На правах рукописи

Лебзак Евгений Викторович

Разработка методики геоинформационного картографирования лесного хозяйства с применением мобильных технологий

1.6.20. Геоинформатика, картография

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Новосибирск – 2023

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

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
Янкелевич Светлана Сергеевна.

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

Карманова Мария Владимировна, кандидат технических наук, муниципальное казенное учреждение «Управление по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям г. Барнаула», главный специалист по мониторингу и аналитической работе единой дежурно-диспетчерской службы.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет» (г. Тюмень).

Защита диссертации состоится 21 ноября 2023 г. в 15-00 на заседании диссертационного совета 24.2.402.02 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий

https://sgugit.ru/science-and-innovations/dissertation-councils/dissertations/lebzak-evgeniy-viktorovich/

Автореферат разослан 6 октября 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Дубровский Алексей Викторович

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.
Подписано в печать 15.09.2023. Формат 60×84 1/16.
Печ. л. 1,00. Тираж 100 экз. Заказ 111.
Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 10.
Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 8.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Поддержание актуальности информации о состоянии лесного фонда – главное условие эффективного управления лесным комплексом. Во многих производственных процессах в лесном хозяйстве задействована картографическая продукция, призванная обеспечить предприятия достоверной и всеобъемлющей информацией о лесных ресурсах, на ее основе создаются и систематически обновляются базы данных, составляются документы по инвентаризации и учету.

Лесохозяйственная отрасль в России активно развивается и одной из первых задействовала ГИС-технологии в своих производственных процессах, в том числе и при составлении карт лесного хозяйства. На сегодняшний день при геоинформационном картографировании лесного хозяйства применяют как специализированные лесные ГИС, так и ГИС общего назначения. Создаются всевозможные геопорталы и веб-карты, отражающие состояние лесного фонда нашей страны.

Основной проблемой картографирования лесного хозяйства в настоящее время является отсутствие методических и технологических решений, способных обеспечить переход на электронный документооборот на полевом этапе лесоустроительных работ. Существующие методики предполагают сбор данных на полевом этапе лесоустройства при помощи бумажных носителей, что значительно усложняет весь производственный цикл и не отвечает запросам современного времени.

Необходимо учитывать возросшую в последние годы востребованность знаний, в том числе появление геоинформационных моделей и карт, содержание которых дополнено геопространственными знаниями. Такие карты предназначены для повышения эффективности решения различных задач и принятия на их основе управленческих решений. С учетом того, что перечень карт лесного хозяйства на сегодняшний день достаточно ограничен и не способен удовлетворить все потребности заказчика, составление карт, содержание которых дополнено геопространственными знаниями, актуально.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки новой методики геоинформационного картографирования лесного хозяйства, позволяющей ввести в производственный цикл электронную документацию на этапе проведения полевых работ посредством применения мобильных технологий, а также расширить виды карт лесного хозяйства за счет отображения на них геопространственных знаний.

Степень разработанности темы изучена по опубликованным работам в области картографирования лесного хозяйства на основании трудов Креснова В. Г., Черниховского Д. М., Пилипко Е. Н., Пахучего В. В., Ступина В. П., Тарасова А. В., применения мобильного картографирования в процессе лесоустройства на основании трудов Заблоцкого В. Р., Букши И. Ф., Букши М. И., Кармановой М. В., отображения геопространственных знаний на тематических картах на основании опубликованных работ Карпика А.П., Майорова А. А., Савиных В. П., Цветкова В. Я., Лисицкого Д. В., Дулина С. К., Weiwei Zh., Jun Ch. и др.

Целью исследования является разработка методики геоинформационного картографирования лесного хозяйства с применением мобильных технологий, позволяющей ввести в производственный цикл электронную документацию на этапе проведения полевых работ и дополнить содержание карт лесного хозяйства геопространственными знаниями.

Реализация поставленной цели потребовала решения следующих *задач*:

– выполнить анализ современного состояния геоинформационного картографирования лесного хозяйства в России и за рубежом;

– провести исследование особенностей картографирования лесного хозяйства, видов карт лесного хозяйства, содержание которых необходимо дополнить геопространственными знаниями, а также источников для их составления и требований к ним;

– выполнить оценку целесообразности внедрения мобильных технологий на полевом этапе лесоустройства;

– сформулировать понятие нового вида карт лесного хозяйства – карты лесного хозяйства, дополненные геопространственными знаниями;

– разработать методику геоинформационного картографирования лесного хозяйства с применением мобильных технологий;

– провести апробацию и оценку полученных результатов исследования.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются карты лесного хозяйства. Предмет исследования – методика геоинформационного картографирования лесного хозяйства, позволяющая снизить трудоемкость процесса составления карт лесного хозяйства путем внедрения мобильных технологий и дополнить их содержание геопространственными знаниями.

Научная новизна диссертационной работы:

– предложен новый вид карт лесного хозяйства, дополненных геопространственными знаниями, ориентированных на оперативность и качество решения различных задач и принятия управленческих решений в сфере лесного хозяйства, разработан и теоретически обоснован способ формирования этих знаний, расширена существующая классификация карт лесного хозяйства;

– разработаны научно-методические основы геоинформационного картографирования лесного хозяйства с применением мобильных технологий, подробно описывающая все этапы создания различных видов лесной картографической продукции и позволяющая выполнить переход на электронный документооборот на полевом этапе проведения лесоустроительных работ, а также создавать карты лесного хозяйства, дополненные знаниями на основе формализованных экспертных знаний, геопространственных данных и информации;

– создана технологическая схема создания картографической продукции для предприятий лесного хозяйства, наглядно отображающая процессы формирования геопространственных знаний и составления карт лесного хозяйства с использованием мобильных технологий.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в предложенном и обоснованном новом виде карт – карт лесного хозяйства, создаваемых с использованием мобильных технологий и дополненных геопространственными знаниями, которые позволяют опера-

тивно и качественно решать различные задачи и принимать управленческие решения в сфере лесного хозяйства.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке методики создания карт для предприятий лесного хозяйства с применением мобильных технологий, внедрение которой позволит осуществить переход на электронный документооборот на полевом этапе лесоустройства, а также разработке прототипа базы геопространственных знаний, содержащей формализованные экспертные знания, позволяющей впоследствии отказаться от привлечения таксатора на камеральном этапе лесоустройства.

Методология и методы исследования. При проведении диссертационного исследования использовались базовые понятия, принципы и методы геоинформатики, геоинформационного картографирования и картографии, методы системного подхода и сравнительного анализа, а также метода экспертных оценок. Для оценки эффективности результатов исследования применен метод экспериментального апробирования.

На защиту выносятся следующие положения:

– предложенная база геопространственных знаний, содержащая формализованные экспертные знания и алгоритмы формирования геопространственных знаний, позволит впоследствии отказаться от привлечения специалистов-таксаторов на камеральном этапе составления карт лесного хозяйства;

– разработанная методика геоинформационного картографирования лесного хозяйства с применением мобильных технологий позволяет повысить качество материалов полевого контурного дешифрирования посредством обеспечения таксатора большим объемом актуальной пространственной информации, существенно снизит вероятность возникновения систематических ошибок, сократит временные и трудовые затраты на камеральную обработку;

– разработанная технологическая схема создания картографической продукции для предприятий лесного хозяйства позволяет составлять новые карты лесного хозяйства, дополненные геопространственными знаниями, созданные на основе материалов лесоустройства и экспертных знаний, предназначенных для решения различных задач в сфере лесного хозяйства.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Тематика диссертации соответствует областям исследований: 6 – Технические средства и технологии сбора, хранения и обработки пространственных и пространственно-временных данных. Оперативный анализ и картографирование потоковой географической информации. Геосенсорные сети и датчики; 13 – Проектирование и составление карт. Новые виды и типы общегеографических и тематических карт и атласов; 20 – Базы знаний и экспертные геоинформационные системы для принятия решений в области проблем управления территориями паспорта научной специальности 1.6.20. Геоинформатика, картография, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России.

Личный вклад автора в исследование заключается в изучении российского и зарубежного опыта внедрения мобильных технологий в полевое картографирование, исследовании различных видов карт лесного хозяйства и их особенностей, изучении роли геопространственных знаний в картографировании лесного хозяйства, разработке базы знаний, содержащей формализованные экспертные знания о лесном фонде, методики геоинформационного картографирования лесного хозяйства с применением мобильных технологий, а также оценке полученных результатов исследования.

Подготовка к публикации в российских рецензируемых научных изданиях работ, содержащих результаты исследования, осуществлялась как самостоятельно, так и в соавторстве.

Степень достоверности и апробация полученных результатов исследования. Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на научных конференциях: V Национальной научно-практическая конференция с международным участием «Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения» (24–26 ноября 2021 г., г. Новосибирск) и VIII Международном научном конгрессе «Интерэкспо Гео-Сибирь-2022» (18–20 мая 2022 г., г. Новосибирск).

Результаты исследования внедрены в производственный процесс ООО НПО «Экологическая безопасность» при проведении лесоустроительных работ,

а также в учебный процесс федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» при преподавании дисциплин «Основы тематической картографии» и «Тематическое картографирование».

Публикации по теме диссертации. Основные теоретические положения и результаты исследований представлены в шести научных статьях, из которых три – в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.

Структура и объем работы. Общий объем диссертации составляет 141 страницу печатного текста. Диссертация состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка литературы, включающего 130 наименования, содержит 20 таблиц, 31 рисунок, 4 приложения

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы его цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту, приведены сведения о достоверности и апробации полученных результатов, а также структура диссертации.

В первом разделе диссертации проведен анализ современного состояния геоинформационного картографирования лесного хозяйства. Исследованы современные отечественные технологии, применяемые при составлении карт лесного хозяйства, выявлены их особенности, достоинства и недостатки. Проанализированы геоинформационные программные продукты и мобильные технологии, используемые отечественными лесоустроительными предприятиями при картографировании лесного хозяйства. Рассмотрены современные зарубежные технологии картографирования лесного фонда, а также программные продукты, которые применяются при сборе геопространственной информации о лесах и их картографировании, в том числе мобильные ГИС.

В ходе исследования сделан вывод о том, что разработка и внедрение новой методики геоинформационного картографирования лесного хозяйства, обеспечиваю-

щей переход от использования бумажных ортофотопланов на полевом этапе лесоустроительных работ к применению мобильных ГИС, является началом нового этапа развития отечественной лесной картографии. Разработка такой методики потребовала проведения обширных исследований, касающихся не только программного обеспечения, но и процесса лесоустройства, нормативно-правовой базы, регламентирующей составление карт лесного хозяйства, особенности создания различных видов карт лесного хозяйства, методов оценки их качества, а также апробации.

Во втором разделе диссертации изучены различные виды карт лесного хозяйства, составляемых в процессе лесоустроительных работ. Рассмотрена нормативно-правовая база, определяющая требования к картам лесного хозяйства, порядку их составления и оформления для того, чтобы карты, составленные на основе разрабатываемой методики, соответствовали данным требованиям. Исследованы различные источники для составления карт лесного хозяйства и определены основные требования к ним. Выполнена оценка целесообразности внедрения мобильных технологий на полевом этапе лесоустройства посредством проведения экспериментальных работ. На рисунке 1 представлена принципиальная схема проведения экспериментального исследования.

На основании анализа результатов экспериментальных работ сделан вывод о том, что наблюдается значительное снижение временных затрат, что говорит о более высокой эффективности применения мобильных ГИС на этапе полевого контурного дешифрирования по сравнению с бумажными ортофотопланами. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности отказа от бумажной картографической продукции на полевом этапе лесоустроительных работ в пользу мобильных ГИС и подтверждают актуальность темы диссертационного исследования.

Разработанная методика геоинформационного картографирования лесного хозяйства отвечает требованиям современного потребителя, для которого знания – основная ценность. Внедрение геопространственных знаний в лесную картографию позволяет создавать карты, предназначенные для решения конкретных задач лесохозяйственной отрасли. В существующую классификацию лесных планово-картографических материалов, предложено включить новый вид лесных карт – лесные карты, содержание которых дополнено геопространственными знаниями.

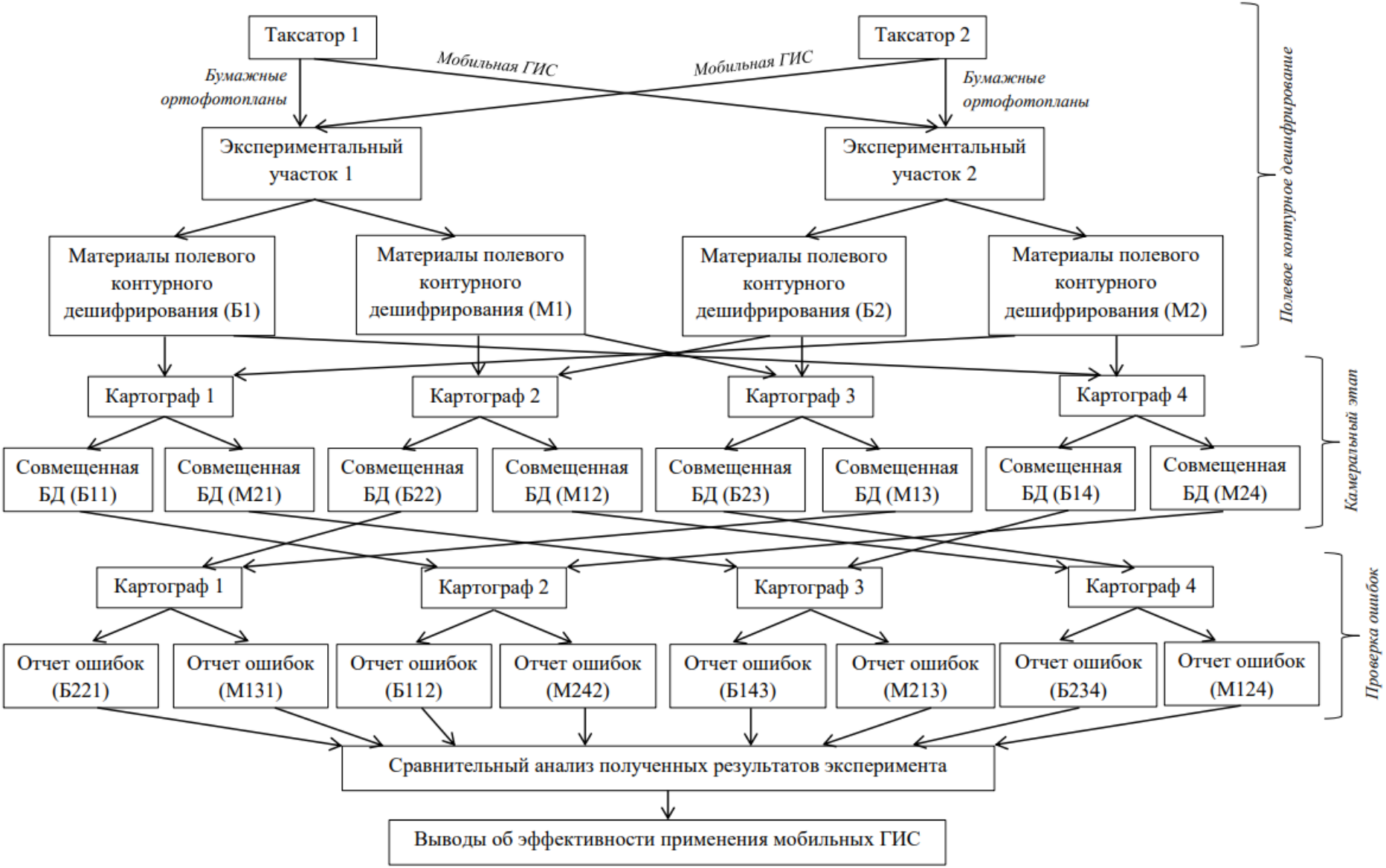

Рисунок 1 – Принципиальная схема проведения экспериментального исследования

Такие карты в настоящее время не входят в перечень обязательных при проведении лесоустроительных работ, однако могут создаваться по заказу лесничеств, арендаторов и т. д. для решения конкретных геопространственных задач, связанных с планированием различных мероприятий, непосредственным ведением лесохозяйственной деятельности и т. п. не только в ходе лесоустройства, но и независимо от него.

Карты лесного хозяйства, содержащие геопространственные знания, представляют собой одну из форм представления геопространственных знаний, ориентированную на оперативность и качество решения различных задач и принятия управленческих решений в сфере лесного хозяйства.

Разработан алгоритм формирования геопространственных знаний (ГПЗ) для предприятий лесного хозяйства состоящий из пяти основных этапов, представленный на рисунке 2.

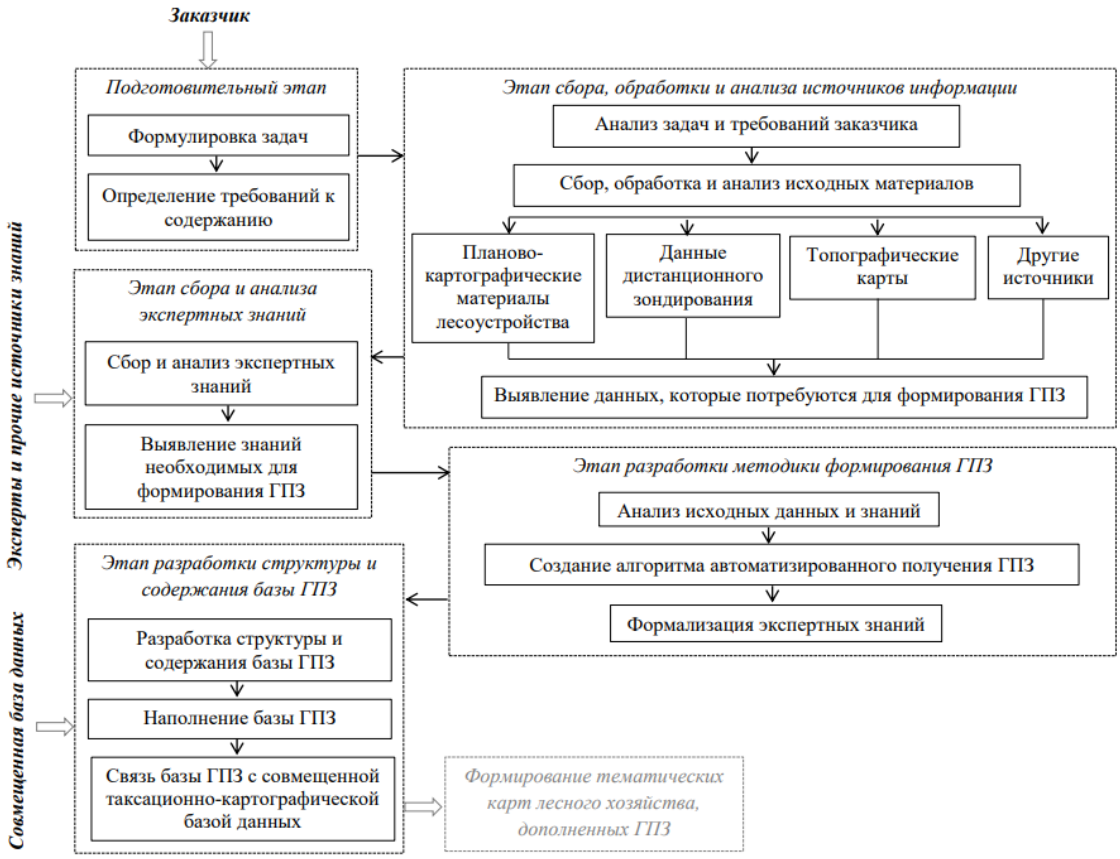

Рисунок 2 – Алгоритм формирования базы геопространственных знаний для создания карт лесного хозяйства, дополненных геопространственными знаниями

Следует отметить, что формализованные экспертные знания в нашем случае представляют собой знания, которыми располагает инженер-таксатор.

В формуле формализованно представлен разработанный способ формирования геопространственных знаний, основанный на соотнесении фактографической и пространственной информации с экспертными знаниями:

$$\left(\left(\{a_1; a_2; \dots\} \cup \{b_1; b_2; \dots\} \cup \dots \cup \{n_1; n_2; \dots\}\right) \cap \{Ze_1; Ze_2; \dots\}\right) \in A = \\ = \{Zg_1; Zg_2; \dots\}, \quad (1)$$

где $\{a_1; a_2; \dots\}, \{b_1; b_2; \dots\}, \dots, \{n_1; n_2; \dots\}$ – информация и данные разных типов;

$\{Ze_1; Ze_2; \dots\}$ – экспертные знания;

$\{Zg_1; Zg_2; \dots\}$ – геопространственные знания;

A – участок местности.

Выявлен ряд особенностей формирования геопространственных знаний для их дальнейшего отображения на тематических лесных картах:

– при формировании геопространственных знаний используется совмещенная таксационно-картографическая база данных, созданная в ходе проведения последних лесоустроительных работ;

– источниками фактографической информации могут служить различные планово-картографические материалы, данные дистанционного зондирования, таксационные описания и т. п.;

– первичные знания могут быть получены не только непосредственно от экспертов, но и из разнообразных лесных справочников, энциклопедий и т. п.;

– карты лесного хозяйства, дополненные геопространственными знаниями, создаются на основе базы геопространственных знаний, которая формируется в той же ГИС-среде, в которой и совмещенная таксационно-картографическая база данных.

В ходе исследования сделан вывод о том, что разработанная методика геоинформационного картографирования лесного хозяйства решает такие задачи как переход на мобильные ГИС на полевом этапе лесоустройства, возможность внедрения современных и актуальных источников информации, а также создания карт лесного хозяйства, дополненных геопространственными знаниями.

В третьем разделе диссертации изложена разработка и апробация методики составления картографической продукции для лесохозяйственной отрасли с применением мобильных технологий, а также проведена оценка экономической эффективности внедрения разработанной методики.

Технологическая схема, раскрывающая суть предложенной методики, представлена в виде алгоритма на рисунке 3. Красным цветом на схеме выделены авторские процессы, разработанные в ходе диссертационного исследования.

Следует отметить основные особенности разработанной методики:

– применение мобильных ГИС на полевом этапе позволяет вносить изменения в совмещенную таксационно-картографическую базу данных на местности, что сокращает временные затраты на камеральном этапе;

– векторизация и актуализация планово-картографических материалов предыдущего лесоустройства проводится до полевого этапа лесоустройства, обеспечивая таксатора актуальной топографической информацией;

– обновление лесных карт в ходе повторного лесоустройства по предложенной методике исключает этап подготовки исходных материалов;

– возможность создания карт лесного хозяйства, дополненных геопространственными знаниями, предназначенных для решения разнообразных задач, связанных с лесным фондом;

– база геопространственных знаний, на основе которой составляются лесные карты, заполняется при помощи алгоритмов, основанных на соотнесении информации и формализованных экспертных знаний;

– разработанная методика может применяться в различном программном обеспечении, что делает ее более адаптивной.

В ходе исследования предложены следующие технологические решения.

В качестве программного обеспечения рекомендуется использовать мобильные ГИС, построенные на базе технологий ArcGIS, имеющие возможности сбора и редактирования пространственных данных, например, CarryMap Builder – мобильная ГИС с открытым программным кодом.

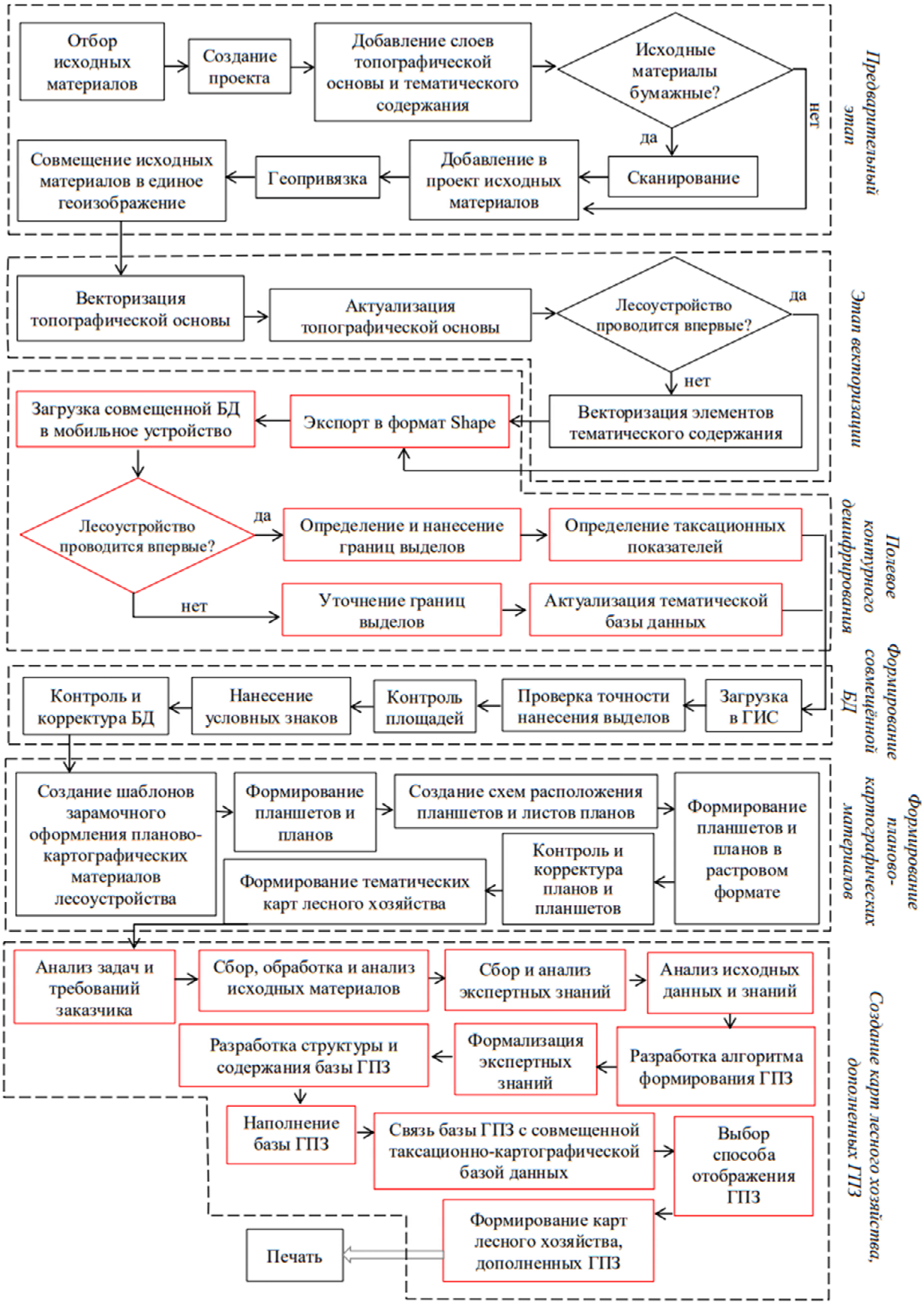

Рисунок 3 – Технологическая схема создания карт лесного хозяйства

Для проведения полевого контурного дешифрирования следует выбирать устройство – планшетный компьютер, имеющий влаго- и ударозащитный корпус, позволяющий работать в условиях повышенной влажности, а также экстремально высоких и низких температур. Помимо этого, важным параметром при выборе устройства является емкость аккумуляторной батареи, от которой во многом зависит время его автономной работы. Также диагональ экрана планшетного компьютера должна составлять не менее 8 дюймов и быть совместимым со стилусом для удобства ввода графической информации. Обязательными требованиями также являются наличие слота для сим-карты, карты памяти, встроенных систем навигации и камеры для фото- и видеосъемки. Операционная система устройства и его технические характеристики, такие как мощность процессора, объем оперативной памяти и т. п. должны удовлетворять минимальные требования выбранной мобильной ГИС.

В процессе проведения полевых работ проводится сбор дополнительных данных – фотографических и видеоматериалов, позволяющих зафиксировать какие-либо особенности территории, её основные характеристики, а также упростить процесс камеральной обработки материалов полевого этапа.

При помощи мобильного устройства фиксируются координаты объектов.

Для сокращения производственных затрат пробная печать карт лесного хозяйства не проводится, а редакторский контроль выполняется на основе материалов в растровом формате представления данных, например, .jpg, .tiff или .png.

Геопространственные знания формируются на основе соотнесения фактографической и пространственной информации с экспертными знаниями по разработанным алгоритмам, реализованным в том же программном обеспечении, что и совмещенная база данных, при помощи SQL-запросов. Результат, полученный в процессе формирования геопространственных знаний, зависит от алгоритма, на основе которого он был получен. Алгоритмы формирования геопространственных знаний могут быть различными и зависят, прежде всего, от задач, которые будут решаться по составляемой карте.

Апробация разработанной методики и технологических решений выполнялась в процессе лесоустроительных работ, проводимых ООО НПО «Экологическая безопасность», на территорию лесов г. Новосибирска в 2020 г., а также в 2021 г. на территории Березовского лесничества Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, что позволило оценить эффективность применения предложенной методики в различных природных, климатических и инфраструктурных условиях.

В ходе полевых работ участниками апробации территории Березовского лесничества Ханты-Мансийского автономного округа – Югры выявлены две существенные трудности при применении предложенной методики:

– ввиду удаленности территории от населенных пунктов, большая ее часть находилась вне зоны покрытия сотовой связи, что значительно снижало точность определения координат и, как следствие, точность нанесения границ выделов на карту;

– при многодневной работе на больших расстояниях от базового лагеря, ресурсов аккумуляторов устройства недостаточно, а емкости портативных зарядных устройств 60 000 мАч хватало не более чем на 8 циклов полного заряда. По этой причине часть материалов апробации предоставлена для дальнейшей камеральной обработки в бумажном виде что сделало невозможной дальнейшую корректную оценку их точности.

При этом, никаких проблем при проведении работ на территории лесов г. Новосибирска выявлено не было. Поэтому дальнейшая оценка эффективности методики проводилась только для материалов, полученных по результатам работ на территории лесов г. Новосибирска.

Для оценки эффективности предложенной методики проведен анализ отчетов о выявленных в ходе редакторского контроля ошибок. Сделан вывод о том. что при применении предложенной методики существенно меняется не только количество выявленных ошибок, но и их характер. При применении предложенной методики практически исключены семантические и таксационные ошибки.

Результаты апробации предложенной методики свидетельствуют о том, что время, затраченное на полевое контурное дешифрирование, увеличивается при-

мерно на 17 %, однако временные затраты на камеральном этапе, включающем формирование планово-картографических материалов лесоустройства, уменьшается в 4 раза, а с учетом времени, затраченного на устранение ошибок, – в 3,5 раза. Общие временные затраты при применении предложенной методики сокращаются примерно на 24 %, что свидетельствует о ее наилучшей эффективности по сравнению с существующей методикой.

По итогам камеральной обработки материалов полевых работ были составлены лесные планово-картографические материалы на территорию лесов г. Новосибирска.

В процессе исследования составлена карта хозяйственно-возможного сбора пищевых лесных ресурсов, представленная на рисунке 4, отображающая геопространственные знания о местах сбора пищевых лесных ресурсов, которая входит в перечень карт лесного хозяйства, предусмотренных техническим заданием, но при этом содержит геопространственные знания. Система условных обозначений карты представлена в таблице 1.

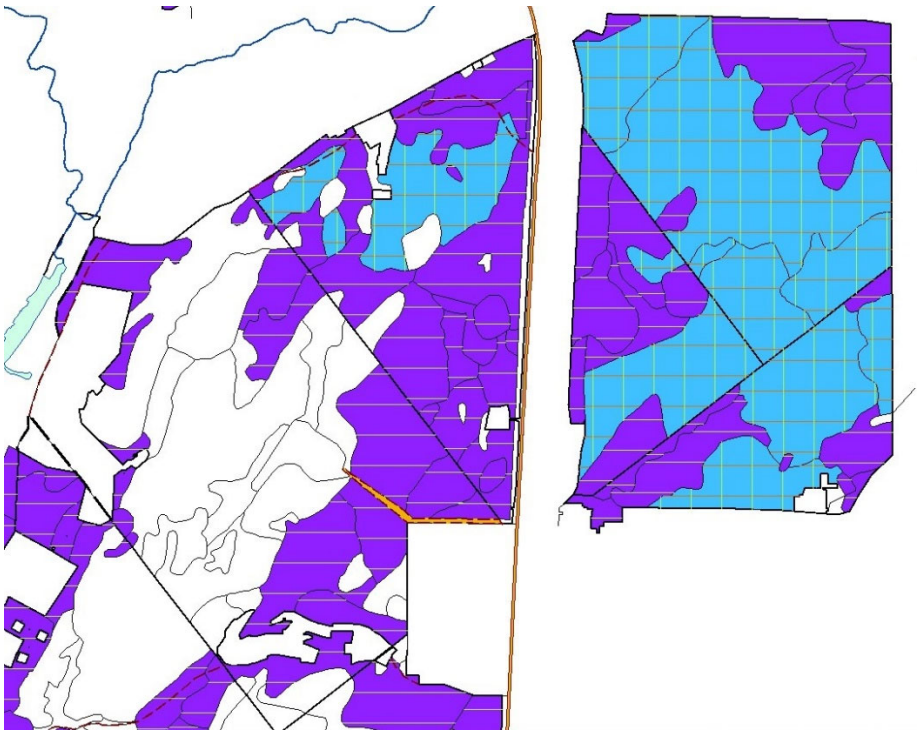

Рисунок 4 – Фрагмент карты лесного хозяйства, содержащей геопространственные знания о местах сбора пищевых лесных ресурсов

Таблица 1 – Система условных обозначений карты хозяйственно-возможного сбора пищевых лесных ресурсов

Наименование	Изображение		
	I	II	III
Смородина			
Грибы трубчатые			
Черника			
Брусника			

При составлении таких карт в настоящее время геопространственные знания вносятся в таблицы вручную, отдельно для каждого объекта лесоустройства, а предложенная методика подразумевает создание одной базы геопространственных знаний для карт, предназначенных для решения одних и тех же задач, которая может быть применена практически на любую территорию определенной природной зоны. Геопространственные знания в этом случае формируются автоматически в среде ГИС при помощи разработанного алгоритма в форме SQL-запроса, который соотносит информацию о типах растительности и особенностях территории с экспертными знаниями о типичных местах произрастания пищевых лесных ресурсов.

Экспертные знания о типичных условиях произрастания пищевых лесных ресурсов были формализованы и представлены в табличной форме. В таблице 2 приведены знания о типичных местах произрастания дикорастущей промысловой продукции.

На рисунке 5 представлена структура разработанной базы геопространственных знаний.

Подобным образом можно создавать разнообразные карты, дополненные геопространственными знаниями, например, об участках леса, наиболее пригодных для рубки деревьев при заготовке дровяной древесины, и т. д.

Таблица 2 – Типичные места произрастания пищевых лесных ресурсов

Пищевой лесной ресурс	Типичные места произрастания	Экспертные знания в формализованном виде в форме SQL-запроса
Орех кедровый	Лес кедровый	Mr1=«К»; Mr2=«К», Mr3=«К»
Клюква	Болото сфагновое	Zk = 2507, затем из новой таблицы Dm12 = « 02» Or Dm12 = « 03»
Брусника	Лес кустарничково-лишайниковый, мохово-лишайниково-кустарничковый, багульниково-брусничный, лишайниковый и лишайниково-брусничный	Mtip = «КЛШ» Or Mtip = «МЛК» Or Mtip = «БГБР» Or Mtip = «ЛШ» Or Mtip = «ЛБР» Or Mtip = «ЛШБР»
Грибы трубчатые	Все типы леса	Mtip = "КЛШ" Or Mtip = "МЛК" Or Mtip = "БГБР" Or Mtip = "ЛШ" Or Mtip = "ЗМЯГ" Or Mtip = "БРБГМ" Or Mtip = "ЛБР" Or Mtip = "ЗММТ" Or Mtip = "П" Or Mtip = "ДМХВ" Or Mtip = "ЛШБР"
Смородина	Лес пойменный, кустарничково-лишайниковый, мохово-лишайниково-кустарничковый, лишайниковый, зеленомошно-ягодниковый, зеленомошно-мелкотравный, долгомошно-хвощовый, логовой, приручьевый	Mtip = "КЛШ" Or Mtip = "МЛК" Or Mtip = "ЛШ" Or Mtip = "ЗМЯГ" Or Mtip = "ЗММТ" Or Mtip = "П" Or Mtip = "ДМХВ" Or Mtip = "ЛОГ" Or Mtip = "ПР"
Черника	Лес зеленомошно-ягодниковый и зеленомошно-мелкотравный	Mtip = "ЗММТ" Or Mtip = "ЗМЯГ"
Голубика	Лес багульниково-голубично-брусничный	Mtip = "БГГБР"
Морошка	Лес сфагновый и бруснично-богульниково-моховой	Mtip = "СФ" Or Mtip = "БРБГМ"

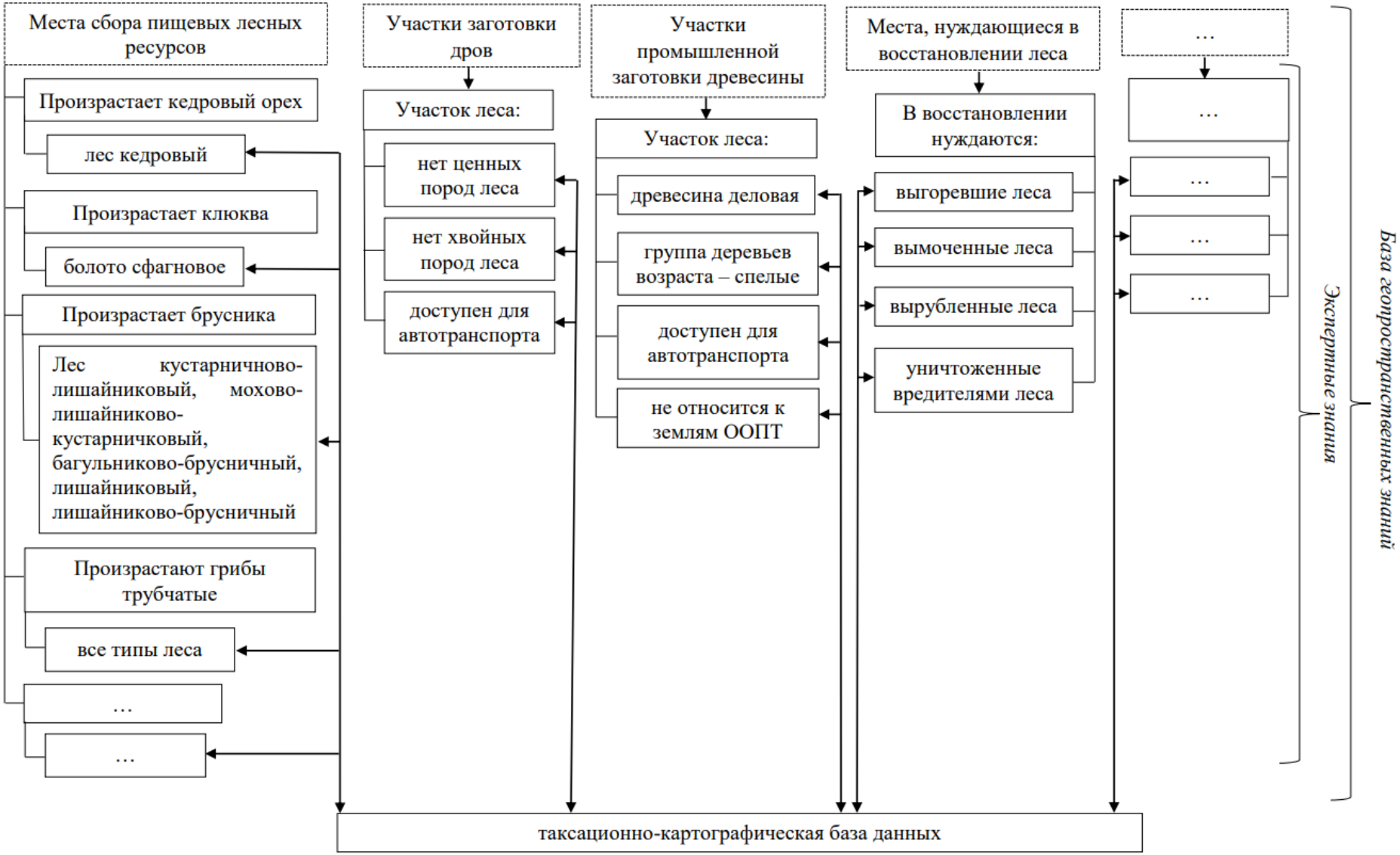

Рисунок 5 – Структура базы геопространственных знаний

Также проведена оценка экономической эффективности внедрения разработанной методики. Для этого учтены затраты на заработную плату специалистов и приобретение оборудования.

На основании этого сделан вывод о достаточной экономической эффективности разработанной методики за счет сокращения расходов на камеральном этапе. Кроме того, при оценке не учитывалось сокращение расходов за счет отказа от печати материалов для полевого этапа. При этом следует отметить, что сокращение временных затрат на камеральном этапе позволит предприятию выполнять больший объем работы и получать наибольшую прибыль.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования достигнута его цель – разработана методика геоинформационного картографирования лесного хозяйства с применением мобильных технологий, позволяющая ввести в производственный цикл электронную документацию на этапе проведения полевых работ и дополнить содержание карт лесного хозяйства геопространственными знаниями.

Основные результаты исследования заключаются в следующем:

– выполнен анализ состояния геоинформационного картографирования лесного хозяйства в России и за рубежом, который выявил перспективные направления развития и показал, что существующие методики не способны полностью удовлетворить требования потребителя, а разработка новой современной методики требует проведения обширных исследований;

– исследованы особенности картографирования лесного хозяйства, виды карт лесного хозяйства, содержание которых необходимо дополнить геопространственными знаниями, а также источников для их составления и требований к ним, что позволило расширить существующую классификацию карт лесного хозяйства картами, содержащими геопространственные знания, а также разработать прототип базы геопространственных знаний, содержащей формализован-

ные экспертные знания и позволяющей впоследствии отказаться от привлечения таксатора на камеральном этапе лесоустройства;

– выполнена оценка целесообразности внедрения мобильных технологий на полевом этапе лесоустроительных работ, которая показала снижение количества ошибок с учетом их значимости, значительное сокращение временных затрат, что говорит о более высокой эффективности применения на полевом этапе мобильных ГИС по сравнению с бумажными ортофотопланами;

– сформулировано понятие и предложен новый вид карт лесного хозяйства – карты лесного хозяйства, создаваемые с использованием мобильных технологий и дополненные геопространственными знаниями, которые создаются на основе базы знаний, содержащей алгоритмы для формирования геопространственных знаний на основе формализованных экспертных знаний и различных видов информации и данных;

– разработана методика геоинформационного картографирования лесного хозяйства с применением мобильных технологий, содержащая подробное описание всех этапов создания лесных планово-картографических материалов, технологическую схему и технологические решения, которые позволяют оптимизировать процесс лесоустройства и создавать карты лесного хозяйства, содержание которых дополнено геопространственными знаниями, позволяющие повысить эффективность решения различных задач и управленческих решений, касающихся лесного фонда и лесохозяйственной отрасли;

– проведена апробация разработанной методики геоинформационного картографирования лесного хозяйства с применением мобильных технологий и дана оценка полученных результатов исследования, которая показала высокую эффективность применения предложенной методики на территориях с устойчивой сотовой связью, например, городских лесов и лесов, расположенных в относительной близости от населенных пунктов.

Результаты диссертационного исследования могут использоваться при создании карт лесного хозяйства в процессе лесоустроительных работ, а также при

составлении тематических карт лесного хозяйства, содержание которых дополнено геопространственными знаниями, предназначенных для решения различных задач в сфере лесного хозяйства. Внедрение результатов исследования в процесс производства карт лесного хозяйства позволит не только осуществить переход на электронный документооборот на полевом этапе лесоустройства, но и расширить ассортимент карт лесного хозяйства за счет их дополнения геопространственными знаниями. База геопространственных знаний позволит формировать геопространственные знания на основе формализованных экспертных знаний, разных типов информации и пространственных данных на основе разработанных для каждого вида лесных карт специальных алгоритмов.

Направлениями дальнейших исследований по данной тематике являются разработки в области полного перехода на электронный документооборот, касающиеся, в том числе, нормативно-правовой базы лесоустроительных работ. Необходимо внесение изменений в нормативно-правовые акты, регламентирующие состав сведений, содержащихся в картах лесного хозяйства, которое закрепило бы правовой статус карт лесного хозяйства, содержащих геопространственные знания. Большие перспективы для развития способов внесения таксационных характеристик в таблицы совмещенной таксационно-картографической базы данных открывают встроенные в мобильные устройства голосовые помощники и функции голосового ввода информации.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАНЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Лебзак, Е. В. Разработка методики геоинформационного картографирования лесного хозяйства с применением мобильных технологий / Е. В. Лебзак, С. С. Янкелевич. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27. – № 1. – С. 86–96. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-1-86-96.

2 Лебзак, Е. В. Геопространственные знания в пространственном развитии территорий на примере лесохозяйственной отрасли / Е. В. Лебзак, С. С. Янкеле-

вич. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 3. – С. 123–133. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-3-123-133.

3 Лебзак, Е. В. Апробация методики геоинформационного картографирования лесного хозяйства с применением мобильных технологий / Е. В. Лебзак. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 4. – С. 100–111.– DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-100-111.

4 Лебзак, А. О. К вопросу отображения геопространственных знаний на тематических картах / А. О. Лебзак, Е. В. Лебзак, С. С. Янкелевич. – Текст : непосредственный // Сборник материалов V Национальной научно-практической конференции «Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения» 24–26 ноября 2021 г. в 2 ч. – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. Ч. 2. – С. 128–135. – DOI 10.33764/2618-8031-2022-2-128-135.

5 Лебзак, Е. В. Совершенствование методики создания картографической продукции для лесохозяйственной деятельности / Е. В. Лебзак, С. С. Янкелевич. – Текст : непосредственный // Сборник материалов V Национальной научно-практической конференции «Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения» 24–26 ноября 2021 г. в 2 ч. – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. Ч. 2. – С. 136–142. – DOI 10.33764/2687-041X-2022-2-136-142.

6 Лебзак, Е. В. Современные проблемы и направления развития лесной картографии // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. Т. 1. – С. 198–205. – DOI 10.33764/2618-981X-2022-1-198-205.