

На правах рукописи

Николаева Ольга Николаевна



Методология геоинформационного моделирования
и картографирования состояния природных ресурсов региона
для рационального природопользования

25.00.33 – Картография

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Новосибирск – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ).

Научный консультант – доктор технических наук, профессор
Трубина Людмила Константиновна.

Официальные оппоненты:

Сладкопепцев Сергей Андреевич, доктор технических наук, профессор,
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет геодезии и картографии», профессор кафедры
географии;

Пьянков Сергей Васильевич, доктор географических наук, доцент,
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»; заведующий
кафедрой картографии и геоинформатики;

Ступин Владимир Павлович, доктор технических наук, доцент,
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Иркутский национальный исследовательский технический университет», доцент кафедры
маркшейдерского дела и геодезии.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение науки Бай-
кальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук
(г. Улан-Удэ).

Защита состоится 15 декабря 2016 г. в 13-00 час. на заседании диссертационного совета
Д 212.251.04 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и техно-
логий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Сибирский госу-
дарственный университет геосистем и технологий»: <http://sgugit.ru/science-and-innovations/dissertation-councils/dissertations/nikolaeva-olga-nikolaevna/>

Автореферат разослан 30 сентября 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Дубровский А. В.

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 09.09.2016. Формат 60 × 84 1/16.

Печ. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ 120.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 8.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Запасы и разнообразие природных ресурсов лежат в основе экономического благополучия государства, а их экономное и эффективное использование является необходимым условием успешного социально-экономического развития в долгосрочном периоде. Согласно Указу Президента Российской Федерации от 07.07.2011 г., рациональное природопользование включено в перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации. В современных условиях модернизации и повышения конкурентоспособности российской экономики одним из главных факторов рационализации хозяйственной деятельности становится обеспеченность управленческих органов актуальной информацией о природно-ресурсном потенциале регионов.

Развитие методической и технологической базы наук о Земле постоянно предоставляет новые возможности по сбору, обработке и преобразованию данных о природных ресурсах. Повышение информативности дистанционных методов исследования Земли, совершенствование технологий геоинформационного моделирования и картографирования создают все предпосылки для получения расширенного объема природно-ресурсных данных, использование которых в системе государственного управления природопользованием позволило бы существенно повысить обоснованность принятия управленческих решений в условиях возрастающего дефицита природных ресурсов и необходимости их экономической эксплуатации.

Однако имеющийся информационный и технологический потенциал не используется в полной мере по причине отсутствия методологических и технологических разработок, обеспечивающих интеграцию, геоинформационное моделирование и визуализацию разнородных природно-ресурсных данных (материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), государственных кадастров, статистики и мониторинга, лазерного сканирования и пр.) для управления природными

ресурсами региона. Сформировалось *научное противоречие*, выражающееся в том, что постоянное увеличение количества собираемых природно-ресурсных данных не приводит к повышению информативности и репрезентативности цифровой картографической продукции, используемой органами управления при обосновании мероприятий по рациональному природопользованию.

Научная проблема, обусловленная этим противоречием, заключается в отсутствии подхода к интеграции, геоинформационному моделированию и картографированию разнородных природно-ресурсных данных для получения и предоставления пользователю новых знаний о состоянии и возможностях перспективного использования природных ресурсов региона.

Концептуальное решение поставленной проблемы заключается в разработке методологии геоинформационного моделирования и картографирования состояния природных ресурсов, основанной на формировании единого природно-ресурсного геоинформационного пространства региона, и его интерактивном картографическом отображении для анализа и прогноза запасов и направлений использования природных ресурсов при обосновании управленческих решений.

Степень разработанности темы. На сегодняшний день картографирование природных ресурсов является самостоятельной отраслью тематического картографирования. В ее становление и развитие внесли большой вклад Салищев К. А., Заруцкая И. П., Красильникова Н. В., Востокова Е. А., Кельнер Ю. Г., Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Киенко Ю. П., Скатерщиков С. В., Амелин А. В., Шевченко Л. А., Козлова Т. С., Сущеня В. А., Воробьева Т. А., Концов С. В., Сомова В. И., Невяжский И. И. и др. Накопленный опыт и традиции тематического картографирования развиваются и модернизируются кафедрой картографии МИИГАиК под руководством Верещаки Т. В. при участии Бугаевского Л. М., Васмута А. С., Сладкопевцева С. А., Подобедова Н. С., Билич Ю. С., Зверева А. Т., Портнова А. М. и др. Современные исследования в области моделирования и визуализации природно-ресурсных данных прочно опираются на теоретико-методический аппарат геоинформационного моделирования и картографирова-

ния, обоснованный и разработанный Капраловым Е. Г., Кошкаревым А. В., Тикунновым В. С., Берлянтом А. М., Васмутом А. С., Журкиным И. Г., Симоновым Ю. Г., Лисицким Д. В., Бугаевским Л. М., Цветковым В. Я., Карпиком А. П., Коноваловой Н. В., Жалковским Е. А., Халугиным Е. И., Мартыненко А. И. и др. Существующие принципы и нормы проектирования систем условных знаков и оформления природно-ресурсных картографических произведений базируются на картосемиотических исследованиях Назарова В. Н., Лютого А. А., Асланикашвили А. Ф., Бочарова М. К. и др.

Атласному картографированию природных ресурсов России и ее регионов посвящена деятельность Лаборатории комплексного картографирования географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова (Москва) под руководством Тикуннова В. С. при участии Котовой Т. В., Губанова М. Н., Карпович Л. Л., Киселевой Н. М. и др. Разноаспектные исследования по использованию материалов космических съемок для геоинформационного картографирования общегеографической, природно-ресурсной и экологической обстановки выполняются Региональным центром космических технологий и услуг Байкальского региона под руководством Пластинина Л. А., при участии Тулохонова А. К., Батуева А. Р., Корытного Л. М., Ступина В. П., Олзоева Б. Н., Котельниковой Н. В., Клевцова Е. В., Гагина В. Е., Батуева Д. А. и др. Исследования в области геомониторинга природной среды и природных ресурсов Западной Сибири ведутся в Сибирском государственном университете геосистем и технологий научными школами Зятыковой Л. К., Лесных И. В., Трубиной Л. К.

Деятельность вышеперечисленных и ряда других научно-исследовательских организаций России обусловила важную роль карт природных ресурсов как информационного обеспечения при решении задач в сфере экономического планирования и рационального использования территорий. Однако основополагающим трудом, систематизирующим научно-методические и технологические достижения природно-ресурсного картографирования, до сих пор остается

«Картографирование природных условий и ресурсов» Заруцкой И. П. и Красильниковой Н. В., опубликованное в 1988 г.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является разработка методологии геоинформационного моделирования и картографирования состояния природных ресурсов для управления природопользованием региона. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- проанализировать порядок сбора и систематизации разнородных природно-ресурсных данных;
- сформулировать концепцию инфраструктуры природно-ресурсных пространственных данных региона, регулирующую и оптимизирующую процесс сбора исходных данных для геоинформационного моделирования региона;
- обосновать понятие природно-ресурсной геоинформационной модели региона для геопространственного моделирования упорядоченной совокупности разнородных природно-ресурсных данных региона;
- разработать научно-методические основы создания системы цифровых картографических моделей природных ресурсов для получения и визуализации нового знания о состоянии природных ресурсов региона;
- разработать методику селекции и интеграции разнородных природно-ресурсных данных для формирования цифровых картографических моделей природных ресурсов;
- разработать технологическое решение интерактивного создания цифровых картографических моделей природных ресурсов;
- практически представить систему цифровых картографических моделей биологических ресурсов на примере Новосибирской области.

Научная новизна:

- выполнены теоретические разработки по геоинформационному моделированию и картографированию состояния природных ресурсов для формирования единого природно-ресурсного геоинформационного пространства региона;

– предложен новый подход к геоинформационному моделированию данных для оптимизации управления природными ресурсами при ведении рационального природопользования, заключающийся в создании природно-ресурсной геоинформационной модели региона;

– обоснован новый картографический инструментарий для визуализации и предоставления пользователю нового знания о состоянии природных ресурсов – система цифровых картографических моделей природных ресурсов региона.

Теоретическая и практическая значимость работы. Выявлена недостаточность теоретической базы природно-ресурсного картографирования в части интегрированного анализа, моделирования и визуализации обширных массивов неупорядоченных разнородных природно-ресурсных данных для планирования и управления природопользованием.

Предложен и обоснован подход к систематизации и интеграции разнородных природно-ресурсных данных, основанный на картографическом методе исследования и обобщающий передовой опыт тематического и геоинформационного картографирования.

Разработан инструментарий для интеграции, моделирования и картографической визуализации разнородных природно-ресурсных данных для получения новых знаний о природных ресурсах региона.

Разработаны научно-методические основы создания нового вида картографических произведений – системы цифровых картографических моделей природных ресурсов, предназначенной для обоснования эффективных пространственных решений в области управления природными ресурсами.

Создана система цифровых картографических моделей биологических ресурсов на примере Новосибирской области, систематизирующая и визуализирующая разнородные природно-ресурсные данные (материалы аэрокосмической съемки лесов, данные лесного кадастра, кадастра животного мира, статистической отчетности) для ведения лесного и охотничьего хозяйства.

Результаты исследований предполагается использовать как информационную и организационную основу для планирования и разработки мероприятий по организации и рациональному ведению природопользования в пределах региона, для формирования единой системы учета и оценки природных ресурсов, природно-ресурсного потенциала и перспектив его использования.

Методология и методы исследования включали системный анализ, структурное моделирование, формализацию, картографический метод исследования, методы ГИС-анализа. Эмпирическая база исследования включала тематически обработанные данные дистанционного зондирования, материалы государственных кадастров, мониторинга и статистической отчетности.

Положения, выносимые на защиту:

– результаты теоретических разработок в области геоинформационного моделирования и картографирования состояния природных ресурсов региона формируют методологическую основу для обеспечения решений по оптимизации планирования и ведения регионального природопользования;

– инфраструктура природно-ресурсных пространственных данных обеспечивает формирование упорядоченных массивов актуальных природно-ресурсных данных для создания единого природно-ресурсного геоинформационного пространства региона, совместимого с существующим информационным пространством РФ;

– природно-ресурсная геоинформационная модель региона интегрирует предметно-ориентированную информацию и является эффективным инструментом для разработки картографического обеспечения рационального управления природными ресурсами региона на основе геоинформационного анализа и моделирования;

– система цифровых картографических моделей природных ресурсов является ключевым средством для селективного моделирования, визуализации и предоставления пользователю нового знания о состоянии и возможностях использования природных ресурсов региона;

– технологическое решение интерактивного создания цифровых картографических моделей природных ресурсов обеспечивает условия для качественного и эффективного информационного обеспечения пользователей природно-ресурсной информацией.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях и научных конгрессах: международные научные конгрессы «ГЕО–Сибирь» (2010–2016 гг.), Новосибирск; IX научная конференция по тематической картографии «Тематическое картографирование для создания инфраструктур пространственных данных» (Иркутск, 9–12 ноября 2010 г.); Международный научный конгресс «Сиббезопасность–Спасиб» (Новосибирск, 25–27 сентября 2011 г.); международные конференции «Интеркарто-ИнтерГИС» (2014–2015 гг.); III International research and practice conference «Science, Technology and Higher Education», Westwood, Canada (2013); IX Международная научно-практическая конференция «Теоретические и прикладные аспекты современной науки» (Белгород, 29–31 марта 2015 г.); международная научно-практическая конференция «Геодезия, геоинформатика, картография и кадастр. От идеи до внедрения» (Санкт-Петербург, 11–13 ноября 2015 г.), V международная научно-практическая конференция «Современные тенденции развития науки и технологий» (Белгород, 30–31 ноября 2015 г.), XIX международный форум по проблемам науки, техники и образования «XXX тысячелетие – новый мир» (Москва, 22–25 декабря 2015 г.).

Исследования по теме диссертационной работы выполнялись в рамках следующих научно-исследовательских работ (НИР):

– федеральная целевая программа «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» («Разработка инструментальной справочно-аналитической географической информационной системы», номер государственного контракта 02.740.11.0735);

– аналитическая ведомственная программа «Развитие вузовского потенциала высшей школы России на 2009–2012 гг.» по плану НИР государственного

образовательного учреждения «Сибирская государственная геодезическая академия» («Исследование эколого-геологических систем в целях рационального использования природных ресурсов», номер государственной регистрации 012009.54347);

– государственное задание Министерства образования и науки РФ по плану НИР государственного образовательного учреждения «Сибирская государственная геодезическая академия» («Кадастровая оценка природных объектов в условиях антропогенеза», номер государственной регистрации 5.2754.2011);

– государственное задание Министерства образования и науки РФ по плану НИР государственного образовательного учреждения «Сибирская государственная геодезическая академия» № 2014/141 («Разработка методологии геопространственного моделирования и оценки природно-ресурсного потенциала региональных экосистем», номер государственной регистрации 01201461635).

Результаты выполненных исследований внедрены в федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт систематики и экологии животных Сибирского отделения Российской академии наук» в виде методики интеграции разнородных природно-ресурсных данных при создании цифровых картографических моделей фаунистических ресурсов в геоинформационных системах (ГИС) и в ООО «Научно-практический центр» «Эколес» в виде методики интеграции разнородных природно-ресурсных данных для инвентаризации и оценки состояния лесных ресурсов.

Публикации по теме диссертации. Основные теоретические положения и результаты исследований представлены в 45 публикациях, из них 20 – в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 415 наименований. Общий объем диссертации составляет 376 страниц машинописного текста, содержит 27 таблиц, 92 рисунка, 3 приложения.

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному консультанту профессору Трубиной Л. К. за поддержку и помощь. Автор глубоко признате-

лен профессорам Карпику А. П., Лисицкому Д. В., Середовичу В. А., доценту Дышлюк С. С., коллективам кафедры картографии и геоинформатики, кафедры экологии и природопользования СГУГиТ за доброжелательное отношение и содействие в исследованиях.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы научное противоречие, научная проблема и ее концептуальное решение, охарактеризована степень разработанности проблемы, изложены цель и задачи исследования, раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, перечислены положения, выносящиеся на защиту, отражены степень достоверности и апробация результатов исследования.

В первом разделе охарактеризованы история развития и современные достижения природно-ресурсного картографирования, сложившиеся в России системы сбора и систематизации природно-ресурсных данных, тенденции цифрового картографического представления природно-ресурсных данных широкому кругу пользователей, сделаны выводы о содержании теоретических и практических разработок, необходимых для дальнейшего развития методологического аппарата природно-ресурсного картографирования. Примитивные изображения, схематично отображавшие размещение водных, земельных и охотничьих угодий, создавались еще в доисторическую эпоху. Однако в самостоятельную отрасль природно-ресурсное картографирование выделилось в XVII–XVIII вв., когда развитие науки и диверсификация промышленности вызвали необходимость создания карт основных видов ресурсов (водных и земельных). Первая половина XIX в. ознаменовалась становлением в России геологического, почвенного, лесного картографирования. В XX в. сформировались более узкие направления: создание геоботанических, металлогенических карт, карт биоразнообразия. Со 2-й половины XX в. карты природных ресурсов включаются в со-

став региональных и комплексных атласов, также создаются оценочные и учебные карты. Конец XX – начало XXI вв. характеризуются активным внедрением ГИС-технологий в практику природно-ресурсного картографирования, однако значительная часть современных проектов в этой области носит региональный узкоспециализированный характер.

В настоящее время в России функционируют три основные системы сбора и систематизации информации о природных ресурсах: система мониторинга, системы государственных и ведомственных кадастров, система Росстата (рисунок 1). Результатом их деятельности являются обширные массивы природно-ресурсных данных, которые могут быть охарактеризованы как разнородные, так как включают в себя материалы ДЗЗ, данные натурных наблюдений на постах мониторинга, локализованные с помощью систем глобального позиционирования ГЛОНАСС и Global Positioning System (GPS), материалы кадастрового учета и статистической отчетности природопользователей. Также высокоинформативными, но малоиспользуемыми в силу дороговизны оборудования, являются данные лазерного сканирования местности. Перечисленные виды разнородных данных формируют природно-ресурсное информационное пространство РФ.



Рисунок 1 – Основные источники данных для формирования единого природно-ресурсного информационного пространства РФ

Природно-ресурсное информационное пространство представляет собой совокупность природно-ресурсных данных и организационных, научных и технологических средств их получения, хранения и преобразования. Современное природно-ресурсное информационное пространство РФ характеризуется слабой структурированностью баз данных и низкой упорядоченностью информационных процессов. Причины этого следующие:

- недостаточность нормативно-правовой базы, регламентирующей порядок сбора, использования и распространения природно-ресурсных данных;
- несогласованность методик сбора и обработки данных, используемых разными поставщиками данных;
- отсутствие налаженного информационного обмена между собственниками данных;
- отсутствие универсального инструментария, удовлетворяющего информационные потребности органов регионального управления в природно-ресурсной информации.

Необходимость обеспечения руководящих органов в области управления природопользованием новым знанием для планирования и обоснования мероприятий по эффективному использованию природных ресурсов предполагает формирование единого природно-ресурсного информационного пространства – организованной совокупности упорядоченных массивов природно-ресурсных данных и методико-технологического аппарата, который унифицирует процессы получения и обработки природно-ресурсных данных и регламентирует их предоставление пользователям. Переход от существующих разрозненных схем сбора и использования природно-ресурсных данных к единому природно-ресурсному информационному пространству требует унификации процессов сбора, обработки, хранения и предоставления данных. Для этого предлагается инфраструктура природно-ресурсных пространственных данных, которая объединяет деятельность поставщиков данных, упорядочивает требования к перечню,

объему, методикам получения и обработки данных, регламентирует и оптимизирует доступ пользователей к данным.

Во втором разделе диссертационной работы обосновывается понятие и структурный состав инфраструктуры природно-ресурсных пространственных данных (ПРПД), ее взаимосвязь с инфраструктурой пространственных данных РФ (РИПД), методы и средства ее реализации, а также дана характеристика цифровых картографических моделей природных ресурсов как современного средства визуализации и анализа природно-ресурсных данных.

Инфраструктура ПРПД представляет собой систему сбора, систематизации, хранения и предоставления пользователям природно-ресурсных пространственных данных. Она дополняет РИПД в части сбора и оперирования тематическими пространственными данными, которые характеризуют природные ресурсы (рисунок 2).



Рисунок 2 – Взаимосвязь инфраструктуры ПРПД с существующей инфраструктурой пространственных данных РФ

Взаимосвязь и взаимодействие обеих инфраструктур опираются на следующие принципы:

– принцип преемственности: данные, которыми оперирует инфраструктура ПРПД, собираются, обрабатываются и передаются в виде наборов природно-ресурсных пространственных данных, в соответствии с требованиями РИПД к произвольным наборам тематических данных. Пространственной основой для представления природно-ресурсных данных являются базовые пространственные данные РИПД, которые рассматриваются как один из информационных компонентов инфраструктуры ПРПД. Состав базовых пространственных данных формируется в соответствии с ГОСТ Р 53339-2009. Данные пространственные базовые. Общие требования;

– принцип унификации: состав наборов природно-ресурсных пространственных данных формируется с учетом природной классификации ресурсов, предложенной Минцем А. А. и лежащей в основе структуры системы государственного учета ресурсов в РФ, а также с учетом перечня показателей, необходимых для управления природопользованием в пределах региона;

– принцип геоинформационного моделирования: обработка и преобразование природно-ресурсных и базовых пространственных данных для получения нового знания о состоянии природных ресурсов осуществляются путем создания природно-ресурсной геоинформационной модели региона;

– принцип наглядности: средством представления результатов геоинформационного моделирования являются цифровые картографические модели природных ресурсов, визуализированные в различных формах представления (цифровые и электронные карты, картографические анимации, трехмерные модели местности и трехмерные видеосцены).

Целью инфраструктуры ПРПД является информационное и организационное обеспечение мероприятий по рациональному планированию и ведению природопользования в пределах региона.

Задачи, решаемые с помощью инфраструктуры ПРПД, подразделяются на две группы:

– с позиций хозяйственной деятельности: инвентаризация, мониторинг состояния и контроль использования природных ресурсов, планирование использования ресурсов, планирование разведки новых запасов невозобновимых ресурсов и восполнения запасов возобновимых ресурсов;

– с позиций компенсационной деятельности: оценка состояния природных ресурсов, планирование мероприятий по оптимизации состояния экосистем (борьба с засолением, эрозией и пр.) и сохранению биоразнообразия.

Объектами учета инфраструктуры ПРПД являются природные ресурсы региона, в качестве которых рассматриваются ресурсы природных компонентов (водные, земельные, минеральные, биологические). Существует большое количество классификаций природных ресурсов, из которых, принимая во внимание принятую в российском механизме управления природопользованием практику покомпонентного деления ресурсов, а также прикладное назначение данных, собираемых в инфраструктуре ПРПД, наибольшую актуальность для учета природно-ресурсных данных приобретают генетическая и экономическая классификации. На их основе разработана двухпараметрическая классификация природных ресурсов в инфраструктуре ПРПД, учитывающая их происхождение и особенности эксплуатации (рисунок 3). Учитываются реальные и потенциальные запасы ресурсов, которые классифицируются в зависимости от вовлеченности в природопользование.

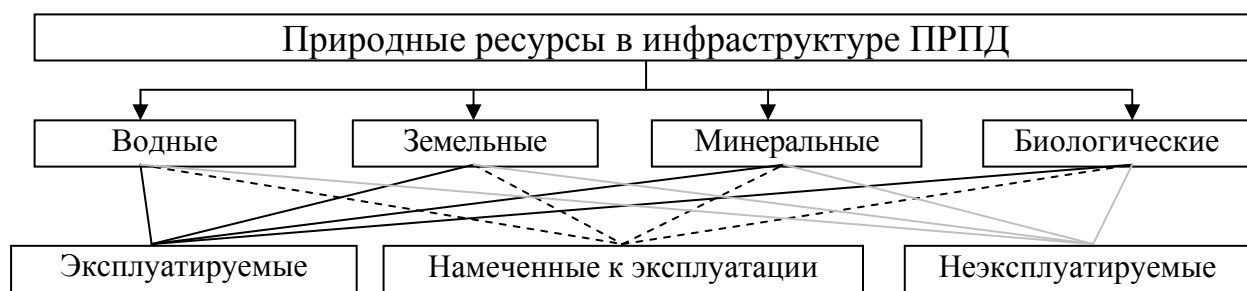


Рисунок 3 – Двухпараметрическая классификация природных ресурсов при их учете в инфраструктуре ПРПД

Информационные потоки, непосредственно связанные с обращением природно-ресурсных данных внутри инфраструктуры ПРПД, включают в себя (рисунок 4):

- сбор разнородных природно-ресурсных данных;
- селекцию и интеграцию собранных данных для формирования упорядоченных массивов природно-ресурсной информации;
- пространственный анализ и картографическое моделирование природно-ресурсной информации для получения новых знаний о природных ресурсах региона, экспертную оценку результатов моделирования;
- визуализацию запрошенной пользователем информации в форме картографических произведений, характеризующих современное или перспективное состояние природных ресурсов.



Рисунок 4 – Принципиальная схема сбора, обработки и представления природно-ресурсных данных внутри инфраструктуры ПРПД

Основным инструментом для моделирования и визуализации данных, собранных в инфраструктуре ПРПД, является природно-ресурсная геоинформационная модель региона – цифровое представление упорядоченной совокупности

пространственно распределенных данных о природно-ресурсных объектах территории, полученных из различных источников, перечень которых достаточен для осуществления рационального управления природными ресурсами в настоящем и будущем (рисунок 5). Данные, используемые для моделирования, упорядочены в виде наборов природно-ресурсных данных. Набор имеет полойную структуру, в которой каждый слой содержит объекты и атрибутивные данные, относящиеся к определенному виду природного ресурса в соответствии с классификацией, представленной на рисунке 3. Содержание наборов и требования к ним более подробно охарактеризованы во втором разделе диссертационной работы.

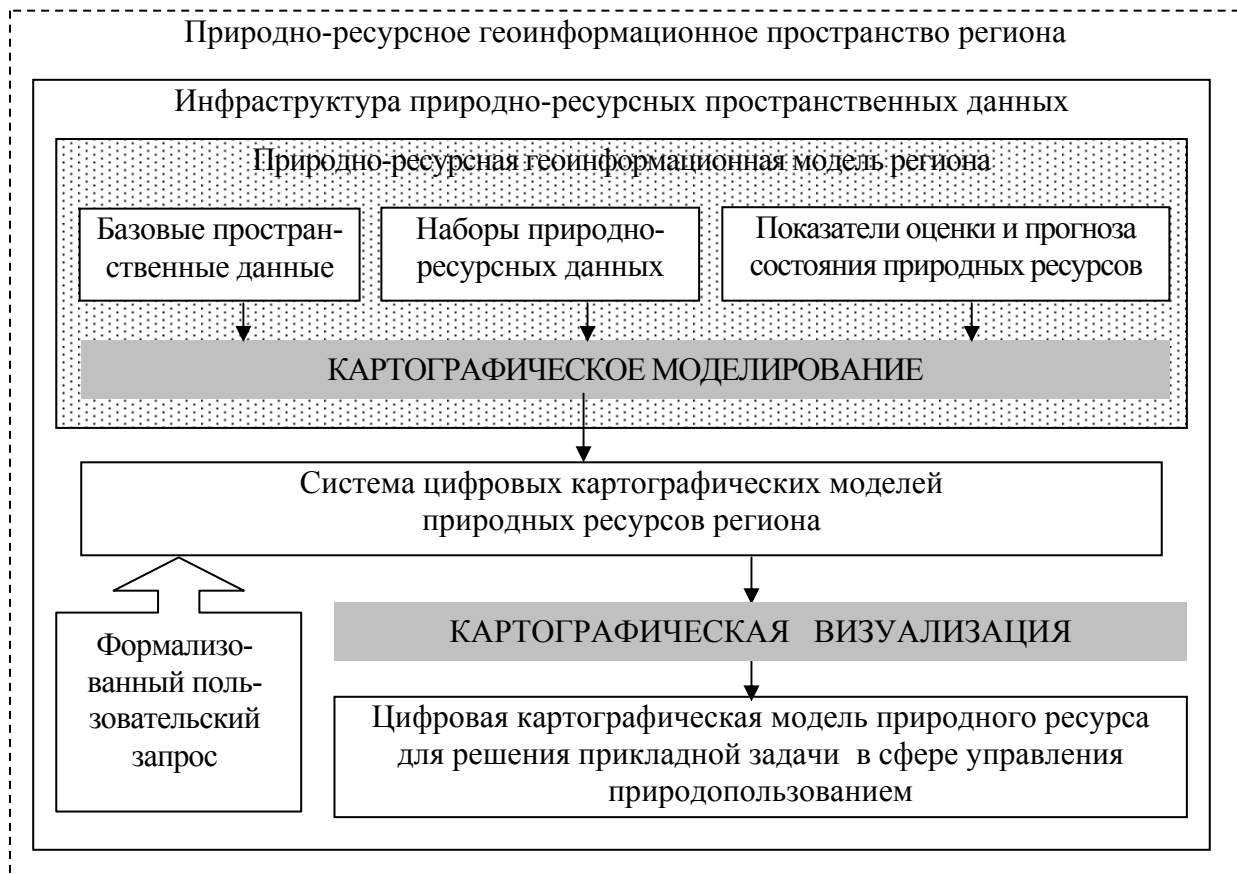


Рисунок 5 – Картографическое моделирование в инфраструктуре ПРГД

Природно-ресурсная геоинформационная модель региона является основой для анализа и визуализации природно-ресурсных данных в виде системы цифровых картографических моделей природных ресурсов.

Цифровая картографическая модель природных ресурсов – это формализованное представление комплекса характеристик природного ресурса, имеющего многоаспектное назначение и обеспечивающего получение нового знания для планирования мероприятий по управлению ресурсом. Ее тематическое содержание включает физико-географические, административно-правовые, экономические и экологические характеристики, подробный перечень которых представлен в диссертационной работе. Эти модели являются конечным продуктом, предоставляемым пользователю при обращении к инфраструктуре ПРПД с целью получения информации для рационального планирования использования ресурса.

Эффективное использование природных ресурсов региона требует их комплексного рассмотрения. Поэтому моделирование природно-ресурсных данных целесообразно осуществлять в виде системы цифровых картографических моделей природных ресурсов, формирующей целостное представление о природных ресурсах региона.

В третьем разделе диссертационной работы дано определение системы цифровых картографических моделей природных ресурсов региона, рассмотрены ее системообразующие свойства, структурный состав, вопросы интеграции разнородных природно-ресурсных пространственных данных при ее создании.

Система цифровых картографических моделей природных ресурсов (система ЦКМПР) региона – это совокупность цифровых картографических моделей, отображающих современное состояние и перспективы использования ресурсов природных компонентов региона (водных, земельных, минеральных, биологических). Важнейшей особенностью этой системы является ее эмерджентное свойство, которое заключается в генерации нового знания о состоянии и перспективах использования природных ресурсов региона в форме, оптимально адаптированной для визуального и геоинформационного анализа. Эмерджентное свойство системы ЦКМПР региона определяет ее функциональные свойства, которые включают в себя:

– селективность системы ЦКМПР региона – возможность удовлетворять выраженные в виде запроса информационные потребности пользователя путем выбора необходимых природно-ресурсных данных из упорядоченного инфор-

мационного массива, сформированного и поддерживаемого специалистами-картографами;

– вариативность системы ЦКМПР региона проявляется в предоставлении пользователю широких возможностей в области комбинирования показателей состояния и использования природных ресурсов в процессе запроса и обработки данных для построения цифровой картографической модели природных ресурсов;

– презентативность системы ЦКМПР региона заключается в предоставлении пользователю возможности самостоятельного выбора формы представления результатов картографического моделирования.

Цифровые картографические модели, образующие систему ЦКМПР региона, объединены следующими системообразующими свойствами:

– информационная интеграция – комплексное использование материалов ДЗЗ, государственных кадастров и статистики для получения актуальной и достоверной характеристики современного состояния и использования картографируемого ресурса;

– тематическая избирательность – ограничение тематического содержания цифровых картографических моделей кругом объектов и явлений, характеризующих природные ресурсы региона и оценивающих возможности их промышленного использования;

– территориальная ограниченность – ограничение территориального охвата цифровых картографических моделей природных ресурсов границами административно-территориальной единицы, выделенной в соответствии с Общероссийским классификатором объектов административно-территориального деления;

– общедоступность – ориентация на широкий круг пользователей, не имеющих специальной картографической подготовки, в том числе – на специалистов, занятых в управлении природопользованием.

Для описания структурного состава системы ЦКМПР региона автором разработан математический аппарат.

Информационные компоненты системы ЦКМПР региона описываются выражением

$$C_{\text{ЦКМПР}} = (D, M, S, K), \quad (1)$$

где D – массив разнородных природно-ресурсных данных, формирующих тематическое наполнение системы ЦКМПР региона;

M – математический аппарат, обеспечивающий построение геометрически точного и логически корректного картографического изображения;

S – совокупность графических средств визуализации разнородных природно-ресурсных данных;

K – совокупность норм и правил создания и оформления картографических произведений.

Рассмотрим более подробно компонент D , определяющий семиотическое поле системы ЦКМПР региона. Его структура охарактеризована выражением

$$D = (D_{\text{И}}, D_{\text{ПР}}), \quad (2)$$

где $D_{\text{И}}$ – совокупность природно-ресурсных данных, рассматриваемых с позиции источника их получения;

$D_{\text{ПР}}$ – совокупность природно-ресурсных данных, рассматриваемых с позиции предоставляемых характеристик природных ресурсов.

Исходя из выполненного анализа современной схемы сбора природно-ресурсных данных в РФ, $D_{\text{И}}$ представляет собой совокупность данных ДЗЗ, кадастровой и статистической информации

$$D_{\text{И}} = (D_{\text{ДЗЗ}}, D_{\text{К}}, D_{\text{С}}), \quad (3)$$

где $D_{\text{ДЗЗ}}$ – множество исходных данных, получаемых по материалам дистанционного зондирования Земли;

$D_{\text{К}}$ – множество исходных данных, получаемых при ведении государственных кадастров (земельного, водного, лесного и т. д.), а также ведомственного учета природных ресурсов;

D_C – множество исходных данных, получаемых по материалам государственной статистики, формируемых Росстатом на основании первичных отчетов природопользователей.

Учитывая задачи инфраструктуры ПРПД и двухпараметрическую классификацию природных ресурсов в инфраструктуре ПРПД (см. рисунок 3), компонент $D_{ПР}$ можно представить как множество разнородных данных, отражающих основные аспекты состояния и использования природных ресурсов

$$D_{ПР} = (D_C, D_Э, D_B), \quad (4)$$

где D_C – множество разнородных данных, характеризующих современное состояние природных ресурсов;

$D_Э$ – множество разнородных данных, отражающих параметры эксплуатации ресурсов (объем и динамику добычи, обеспеченность ресурсом и т. п.);

D_B – множество разнородных данных, характеризующих показатели восстановления объемов и качества возобновимых ресурсов.

Использование принципов классификации тематических карт позволяет осуществить структурную декомпозицию системы ЦКМПР региона и выделить в ее пределах четыре подсистемы (рисунок 6), для каждой из которых характерен свой классификационный признак, а именно:

– предметный признак (задает тематическое содержание цифровых картографических моделей природных ресурсов);

– информационный признак (определяет особенности содержания цифровых картографических моделей природных ресурсов, предназначенных для различных типов пользователей);

– функциональный признак (определяет назначение цифровых картографических моделей природных ресурсов в соответствии с кругом прикладных задач, для решения которых они предназначены);

– конструктивный признак (задает пространственную размерность цифровых картографических моделей природных ресурсов).

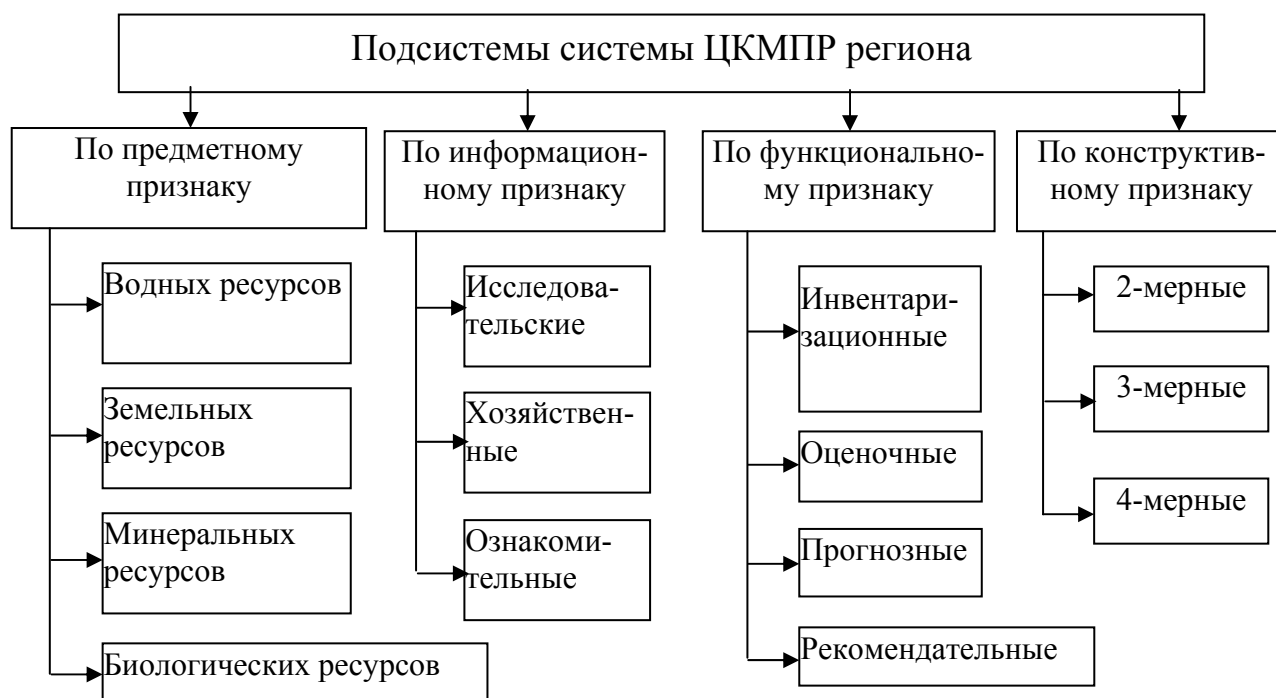


Рисунок 6 – Структурный состав подсистем системы ЦКМПР региона

По территориальному охвату цифровые картографические модели, входящие в систему ЦКМПР, подразделяются на региональные и топические. Региональные модели составляются в масштабах от 1 : 1 000 000 до 1 : 12 000 000 и отображают общую характеристику природных ресурсов в границах региона по единицам внутреннего административного деления (например, по районам области). Топические модели создаются в масштабах от 1 : 200 000 до 1 : 1 000 000 на территорию отдельной единицы административного деления региона и предоставляют детализированную характеристику природного ресурса. Выбор масштаба 1 : 200 000 в качестве нижней границы масштабного ряда обоснован тем, что это самый крупный масштаб общегеографических (обзорно-топографических) карт, которые в соответствии с российским законодательством разрешены к открытому опубликованию.

Требования к актуальности и точности цифровых картографических моделей природных ресурсов:

– используемые базовые пространственные данные должны соответствовать ГОСТ Р 53339-2009 «Данные пространственные базовые. Общие требова-

ния». Их актуализация достигается путем частичного обновления по данным ДЗЗ и Росстата (не позднее прошедшего года);

– геометрическая точность локализации объектов тематического содержания, наносимых по данным ДЗЗ, должна соответствовать масштабу создаваемой цифровой картографической модели природных ресурсов;

– геометрическая точность локализации объектов тематического содержания, наносимых по данным Росстата, должна соответствовать точности локализации тех базовых пространственных объектов, к которым привязываются соответствующие данные Росстата.

Создание системы ЦКМПР региона требует интеграции широкого спектра разнородных природно-ресурсных данных. Процесс интеграции должен осуществляться с учетом следующих требований:

– учет иерархической соподчиненности различных типов природно-ресурсных данных в зависимости от полноты и достоверности, с которой они характеризуют картографируемый природный ресурс. Приоритетными считаются данные ДЗЗ, отображающие актуальные характеристики размещения природных ресурсов и используемые в комплексе с данными государственных кадастров для уточнения показателей состояния ресурсов. Краткая характеристика объектов картографирования и видов материалов ДЗЗ, используемых для их характеристики, приведена в таблице 1, полный перечень содержится в диссертационной работе. Данные государственной статистики выступают как вспомогательные, и используются для картографирования экономических показателей, которые затруднительно охарактеризовать с помощью данных ДЗЗ;

– необходимость проведения предварительной тематической обработки используемых данных ДЗЗ для упрощения процесса их интеграции в базу данных создаваемой системы ЦКМПР региона;

– разнообразие форм представления пользователю результатов моделирования данных (цифровая или электронная карта, картографическая анимация, картографическая 3D-модель или 3D-видеосцена).

Таблица 1 – Некоторые объекты картографирования и виды материалов ДЗЗ для формирования базы тематических данных системы ЦКМПП региона

Вид природного ресурса	Объект картографирования	Детальность съемки	Спектральный диапазон, мкм
1	2	3	4
Водные	Водоемы и водотоки	1 : 200 000	0,4–0,8
Земельные	Земельные участки	1 : 200 000	0,55–0,58; 0,62–0,72; 0,8–1,0
	Нарушения почвенного покрова	1 : 200 000	0,4–1,1
Минеральные	Месторождения угля, нефти, газа	1 : 500 000; 1 : 200 000	0,4–1,1; 1,55–1,75; 2–3; 10,4–12,6
	Рудные месторождения	1 : 500 000; 1 : 200 000	
	Объекты недропользования	1 : 200 000	
Лесные	Границы лесных массивов	1 : 1 000 000; 1 : 200 000	0,4–1,1
	Лесные участки	1 : 200 000	
	Лесопользователи	1 : 200 000	

Принципиальная схема интеграции данных ДЗЗ, кадастровых и статистических данных для создания цифровой картографической модели природных ресурсов представлена на рисунке 7.

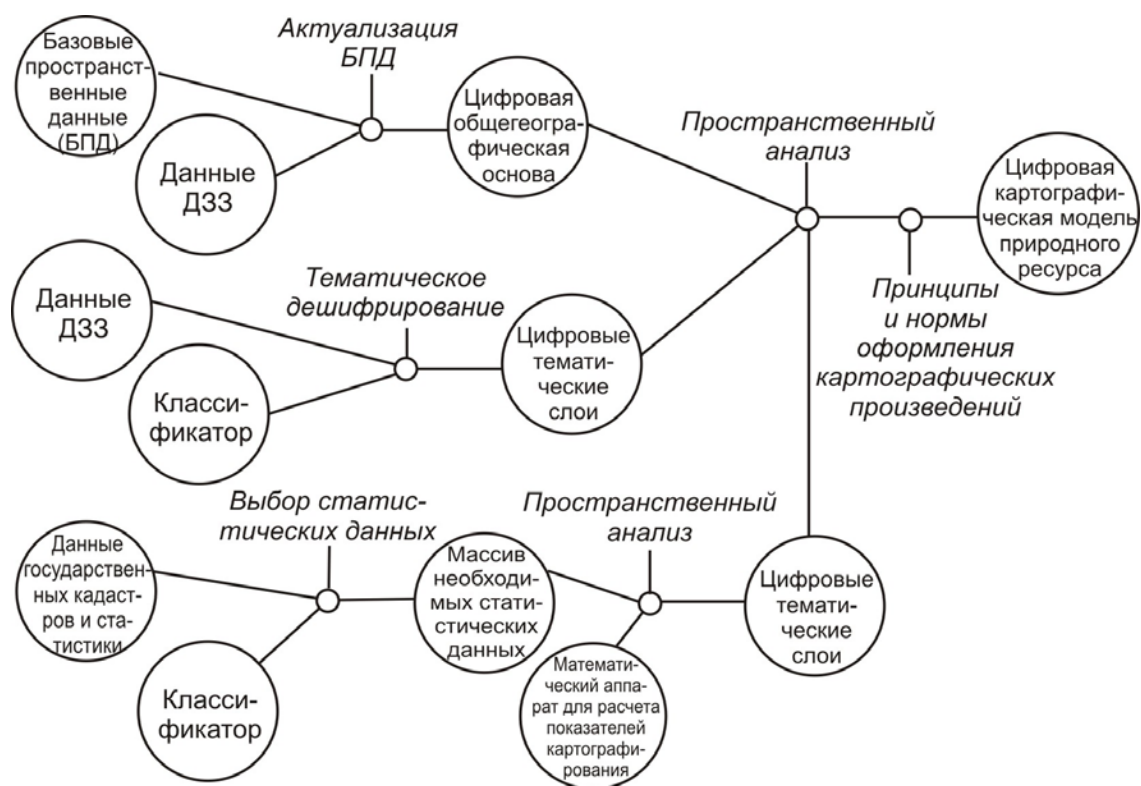


Рисунок 7 – Принципиальная схема интеграции разнородных природно-ресурсных данных при создании цифровой картографической модели природных ресурсов

Проведенные исследования вклада разнородных источников исходных природно-ресурсных данных в формирование базы тематических данных системы ЦКМПР региона позволили сформировать перечень объектов и показателей картографирования природных ресурсов в системе ЦКМПР региона. В сокращенном виде он представлен в таблице 2, полный перечень содержится в диссертационной работе.

Таблица 2 – Сокращенный перечень показателей картографирования природных ресурсов региона в системе ЦКМПР региона

Показатели состояния природного ресурса		Использование ресурса
Запасы ресурса	Нарушенность и восстановление ресурса	
1	2	
НПРД «Водные ресурсы»		
Запас воды в водоисточниках (млн. м ³). Показатели минерализации воды (мг/л)	Классы качества воды	Объемы водопотребления и водоотведения (тыс. м ³)
НПРД «Земельные ресурсы»		
Категории и формы собственности земель (тыс. га). Категории угодий (тыс. га). Кадастровая стоимость земли (руб./м ²). Содержание гумуса	Площадь (га) и состояние (баллы) мелиорируемых земель. Площадь солончаков, песков, болот, деградированных кормовых угодий (га)	Количество хозяйств различных форм собственности (шт), площадь хозяйств разных форм собственности (га)
НПРД «Минерально-сырьевые ресурсы»		
Геологические и промышленные запасы месторождений (тыс. т). Остаток запасов полезных ископаемых по категориям А+ В+С1+С2 (тыс. м ³)	Площадь нерекультивированных территорий (га). Затраты на рекультивацию (млн. руб.)	Объемы и динамика добычи полезного ископаемого (тыс. т). Обеспеченность полезными ископаемыми (годы)
Запасы месторождений подземных вод (тыс. м ³ /сут)	Показатели минерализации (мг/л)	
НПРД «Биологические ресурсы»		
Площадь лесов по хозяйственным группам, категориям защитности, группам возраста (тыс. га). Расчётная лесосека (млн. м ³)	Площадь редколесий, ветровалов, гарей, вырубок и объектов строительства в водоохранной зоне (га)	Фактическая лесосека (млн. м ³), площади рубок различных категорий (тыс. га)
Площадь (га) и породный состав объектов лесовосстановления	Затраты на лесовосстановление (тыс. руб.)	
Ареалы обитания редких, исчезающих, охраняемых видов растений		
Ареалы обитания растений-объектов лесных промыслов		

Окончание таблицы 2

1	2	3
Площадь охотхозяйств (тыс. га), численность охотничье-промысловых животных (шт)	Количество животных, содержащихся полувольно и в питомниках (шт)	Добыча охотничье-промысловых животных (шт). Штат сотрудников (чел.), выручка охотхозяйств (тыс. руб.)
Ареалы обитания редких, исчезающих, охраняемых видов животных		

Структурный состав входных и выходных параметров системы ЦКМПР региона представлен на рисунке 8.

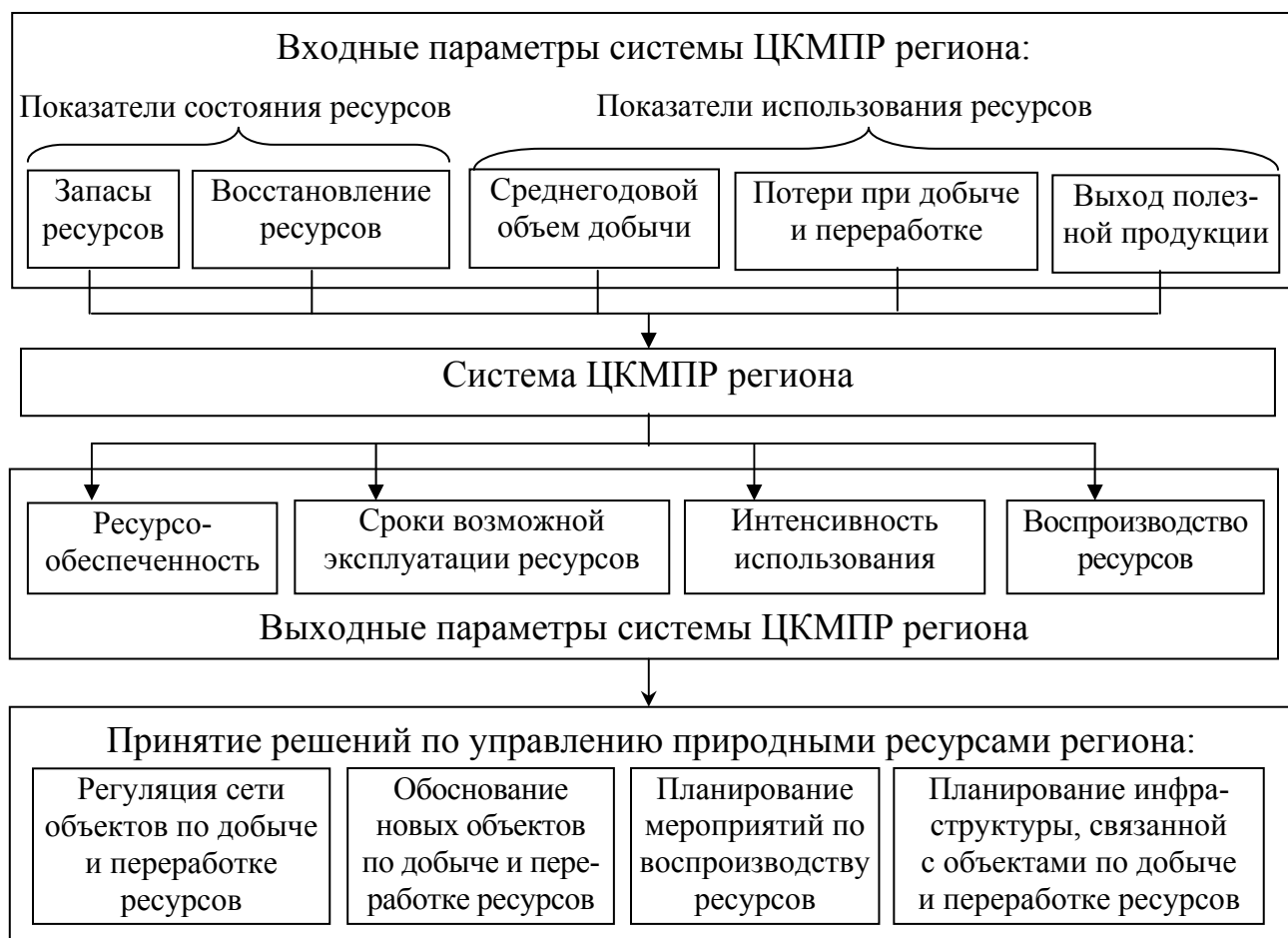


Рисунок 8 – Обоснование решений по управлению природными ресурсами с использованием системы ЦКМПР региона

Входными параметрами системы ЦКМПР региона являются качественные и количественные показатели состояния и использования ресурсов природных компонентов региона. В качестве выходных параметров выступают визуализи-

рованные на цифровой картографической модели сведения, способствующие обоснованию мероприятий по планированию и управлению природопользованием региона.

В четвертом разделе диссертационной работы охарактеризовано технологическое решение интерактивного создания цифровых картографических моделей природных ресурсов для специалистов в области управления природопользованием. Принципиальная технологическая последовательность интерактивного создания цифровой картографической модели природных ресурсов представлена на рисунке 9.



Рисунок 9 – Принципиальная технологическая последовательность интерактивного создания цифровой картографической модели природных ресурсов

Технологическая последовательность включает в себя две группы действий. Действия первой группы осуществляются пользователем и представляют собой трехступенчатую формулировку пользовательского запроса, определяющего тематическое наполнение и форму представления создаваемой цифровой картографической модели. Действия второй группы осуществляются в ГИС без участия пользователя. В финале созданная картографическая модель экспортируется в выбранный пользователем формат.

Реализация пользовательского запроса к системе ЦКМПР региона становится возможной благодаря формализации процесса картографического представления природно-ресурсных данных, которая заключается в четком пошаговом описании этого процесса с опорой на следующие принципы:

- принцип стандартизации формулировок: минимизация интеллектуальных затрат пользователя на формулировку запроса. Это достигается путем разработки типовых задач, выражающих суть наиболее распространенных пользовательских запросов и алгоритмизирующих последовательность их выполнения в ГИС;
- принцип статистической подтвержденности: выполнение пользовательского запроса должно базироваться на использовании показателей, официально утвержденных при ведении российской государственной статистики;
- принцип картографической рационализации: картографо-составительские и оформительские работы по созданию цифровой картографической модели природных ресурсов выполняются без участия пользователя.

Исходя из вышеизложенных принципов и с учетом перечня объектов и показателей картографирования природных ресурсов в системе ЦКМПР региона (см. таблицу 2), была разработана логическая последовательность формализованного выполнения пользовательского запроса (см. рисунок 9, первые три этапа, обозначенные как «Действия пользователя»). Ее более детальная характеристика содержится в четвертом разделе диссертационной работы.

Процесс интерактивного создания цифровых картографических моделей природных ресурсов также включает формализацию действий ГИС по отображе-

нию запрошенных данных. Для определения способов отображения, которые будут использованы на картографической модели, разработан алгоритм их автоматизированного выбора, представленный на рисунке 10.

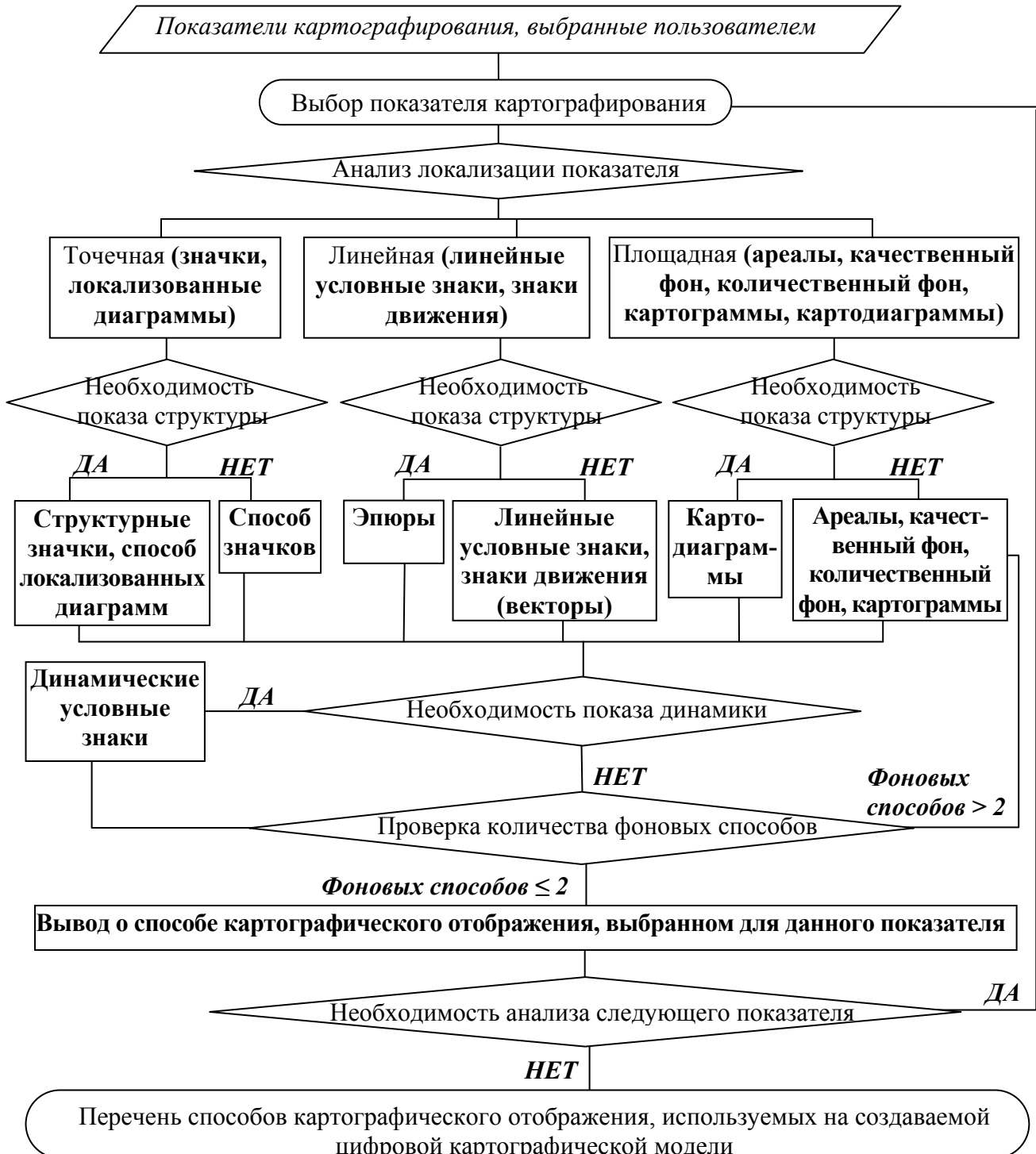


Рисунок 10 – Схема алгоритма автоматизированного выбора способов картографического отображения при интерактивном создании цифровой картографической модели природных ресурсов

Для автоматизированного проектирования цветового решения цифровой картографической модели разработаны четыре колористических принципа:

а) принцип цветовой систематизации: назначение базового цвета для каждого из наборов природно-ресурсных данных, формирующих базу тематических данных системы ЦКМПР региона;

б) принцип цветовой ассоциации: выбор базового цвета должен способствовать формированию у пользователя четкой ассоциации данного цвета с сутью картографируемого явления;

в) принцип цветовой диверсификации: использование различных оттенков базового цвета для условных обозначений разных видов и категорий объектов, входящих в состав набора природно-ресурсных данных;

г) принцип цветовой оптимизации: определение параметров базовых цветов и их оттенков производится в цветовых моделях RGB и Hex.

Принципы а) и б) определяют общее цветовое решение цифровой картографической модели. Пример их использования при картографировании лесных ресурсов в системе ЦКМПР региона приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Базовые цвета для условных обозначений подсистемы цифровых картографических моделей лесных ресурсов

Наборы природно-ресурсных данных в составе системы ЦКМПР региона	Базовый цвет и его название	Координаты базового цвета в системе RGB
Смысловая группа 1. Общие характеристики лесных ресурсов		
Общие характеристики лесного фонда	Ярко-зеленый	(102, 255, 0)
Характеристика хвойных лесонасаждений	Зелено-желтый	(173, 255, 47)
Характеристика лиственных лесонасаждений	Весенне-зеленый	(0, 255, 127)
Смысловая группа 2. Характеристика породного состава лесонасаждений		
Характеристика сосновых лесонасаждений	Оранжево-желтый	(255, 142, 13)
Характеристика кедровых лесонасаждений	Карминово-красный	(255, 0, 51)
Характеристика березовых лесонасаждений	Лазурный	(0, 127, 255)
Смысловая группа 3. Использование лесных ресурсов		
Эксплуатация древесных ресурсов	Бронзовый	(205, 127, 50)
Эксплуатация недревесных ресурсов	Хаки	(195, 176, 145)
Транспортная инфраструктура лесов	Тусклый серый	(105, 105, 105)
Смысловая группа 4. Охрана, защита и восстановление лесного фонда		
Лесопатологические мероприятия	Розовая фуксия	(255, 119, 255)
Лесопожарные мероприятия	Алый	(255, 36, 0)
Лесовосстановительные мероприятия	Зеленая сосна	(0, 125, 52)

На основании колористических принципов в) и г) осуществляется детальное проектирование цветового решения цифровой картографической модели природных ресурсов. При этом для расчета цветовых координат используется математический аппарат, разработанный автором с учетом закона Вебера – Фехнера:

– расчет цветовых координат оттенков базового цвета для картограммных шкал выполняется с использованием выражения

$$L_i^K = L_{\text{б}} + \frac{(i-1) \cdot L_{\text{б}}}{n}, \quad (5)$$

где L_i^K – светлота i -й ступени шкалы;

$L_{\text{б}}$ – светлота базового цвета;

i – номер ступени шкалы в нисходящем порядке (от верхней, самой темной, до нижней, самой светлой);

n – общее количество ступеней в шкале. Максимальное значение n рекомендуется принимать равным 5, поскольку дальнейшее увеличение количества цветовых градаций ухудшает читаемость шкалы;

– цветовые координаты оттенков базового цвета для послойной окраски изолиний определяются с использованием выражения

$$L_i^И = L_{\text{б}} + \frac{(i-1) \cdot L_{\text{б}}}{2n}, \quad (6)$$

где $L_i^И$ – светлота i -й ступени шкалы послойной окраски изолиний;

$L_{\text{б}}$ – светлота базового цвета;

i – номер ступени шкалы послойной окраски изолиний в нисходящем порядке (от верхней, самой темной, до нижней, самой светлой);

n – общее количество ступеней в шкале;

– расчет цветовых координат оттенков базового цвета для мелких фоновых элементов (заливки внемасштабных условных знаков, значков картодиаграмм

и локализованных диаграмм, цветной окантовки линейных условных знаков) выполняется с применением выражения

$$L_i^{\text{МФ}} = \frac{i \cdot 95 \%}{n}, \quad (7)$$

где $L_i^{\text{МФ}}$ – светлота i -го мелкого фонового элемента;

i – порядковый номер элемента (отсчет ведется слева направо для столбчатых диаграмм, или от верхнего сектора по часовой стрелке для круговых диаграмм и структурных значков);

95 % – максимальное значение светлоты, при которой человеческий глаз различает наличие цвета;

n – общее количество элементов в условном знаке;

– для расчета цветовых координат оттенков базового цвета для штриховых элементов используется выражение

$$L_i^{\text{Ш}} = L_{\text{б}} - \frac{L_{\text{б}}}{(n+1)}, \quad (8)$$

где $L_i^{\text{Ш}}$ – светлота i -го вида штрихового элемента;

$L_{\text{б}}$ – светлота базового цвета;

n – общее количество видов штриховых элементов, отображаемых оттенками базового цвета.

Разработанные формулы обеспечивают определение цветовых координат в цветовой модели HSL. Их пересчет в модели RGB и Hex выполняется по общепринятым схемам. В таблице 4 приведен пример расчета цветовых координат оттенков базового цвета для шкалы способа картограмм, используемого при визуализации цифровой картографической модели лесных ресурсов. Результат использования шкалы представлен на рисунке 15.

Таблица 4 – Результаты расчета цветовых координат оттенков базового цвета для шкалы картограмм

<i>i</i> (порядковый номер ступени шкалы)	Оттенки базового цвета	Координаты цвета в цветовой модели HSL	Координаты цвета в цветовой модели RGB
<i>Картографируемый показатель: площадь защитных лесонасаждений</i>			
1	Насыщенный зеленый (базовый цвет)	(96, 100 %, 50 %)	(102, 255, 0)
2	Оттенок 1	(96, 100 %, 62,5 %)	(179, 255, 128)
3	Оттенок 2	(96, 100 %, 75 %)	(206, 255, 173)
4	Оттенок 3	(96, 100 %, 87,5 %)	(215, 255, 189)

В пятом разделе диссертационной работы представлена апробация разработанных теоретических и методологических положений. Объектом картографирования являлись биологические ресурсы, под которыми понималась совокупность растительных и фаунистических ресурсов (рисунок 11).



Рисунок 11 – Структура системы цифровых картографических моделей биологических ресурсов (системы ЦКМБР)

Задачей системы ЦКМБР является визуализация и моделирование данных о биологических ресурсах во взаимосвязи с абиотическими ресурсами для их эффективного использования. Масштабный ряд системы ЦКМБР Новосибирской области варьируется от 1 : 3 000 000 до 1 : 1 000 000 для региональных моделей и от 1 : 1 000 000 до 1 : 200 000 для топических. Цифровая общегеографическая основа системы ЦКМБР охарактеризована в пятом разделе диссертационной работы.

Экспериментальные работы по разработке тематического содержания системы ЦКМБР были посвящены моделированию характеристик лесных и фаунистических ресурсов, так как из всех видов биологических ресурсов именно они вносят наибольший вклад в экономику Новосибирской области.

База тематических данных подсистемы цифровых картографических моделей лесных ресурсов (подсистемы ЦКМЛР) Новосибирской области создана путем интеграции следующих источников: данные дистанционного зондирования среднего пространственного разрешения, полученные в видимом диапазоне; планы лесоустройства на территорию районов области; данные Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области и Федерального агентства лесного хозяйства по Новосибирской области. Показатели картографирования региональных моделей лесных ресурсов подразделяются на три смысловых группы: «Состояние лесного фонда», «Использование лесных ресурсов», «Охрана и восстановление лесов». Тематическое содержание топических моделей разбито на четыре смысловые группы: «Общая характеристика лесничества», «Характеристика породного состава лесонасаждений», «Использование древесных и недревесных ресурсов», «Лесопожарные, лесовосстановительные и лесопатологические мероприятия».

Подсистема цифровых картографических моделей фаунистических ресурсов (подсистема ЦКМФР) формировалась в ходе интеграции следующих источников: данные учета охотничьих животных, лесопатологического и эпизоотического мониторинга, Красных книг РФ и Новосибирской области, отчетности охотничьих хозяйств по форме 2ТП (охота), ранее изданные произведения

регионального ландшафтного картографирования. Показатели картографирования подразделяются на следующие смысловые группы: «Среда обитания фаунистических ресурсов», «Охотничье-промысловые ресурсы», «Охраняемые виды животных» и «Условно вредные виды животных».

Характерной особенностью цифровых картографических моделей фаунистических ресурсов является невозможность предоставления координатной информации о местонахождении групп представителей животных видов, которые постоянно перемещаются в пространстве. Для компенсации неоднозначности пространственной интерпретации зоогеографических данных были обоснованы два подхода к составлению цифровых картографических моделей фаунистических ресурсов.

Ландшафтный подход состоит в картографировании ландшафтно-территориальных единиц, характеризующихся условиями, в разной степени благоприятными для обитания определенных видов. Пример подобной цифровой картографической модели приведен на рисунке 12.

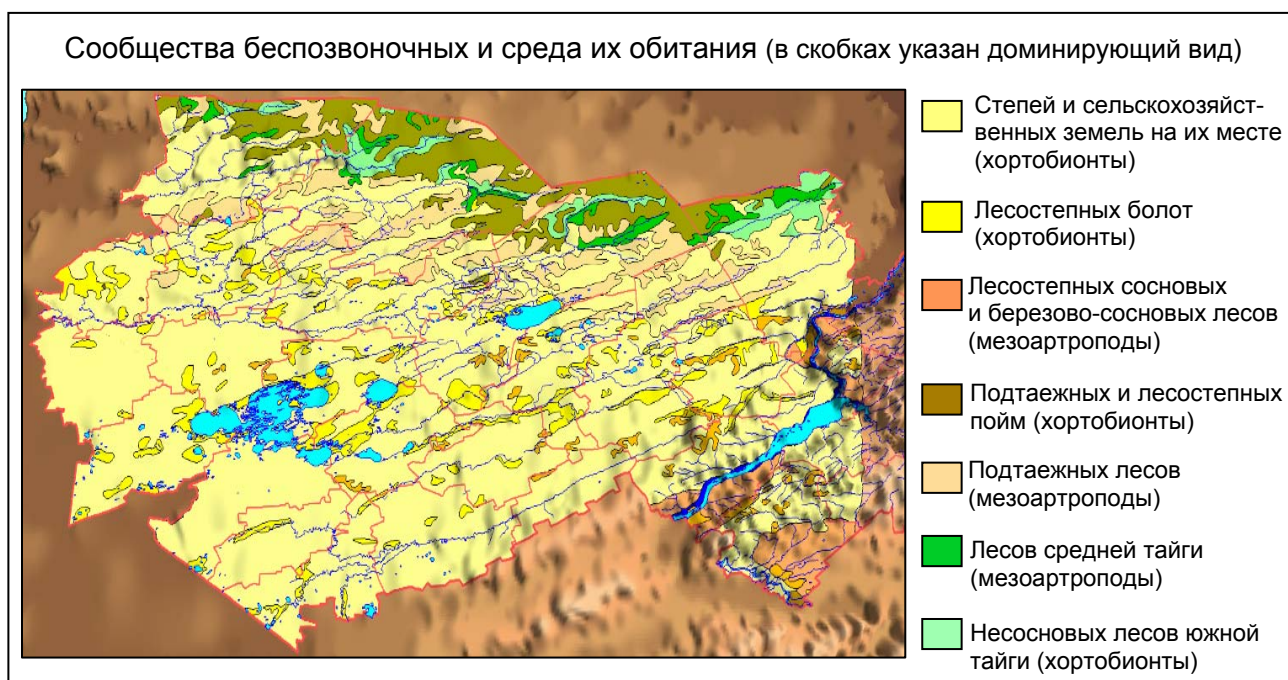


Рисунок 12 – Региональная цифровая картографическая модель среды обитания фаунистических ресурсов, созданная на основе ландшафтного подхода

Статистический подход заключается в визуализации параметров хозяйственных объектов, связанных с использованием фаунистических ресурсов, а также объемов добычи и разведения объектов животного мира. Источником исходных данных являются сведения кадастров особо охраняемых природных территорий и животного мира и материалы статистической отчетности по форме 2ТП (охота), что обуславливает название подхода. Пример такой модели приведен на рисунке 14.

Форма визуализации цифровых картографических моделей биологических ресурсов зависит от условий запроса пользователя и характера решаемых прикладных задач. Трехмерное представление может использоваться для выявления взаимосвязей картографируемых характеристик ресурса с рельефом (рисунок 13) или для повышения наглядности визуализации запрошенных пользователем данных (рисунок 14). Тематическое содержание цифровых картографических моделей может ограничиваться показом круга показателей, запрошенных пользователем (рисунок 15), или отображать рекомендации по использованию ресурса (рисунок 16).

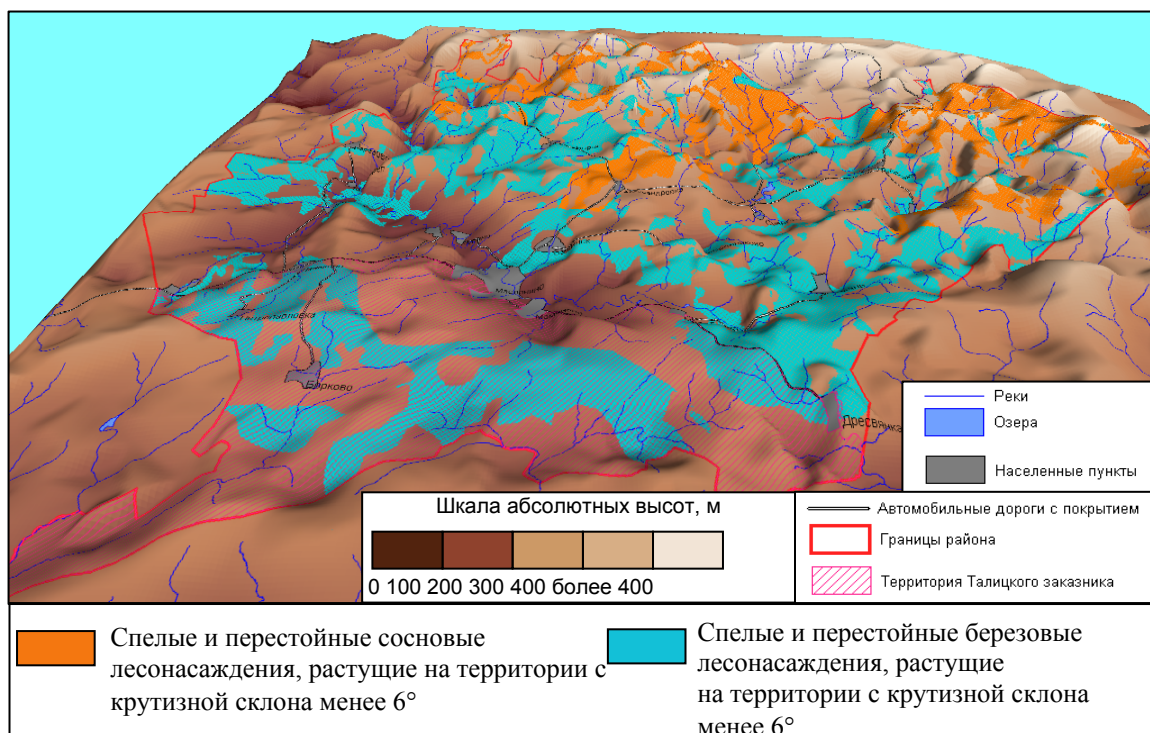


Рисунок 13 – Трехмерное моделирование лесного фонда
Маслянинского района Новосибирской области



Рисунок 14 – Трехмерное моделирование динамики численности лоса по районам Новосибирской области с учетом охотничьего сезона



Рисунок 15 – Цифровая картографическая модель некоторых характеристик лесного фонда Новосибирской области

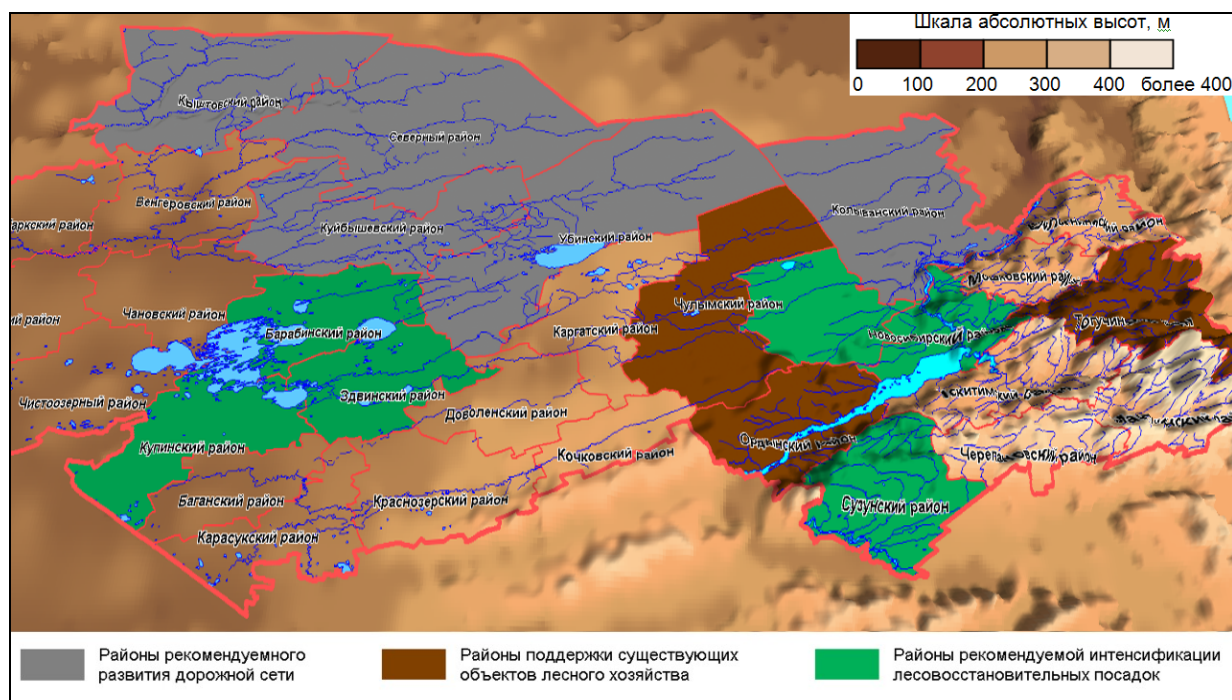


Рисунок 16 – Направления перспективного развития лесного хозяйства Новосибирской области (источник исходных данных – цифровая картографическая модель, представленная на рисунке 15)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать методологию геоинформационного моделирования и картографирования состояния природных ресурсов региона для рационального природопользования. Таким образом, цель диссертационной работы достигнута, поставленные задачи решены.

Итоги проведенных исследований заключаются в следующем:

– проанализированы существующие процессы сбора сведений о природных ресурсах, выявлено отсутствие организационного, методического и технологического единства среди поставщиков природно-ресурсных данных и недостаточная организованность информационного обмена между ними, что затрудняет сопоставление и комплексное использование данных, ограничивает доступ пользователей к ним, резко сужает объем фактически используемых данных для обоснования решений по эксплуатации природных ресурсов;

– проанализирован и обобщен опыт природно-ресурсного картографирования, что позволило выявить узкоотраслевой характер существующих разработок и ограниченность применения интеграции и системного подхода к моделированию и картографированию разнородных природно-ресурсных данных;

– разработаны теоретические основы и сформулированы принципы геоинформационного моделирования и картографирования разнородных природно-ресурсных данных для анализа и прогноза состояния природных ресурсов региона;

– разработана концепция инфраструктуры природно-ресурсных пространственных данных региона, позволяющей регулировать и оптимизировать процесс сбора и упорядочивания разнородных природно-ресурсных данных. Этим повышается доступность данных для специалистов в области управления природными ресурсами и закладывается информационно-организационная основа для формирования единого природно-ресурсного геоинформационного пространства региона;

– разработана природно-ресурсная геоинформационная модель региона, обеспечивающая получение нового знания о состоянии природных ресурсов на основе интеграции и геоинформационного анализа упорядоченной совокупности данных;

– разработаны научно-методические основы интерактивного картографического отображения разнородных природно-ресурсных данных в виде системы цифровых картографических моделей природных ресурсов, которые включают в себя: теоретическое обоснование структуры системы; методику селекции и интеграции данных для получения информативной и современной характеристики состояния природных ресурсов региона; принципы системной визуализации интегрированного массива природно-ресурсных данных в различных формах картографического представления; методику формализации процесса выполнения пользовательского запроса при обращении к системе цифровых картографических моделей природных ресурсов;

– разработано технологическое решение интерактивного создания цифровых картографических моделей природных ресурсов, включающее в себя принципы и логическую последовательность автоматизированной визуализации запрошенных данных в ГИС. Оно позволяет пользователю создавать картографические произведения, характеризующиеся необходимым для решения прикладных задач уровнем информативности и соответствующие государственным и отраслевым стандартам на создание картографической продукции;

– выполнены экспериментальные исследования по обоснованию структуры и тематического содержания системы цифровых картографических моделей биологических ресурсов на примере Новосибирской области и отработке различных форм представления цифровых картографических моделей средствами геоинформационного картографирования и 3D-моделирования.

Результаты диссертационного исследования рекомендованы к использованию в практической деятельности информационно-аналитических отделов региональных органов управления природопользованием и охраной окружающей среды, научно-исследовательских учреждений в сфере изучения природных ресурсов. Перспективное развитие исследований связано с развитием трехмерного и четырехмерного картографического моделирования природно-ресурсных данных для управления природопользованием региона.

Эффективность выполненных теоретических и практических разработок подтверждена результатами четырех фундаментальных НИР. Предложенная методика по интеграции разнородных природно-ресурсных данных апробирована и внедрена в научно-исследовательских и научно-производственных организациях (в том числе – в Институте систематики и экологии животных СО РАН), что подтверждается актами о внедрении. Результаты исследований внедрены в учебный процесс СГУГиТ и используются при преподавании дисциплин «Основы природопользования», «Кадастр природных ресурсов» и «Картографирование природных ресурсов».

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ
ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Научно-методические основы формализации процессов составления тематических карт для реализации в среде ГИС [Текст] / С. С. Дышлюк, О. Н. Николаева, Л. А. Ромашова, С. А. Сухорукова // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2011. – № 5. – С. 91–93.

2 Пространственно-типологическая дифференциация экосистем Западно-Сибирской равнины. Сообщение I Растительный покров [Текст] / В. П. Седелников, Ю. С. Равкин, А. А. Титлянова, И. Н. Богомолова, О. Н. Николаева // Сибирский экологический журнал. – 2011. – № 3. – С. 311–323.

3 Пространственно-типологическая дифференциация экосистем Западно-Сибирской равнины. Сообщение III Наземные беспозвоночные [Текст] / М. Г. Сергеев, Б. Р. Стриганова, В. Г. Мордкович, В. В. Молодцов, И. Н. Богомолова, О. Н. Николаева // Сибирский экологический журнал. – 2011. – № 4. – С. 467–474.

4 Николаева, О. Н. Совершенствование информационной базы региональных ГИС (РГИС) для инвентаризации и картографирования природных ресурсов [Текст] / Б. Т. Мазуров, О. Н. Николаева, Л. А. Ромашова // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 130–133.

5 Николаева, О. Н. Учет экологических функций литосферы при оценке территорий [Текст] / В. Б. Жарников, А. В. Ван, О. Н. Николаева // Изв. вузов Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 151–153.

6 Николаева, О. Н. Применение картографических моделей природных ресурсов для системного планирования и ведения рационального природопользования [Текст] / Л. А. Пластинин, О. Н. Николаева // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 109–112.

7 Интеграция геопространственных данных на основе трехмерного моделирования для экологической оценки городских территорий [Текст] / Л. К. Тру-

бина, Т. А. Хлебникова, О. Н. Николаева, Е. Н. Кулик // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 83–86.

8 Николаева, О. Н. Териофаунистическое районирование Северной Евразии [Текст] / Ю. С. Равкин, И. Н. Богомолова, О. Н. Николаева // Сибирский экологический журнал. – 2013. – № 1. – С. 111–121.

9 Районирование Северной Евразии по фауне наземных позвоночных и классификация их по сходству распространения [Текст] / Ю. С. Равкин, И. Н. Богомолова, Т. К. Железнова, О. Н. Николаева // Сибирский экологический журнал. – 2014. – № 2. – С. 163–181.

10 Роль экологических карт в формировании инфраструктуры пространственных данных муниципального уровня [Текст] / Л. А. Пластинин, С. С. Дышлюк, О. Н. Николаева, Л. А. Ромашова // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 101–104.

11 Николаева, О. Н. Некоторые аспекты создания карт биоразнообразия [Текст] / О. Н. Николаева // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 3. – С. 53–57.

12 Николаева, О. Н. Картографический метод исследования в формировании единого природно-ресурсного информационного пространства России [Текст] / О. Н. Николаева // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 4. – С. 109–113.

13 Николаева, О. Н. О разработке картографического обеспечения для эффективного управления лесными ресурсами [Текст] / О. Н. Николаева // Геодезия и картография. – 2015. – № 11. – С. 30–34.

14 О применении экологических карт для экологической компоненты инфраструктуры пространственных данных муниципального уровня [Текст] / Б. Т. Мазуров, С. С. Дышлюк, О. Н. Николаева, Л. А. Ромашова // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 230–235.

15 Николаева, О. Н. Об алгоритмизации проектирования оформления тематических картографических произведений (на примере картографических

моделей природных ресурсов) [Текст] / О. Н. Николаева // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 4 (32). – С. 61–69.

16 Николаева, О. Н. Об использовании экологических карт в создании экологической компоненты инфраструктуры пространственных данных [Текст] / С. С. Дышлюк, Л. А. Ромашова, О. Н. Николаева // Геодезия и картография. – 2016. – № 4. – С. 20–27.

17 Николаева, О. Н. Природно-ресурсная геоинформационная модель региона как средство для повышения эффективности планирования и ведения природопользования [Текст] / О. Н. Николаева // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 1 (33). – С. 107–113.

18 Николаева, О. Н. О системном подходе к картографированию природных ресурсов для оптимизации природопользования региона [Текст] / О. Н. Николаева // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. – № 3. – С. 90–94.

19 Николаева, О. Н. О проектировании тематического содержания системы цифровых картографических моделей природных ресурсов региона [Текст] / О. Н. Николаева // Геодезия и картография. – 2016. – № 7. – С. 33–38.

20 Николаева, О. Н. Пространственная интерпретация природно-ресурсных данных при разработке картографического обеспечения для управления природопользованием [Текст] / О. Н. Николаева // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 2 (34). – С. 105–110.

21 Николаева, О. Н. Биогеографические карты – средство для сохранения и рационального использования природных ресурсов [Текст] / О. Н. Николаева // Гео-Сибирь-2010 : сб. материалов VI Междунар. науч. конгр., 26–29 апр. 2010 г., Новосибирск. – Новосибирск : СГГА, 2010. – Т. 1, ч. 2. – С. 57–63.

22 Николаева, О. Н. Биогеографическое картографирование: современное состояние и область применения для сохранения и рационального использования природных ресурсов [Текст] / О. Н. Николаева // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 1 (12). – С. 145–150.

23 Николаева, О. Н. Серия экологических карт промышленного центра как часть инфраструктуры пространственных данных [Текст] / Л. А. Ромашова, О. Н. Николаева, Ю. В. Гаврилов // Тематическое картографирование для создания инфраструктур пространственных данных : сб. материалов IX-й науч. конф., 9–12 нояб. 2010 г., Иркутск, Ин-т геогр. им. Сочавы. – С. 232–236.

24 Николаева, О. Н. Научно-методические основы формализации процессов составления тематических карт для реализации в ИСА ГИС [Текст] / С. С. Дышлюк, Л. А. Ромашова, О. Н. Николаева // Гео-Сибирь-2011 : сб. материалов VII Междунар. науч. конгр., 19–29 апр. 2011 г., Новосибирск. – Новосибирск : СГГА, 2011. – Т. 1, ч. 2. – С. 45–49.

25 Николаева, О. Н. Некоторые аспекты создания карт экологического разнообразия территории [Текст] / О. Н. Николаева // Вестник СГГА. – 2011. – Вып. 3 (16). – С. 75–80.

26 Николаева, О. Н. Научно-методические основы формализации процессов составления тематических карт для реализации инструментальной справочно-аналитической геоинформационной системы [Текст] / С. С. Дышлюк, О. Н. Николаева, Л. А. Ромашова // Вестник СГГА. – 2011. – Вып. 1 (14). – С. 49–54.

27 Николаева, О. Н. Об интеграции ДДЗ в ГИС для формализованной инвентаризации природно-ресурсных характеристик региона [Текст] / О. Н. Николаева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 2. – С. 39–44.

28 Николаева, О. Н. Интеграция ДДЗ в ГИС для оценки состояния мобильных компонентов окружающей среды [Текст] / О. Н. Николаева // Сиббезопасность-Спасиб : сб. материалов междунар. науч. конгр., 25–27 сент. 2012 г., Новосибирск. – Новосибирск : СГГА. – 2012. – С. 97–100.

29 Николаева, О. Н. О совершенствовании информационного обеспечения картографирования природных ресурсов [Текст] / О. Н. Николаева // Интерэкс-

по ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 2. – С. 107–112.

30 Эпизоотическая напряженность и эпидемическая опасность очагов клещевого энцефалита и боррелиоза [Текст] / Ю. С. Равкин, В. М. Бахвалова, Н. Н. Ливанова, В. В. Панов, И. Н. Богомолова, В. В. Сапегина, О. Н. Николаева // Динамика экосистем Новосибирского Академгородка. – Новосибирск : Изд-во СО РАН. – 2013. – С. 345–357.

31 Динамика численности и пространственная неоднородность сообществ. Позвоночные [Текст] / С. М. Цыбулин, Ю. С. Равкин, И. Ф. Жимулёв, В. В. Панов, Л. Г. Вартапетов, В. С. Жуков, И. Н. Богомолова, О. Н. Николаева // Динамика экосистем Новосибирского Академгородка. – Новосибирск : Изд-во СО РАН. – 2013. – С. 309–318.

32 Николаева, О. Н. Серия цифровых экологических карт промышленного центра как часть инфраструктуры пространственных данных [Текст] / С. С. Дышлюк, О. Н. Николаева, Л. А. Ромашова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 23–26.

33 Николаева, О. Н. О совершенствовании методологии картографирования фаунистических ресурсов [Текст] / О. Н. Николаева // ИнтерКарто – ИнтерГИС-20 : сб. материалов междунар. научно-техн. конф. 23–24 июля 2014 г., Белгород. – Белгород : БГНИУ, 2014. – С. 423–427.

34 Николаева, О. Н. Роль экологической информации в формировании инфраструктуры пространственных данных муниципального уровня [Текст] / С. С. Дышлюк, О. Н. Николаева, Л. А. Ромашова // ИнтерКарто – ИнтерГИС-20 : сб. материалов междунар. научно-техн. конф., 23–24 июля 2014 г., Белгород. – Белгород : БГНИУ, 2014. – С. 592–595.

35 Николаева, О. Н. О совершенствовании методологии картографирования фаунистических ресурсов [Текст] / О. Н. Николаева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 3–8.

36 Николаева, О. Н. Об интерактивном создании картографического обеспечения для управления природопользованием [Текст] / О. Н. Николаева // «Теоретические и прикладные аспекты современной науки»: сб. материалов IX Междунар. науч.-практ. конф., 31 марта 2015 г., Белгород. – Белгород: ИП Петрова М. Г., 2015. – Ч. 2. – С. 10–15.

37 Николаева, О. Н. Формализация процесса создания тематических карт для широкого круга пользователей [Текст] / С. С. Дышлюк, О. Н. Николаева, Л. А. Ромашова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 2. – С. 10–16.

38 Николаева, О. Н. Инфраструктура природно-ресурсных пространственных данных как средство формирования единого природно-ресурсного информационного пространства России [Текст] / О. Н. Николаева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 2. – С. 135–139.

39 Николаева, О. Н. Использование картографических моделей природных ресурсов на различных этапах ведения рационального природопользования [Текст] / О. Н. Николаева // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 3 (31). – С. 79–86.

40 Николаева, О. Н. К вопросу формализации процесса создания тематических карт в ГИС-среде [Текст] / С. С. Дышлюк, Л. А. Ромашова, О. Н. Николаева // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 78–85.

41 Николаева, О. Н. Применение экологических карт для формирования экологической компоненты инфраструктуры пространственных данных [Текст] / С. С. Дышлюк, Л. А. Ромашова, О. Н. Николаева // «Геодезия, геоинформатика, картография и кадастр. От идеи до внедрения» : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 11–13 нояб. 2015 г. – СПб. : Политехника, 2015. – С. 310–314.

42 Николаева, О. Н. Создание системы картографических моделей для управления биологическими ресурсами Новосибирской области [Текст] / О. Н. Николаева // Труды XIX Междунар. форума «III тысячелетие – новый мир» / Под ред. В. В. Вишневого. – М. : Академия наук о Земле, 2015. – С. 107–108.

43 Николаева, О. Н. Алгоритмизация картографо-оформительских процессов при интерактивном создании картографических произведений для широкого круга пользователей [Текст] / О. Н. Николаева // Современные тенденции развития науки и технологий : сб. материалов VIII междунар. науч.-практ. конф., 30 нояб. 2015 г., Белгород. – Белгород : ИП Ткачева Е.П., 2015. – № 8. – Ч. 1. – С. 65–70.

44 Николаева, О. Н. Интегрированное картографирование разнородных природно-ресурсных пространственных данных для управления природопользованием [Текст] / О. Н. Николаева // ИнтерКарто-ИнтерГИС – 21 «Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение» : сб. материалов междунар. конф., 12 нояб. 2015 г., Сочи. – С. 171–174.

45 Николаева, О. Н. Геоинформационное моделирование природно-ресурсных данных для эффективного управления природопользованием [Текст] / О. Н. Николаева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 2. – С. 150–155.