютерные технологии в географии».

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошкарёв А.В. От компьютерной картографии к инфраструктурам пространственных данных: новая эпоха развития геоинформатики // Геоинформационное картографирование в географии и геоэкологии. – Воронеж: Истоки, 2010. – С. 20–34.

2. География Сибири в начале XXI века: в 6 т. / гл. ред. В.М. Плюснин, отв. ред.: Ю.И. Винокуров, Б.А. Красноярова. – Т. 5: Западная Сибирь. – Новосибирск: Гео, 2016. – 447 с.

3. Ландшафты болот Томской области. – Томск: Изд-во НТЛ, 2012. – 400 с.

4. Хромых В.В., Хромых О.В. Морфометрический анализ долинных геосистем Нижнего Притома // ArcReview. – 2008. – № 4. – С. 6.

5. Riparian Zones: Characteristics, Management Practices and Ecological Impacts. – New York: Nova Science Publishers, 2016. – 367 p.

6. Хромых В.В., Хромых О.В., Ерофеев А.А. Ландшафтный подход к выделению водоохранной зоны реки Ушайки на основе геоинформационного картографирования // Вестник Том. гос. ун-та. – 2013. – № 370. – С. 175–178.

7. Хромых В.В., Хромых О.В. Опыт автоматизированного морфометрического анализа долинных геосистем Нижнего Притома на основе цифровой модели рельефа // Вестник Том. гос. ун-та. – 2007. – № 298. – С. 208–210.

Demkin V.P., Khromykh V.V., Beresin A.E., Vorobiev S.N., Vershinin D.A., Loboda E.L., Shchetinin P.P., Korneeva T.B.

National Research Tomsk State University, «Contek-Soft», Tomsk, Russia

HIGH PERFORMANCE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM OF ENVIRONMENTAL MONITORING AND FORECASTING FOR SOLUTIONS OF SCIENTIFIC, TECHNICAL AND EDUCATIONAL TASKS

Keywords: geographic information system, GIS, geportal, monitoring, forecasting, remote sensing, environment.

The article is devoted to the project of high performance geographic information system for monitoring and forecasting of natural objects, which is developed by National Research Tomsk State University. The project focuses on the development and implementation of innovative geoinformation technology of accounting and valuation of natural resources (forestry, fishing industry, hunting, wild plants), the volume of allowable sustainable extraction, reproduction and protection, including improved statistical reporting, under the Agreement between the Department of Forestry of Tomsk Region, a branch of FGBU “Roslesinforg” “Zapsiblesproyekt”, Tomsk branch of FGBU “Roslesinforg” and the National Research Tomsk State University on cooperation for the implementation of the Concept for creation of «INO Tomsk» territorial innovation center in the Tomsk region. The priority tasks that the elaborated system should ensure are

next: providing information services for inventory and accounting of forest management, real-time monitoring of forest management and timber production, evaluation and prediction of the yield of renewable natural resources, providing real-time monitoring of fire conditions in the territory of the Tomsk region, providing operational monitoring of flood situation in the Tomsk region, providing operational environmental monitoring and environmental management, including the monitoring of oil pollution, felling forests, etc., information support of cadastral works and land development areas, monitoring of agricultural activities. The information sources, hardware and GIS software are described. In the article there are considered the main sub-systems and their purpose: a subsystem of collection and primary processing of spatial data, storage subsystem, subsystem of thematic processing and data analysis, forecasting situations subsystem, reporting subsystem (Geoportal) and data access subsystem. The article also described the modern technologies and methods of GIS-modeling and landscape GIS-mapping implemented in the system, such as morphometric analysis of landscapes based on a digital elevation model, the methods of computer processing of remote sensing data, including the creation of a “mosaic” of images, orthophotos, spectral and radiometric correction of images,

expert, supervised and unsupervised classification based on cluster analysis (ISODATA algorithm) as well as the calculation of vegetation indices (RVI, NDVI, SAVI, EVI, PVI, and the like). The economic benefit for the regional budget from the introduction of GIS for monitoring and forecasting of natural objects is counted. There are examples of the use of the system in the field of education.

REFERENCES

1. *Koshkarjov A.V.* Ot komp'yuternoj kartografii k infrastrukturam prostranstvennyh dannyh: novaja jepoha razvitija geoinformatiki // *Geoinformacionnoe kartografirovanie v geografii i geojekologii*. – Voronezh: Istoki, 2010. – S. 20–34.
2. *Geografija Sibiri v nachale XXI veka: v 6 t.* / gl. red. V.M. Pljusnin, otv. red.: Ju.I. Vinokurov, B.A. Krasnojaroova. – T. 5: *Zapadnaja Sibir'*. – Novosibirsk: Geo, 2016. – 447 s.
3. *Landshafty bolot Tomskoj oblasti*. – Tomsk: Izd-vo NTL, 2012. – 400 s.
4. *Hromyh V.V., Hromyh O.V.* Morfometricheskij analiz dolinnyh geosistem Nizhnego Pritom'ja // *ArcReview*. – 2008. – № 4. – S. 6.
5. *Riparian Zones: Characteristics, Management Practices and Ecological Impacts*. – New York: Nova Science Publishers, 2016. – 367 p.
6. *Hromyh V.V., Hromyh O.V., Erofeev A.A.* Landshaftnyj podhod k vydeleniju vodoohrannoj zony reki Ushajki na osnove geoinformacionnogo kartografirovaniya // *Vestnik Tom. gos. un-ta*. – 2013. – № 370. – S. 175–178.
7. *Hromyh V.V., Hromyh O.V.* Opyt avtomatizirovannogo morfometricheskogo analiza dolinnyh geosistem Nizhnego Pritom'ja na osnove cifrovoj modeli rel'efa // *Vestnik Tom. gos. un-ta*. – 2007. – № 298. – S. 208–210.