

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

На правах рукописи

Лебзак Евгений Викторович



Разработка методики геоинформационного картографирования лесного
хозяйства с применением мобильных технологий

1.6.20. Геоинформатика, картография

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель –
кандидат технических наук, доцент
Янкелевич Светлана Сергеевна

Новосибирск – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА	10
1.1 Современное состояние геоинформационного картографирования лесного хозяйства в России	10
1.1.1 Современные российские технологии геоинформационного картографирования лесного хозяйства	10
1.1.2 Анализ программных продуктов, применяемых в России для геоинформационного картографирования лесного хозяйства	18
1.1.3 Мобильные технологии, применяемые при картографировании лесного хозяйства в России	26
1.2 Современное состояние геоинформационного картографирования лесного хозяйства за рубежом	33
Выводы по разделу 1	42
2 ОСОБЕННОСТИ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА	45
2.1 Картографическая продукция для лесного хозяйства	45
2.1.1 Виды картографической продукции, составляемые для лесохозяйственной отрасли	45
2.1.2 Нормативно-правовые акты, регламентирующие требования, предъявляемые к картографической продукции, составляемой для лесохозяйственной отрасли	48
2.1.3 Источники для составления картографической продукции, применяемой в лесном хозяйстве	52
2.2 Оценка целесообразности внедрения мобильных технологий на полевом этапе лесоустройства	56
2.3 Геопространственные знания в картографировании лесного хозяйства	65
Выводы по разделу 2	74
3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ МОБИЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	76

3.1 Разработка методики составления карт лесного хозяйства с применением мобильных технологий	76
3.2 Разработка технологических решений составления картографической продукции для лесохозяйственной отрасли с применением мобильных технологий.....	81
3.3 Апробация результатов исследования	86
3.4 Оценка эффективности разработанной методики.....	105
3.4.1 Оценка результатов апробации разработанной методики.....	105
3.4.2 Оценка экономической эффективности предложенной методики.....	108
Выводы по разделу 3	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	115
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	118
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ.....	133
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) ЭКСПЕРТНАЯ АНКЕТА.....	138
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	139
ПРИЛОЖЕНИЕ Г (обязательное) АКТЫ О ВНЕДРЕНИИ.....	140

ВВЕДЕНИЕ

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 оперативно

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-практической 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.

1 ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

1.1 Современное состояние геоинформационного картографирования лесного хозяйства в России

1.1.1 Современные российские технологии геоинформационного картографирования лесного хозяйства

Прежде всего, следует определиться с понятием «лесное хозяйство». Согласно статье 12.1 Лесного кодекса РФ, под лесным хозяйством подразумеваются виды экономической и иной деятельности по использованию и сохранению лесов, а также по лесоустройству и управлению в области лесных отношений [52].

Большое значение для лесного хозяйства имеют карты, которые используются при планировании различных мероприятий и ведении лесохозяйственной деятельности.

Сложность леса как объекта картографирования заключается в том, что он представляет интерес как с точки зрения природного, так и социально-экономического изучения [74, 75].

Карты лесного хозяйства представляют собой картографические произведения, наглядно отображающие территориальную организацию лесохозяйственной отрасли, занимающейся изучением, учетом и воспроизводством лесов, их охраной от пожаров, болезней и вредителей, возобновлением и разведением лесов, а также регулированием лесопользования и повышением продуктивности лесов [75].

Карты лесного хозяйства, согласно принятой классификации, по тематике делят на общие и отраслевые карты лесного хозяйства, которые в свою очередь также подразделяются на группы [75], что показано на рисунке 1.

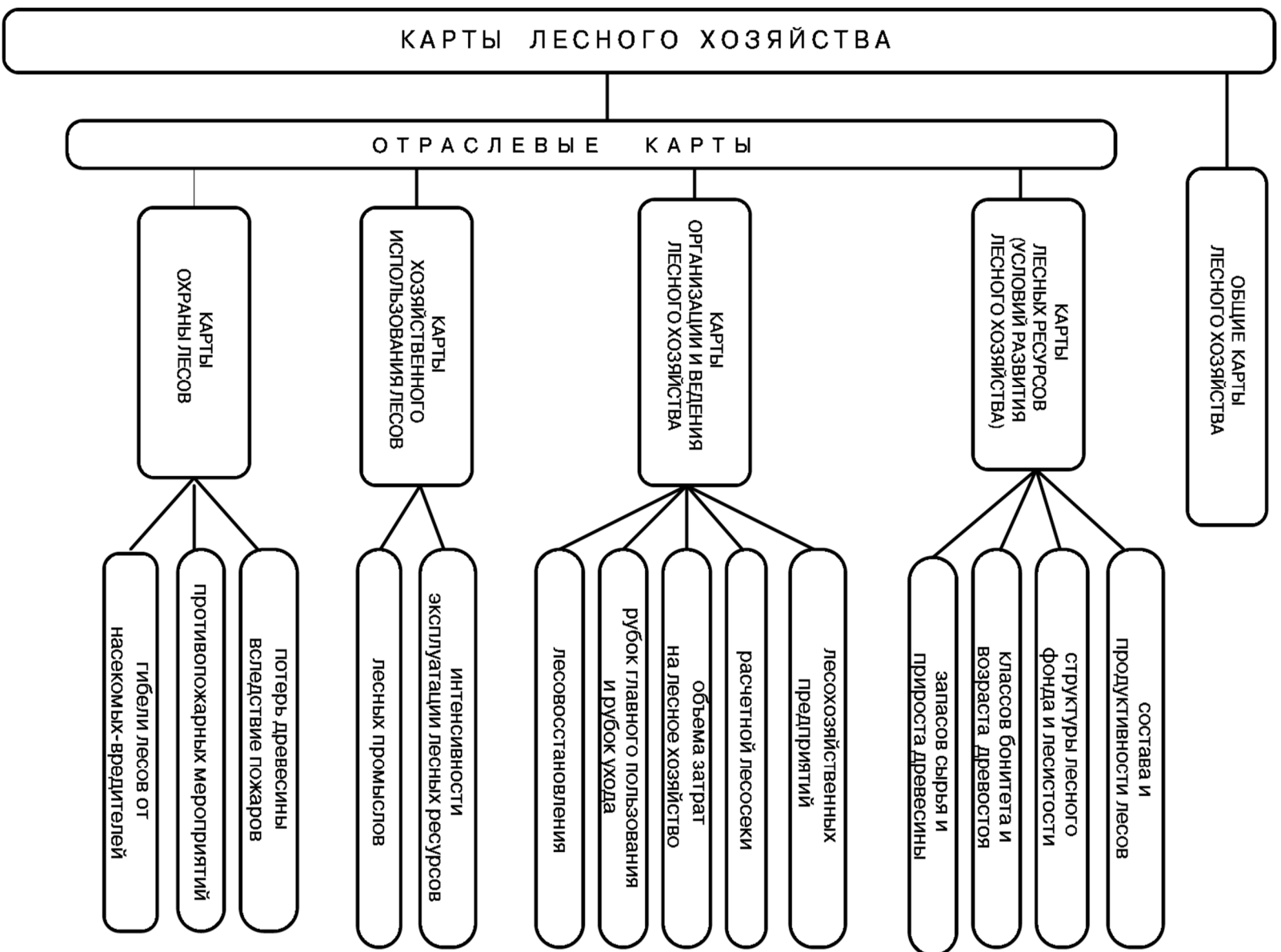


Рисунок 1 – Классификация карт лесного хозяйства по тематике

Все картографические материалы лесного хозяйства составляются на камеральном этапе лесоустройства на основе материалов, полученных в ходе полевого этапа. В общем виде лесоустроительные работы можно разделить на несколько этапов:

- подготовительный;
- полевой;
- камеральный [75, 98, 104].

В настоящее время выбор методики и технологии создания карт для предприятий лесохозяйственной отрасли зависит от вида лесоустройства [40, 100].

При проведении лесоустроительных работ впервые, перед составлением картографических материалов создается и утверждается проект квартальной и визирной сети [33, 82]. Источниками для составления карт в этом случае будут все доступные на картографируемую территорию планово-картографические материалы, такие как топографические карты, данные дистанционного зондирования Земли (космические и аэрофотоснимки, данные лазерного сканирования и т. п.), материалы землеустройства и т. п.

В случае повторного проведения лесоустройства, в том числе непрерывного, в качестве основного источника информации используются планшеты предыдущего лесоустройства [72]. Изменения вносятся на основании данных полевых работ и камерального дешифрирования космических и аэрофотоснимков. В ходе работ также проводится обновление топографической основы.

В таблице 1 приведены основные особенности создания картографической продукции для лесохозяйственной отрасли при проведении различных видов лесоустроительных работ [71].

Методы современного картографирования лесного хозяйства неразрывно связаны с ГИС-технологиями [20, 71, 73]. В таблице 2 приведены основные виды камеральных работ, выполняемые при создании совмещенной таксационно-картографической базы данных в ходе лесоустройства.

Таблица 1 – Особенности создания картографической продукции при проведении различных видов лесоустроительных работ

Вид лесоустройства	Характеристика лесоустройства	Особенности работ на местности	Особенности камеральных работ	Виды составляемых карт
Первичное	Впервые устраиваемые леса, освоение которых планируется в ближайшие 10–15 лет	Организация территории в натуре, прокладка квартальной и визирной сети, первичное разделение лесного фонда на выделы	Первичное деление лесного фонда на основе контурного дешифрирования и натурного обследования	Стандартный набор лесных карт
Повторное	В ранее устроенных лесах по истечении ревизионного периода	Обновление существующей квартальной сети, таксация выделов, затронутых хозяйственной деятельностью	Актуализация таксационных выделов, не охваченных хозяйственной деятельностью, камеральное дешифрирование материалов космо- и аэрофото съемки, планово-картографическая основа – планшеты предыдущего лесоустройства	Стандартный набор лесных карт
Непрерывное	Хозяйственным воздействием ежегодно затрагивается 1,5 % выделов и выше	Проводится после базового лесоустройства, ежегодная инвентаризация выделов лесного фонда, вовлекаемых в хозяйственную деятельность, а также пройденных пожарами, ветровалами и т. п.	Большая часть выделов не меняется, использование в качестве планово-картографической основы планшетов базового лесоустройства	Обновленные карты лесного хозяйства (обычно черно-белый план лесонасаждений) в объеме полных листов, либо фрагментарно на изменившуюся часть территории с заданной периодичностью или по требованию заказчика

Таблица 2 – Основные этапы камеральных работ, выполняемые при создании ГИС в ходе лесоустройства, и их содержание

№ п/п	Этапы работ	Содержание работ	Примечание
1	Создание таксационной БД, ввод данных таксации	– выполняется подбор нормативно-справочной информации; – внесение в БД данных с карточек таксационного описания; – контроль таксационной БД	Выполняется на основе материалов полевых работ
2	Создание картографической БД, векторизация исходных планово-картографических материалов	– определение точных границ объекта, на который выполняется лесоустройство; – выбор системы координат; – выбор масштаба; – определение необходимых слоев и их создание; – векторизация отсканированных планово-картографических материалов	Система координат чаще всего указана в техническом задании на лесоустройство, а масштаб зависит от разряда лесоустройства и регламентирован нормативно-правовыми актами
3	Создание совмещенной БД	– совмещение таксационной и картографической БД; – выполнение контроля связанных полигонов	Совмещение таксационной и картографической БД производится при помощи ГИС-идентификаторов
4	Редактирование совмещенной БД	– актуализация БД на основе материалов ДЗЗ; – контроль содержания слоев; – подготовка к печати	Материалы ДЗЗ, на основе которых производится актуализация совмещенной БД, указаны в техническом задании на лесоустройство
5	Анализ данных	– выборки по запросам; – создание тематических карт	Перечень создаваемых тематических карт и отчетов указан в техническом задании на лесоустройство
6	Представление результатов анализа	– печать карт, отчетов, таксационных описаний	Требования к оформлению печатных материалов лесоустройства регламентированы действующими нормативно-правовыми актами

Следует пояснить сущность совмещенной таксационно-картографической базы данных, состоящей из двух частей – таксационной и картографической. Таксационная часть базы данных содержит таксационные характеристики лесных объ-

ектов. Картографическая часть базы данных содержит графическую информацию, отражающую пространственное размещение объектов лесного хозяйства, представленную на топографической основе в определенной системе координат [70].

Лесохозяйственная отрасль одной из первых внедрила геоинформационные технологии в свои производственные процессы. На сегодняшний день ведется множество исследований в области разработки методик применения ГИС-технологий при картографировании лесонасаждений с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Наибольший интерес представляет лесохозяйственное картографирование, непрерывное картографирование леса, мониторинг лесов на основе космоснимков, оперативное картографирование лесных пожаров, оценка повреждений лесонасаждений вредителями [6, 9, 26, 43, 103].

ГИС-технологии позволяют повысить оперативность и точность картографирования лесонасаждений, а также автоматизировать многие процессы в ходе составления карт.

Следует подробнее рассмотреть методику составления картографических материалов для лесохозяйственной отрасли с применением ГИС-технологий, которая чаще всего применяется в настоящее время [32, 98].

Подготовительный этап – создание ортофотопланов на основе материалов предыдущего лесоустройства и данных дистанционного зондирования (космических снимков).

Полевой – выполняется полевое контурное дешифрирование – нанесение на бумажный ортофотоплан границ выделов либо их уточнение. Также на данном этапе производится литерация выделов.

Камеральный этап делится:

– на подготовку исходных материалов. На данном этапе производится сканирование исходных картографических материалов, создается проект, отсканированные картографические материалы приводятся к единой системе координат и единому масштабу, а затем совмещаются для получения единого изображения картографируемой территории;

– векторизацию картографических объектов. На данном этапе выполняется по-слойная векторизация основных элементов топографической основы и тематического содержания. Проводится совмещение картографической и таксационной баз данных. Выполняется контроль площадей объектов совмещенной базы данных;

– редактирование. На этом этапе создаются таблицы семантической информации (так называемые таксационные формулы), выполняется зарамочное оформление для будущих планшетов. Далее производится печать пробных экземпляров планшетов, их контроль и корректировка. Выполняется формирование многолистного плана участкового лесничества из планшетов со схемой расположения листов плана, а также создается схема расположения планшетов;

– создание тематических планов. Автоматизированное формирование при помощи SQL-запросов планов лесничества, окрашенных по породам, классам пожарной опасности и т. п.;

– печать [70].

Основной недостаток этой методики – использование бумажных материалов на полевом этапе лесоустройства – ортофотопланов, которые сначала подготавливаются картографами и печатаются в нескольких экземплярах, а затем, после выполнения полевого этапа лесоустроительных работ, сканируются, векторизуются и корректируются. Все это требует существенных материальных, трудовых и временных затрат.

На сегодняшний день, многие предприятия, занимающиеся лесоустройством, применяют в производственном процессе одновременно несколько различных программных продуктов, по причине недостаточной эффективности каждой из них в отдельности для выполнения всех производственных операций [86]. Некоторые идут по другому пути – применяют дополнительные модули для расширения функционала программного обеспечения.

Технологические подходы к созданию планово-картографической продукции, применяемые на российских предприятиях, выполняющих лесоустройство, можно разделить на три основные группы.

Первая группа характеризуется переложением традиционной технологии составления планово-картографических материалов при проведении лесоустройства на базу ГИС [86]. При этом сохраняются этапы проведения работ:

- создание планшета;
- сведение планшетов в план;
- сведение планов в схему традиционного нестандартного формата лесоустроительных планшетов и их черно-белого исполнения.

Основным недостатком такого технологического подхода является позднее выявление ошибок, вызванных некачественными исходными материалами, так как подразумевается сведение уже готовых планшетов.

Описанный подход был разработан и применялся на Северо-Западном лесоустроительном предприятии, и он также используется Воронежским лесоустроительным предприятием [86].

Вторая группа технологических подходов считается классической и характеризуется выполнением работ по следующей схеме:

- создание топографической основы на основе топографических карт и других данных;
- раздельное нанесение границ с различных источников (аэрофото- и космоснимков, планшетов предыдущего лесоустройства);
- геопривязка границ к топографической основе по опорным точкам и их взаимная увязка.

Неоспоримым достоинством такого технологического подхода является создание топографической основы до проведения полевых работ, что дает возможность выявлять несоответствия в исходных материалах на раннем этапе еще до нанесения границ выделов.

Однако существенным недостатком такого подхода является необходимость ручного сведения линий по границам раздельно векторизованных карт, снимков и прочих планово-картографических материалов. Помимо этого существует сложность выявления причин и принятия решений при разночтениях раздельно векторизованных источников.

Подобные технологические подходы применяются на Западно-Сибирском, Северном, Поволжском, Прибайкальском и других лесоустроительных предприятиях [86].

Третья группа технологических подходов отличается от предыдущих тем, что предусматривает трансформирование отсканированных исходных планово-картографических материалов на основе объединенных в единый слой растровых топографических карт. Границы выделов наносят по топографическим картам и геоданным, а отсканированные и трансформированные лесоустроительные планшеты предыдущего лесоустройства встраиваются в границы контуров.

Основное преимущество описанного технологического подхода – отсутствие необходимости сведения линий, так как векторизация всех объектов выполняется целиком, что существенно снижает временные затраты. При выявлении разночтений в исходных материалах при векторизации, специалистом выполняется анализ различных исходных планово-картографических материалов и принимается решение в пользу наиболее достоверного.

Такой подход был разработан в Центрлеспроекте на базе ГИС ТороL и используется также в Мослеспроекте [86].

Каждое предприятие, выполняющее лесоустроительные работы, вносит свои изменения во все описанные выше технологические подходы. Таким образом, технологические схемы каждого отдельного предприятия будут индивидуальными.

1.1.2 Анализ программных продуктов, применяемых в России для геоинформационного картографирования лесного хозяйства

На сегодняшний день в нашей стране нет единой лесной геоинформационной системы, к которой бы были подключены все лесничества [34]. Уровень внедрения ГИС-технологий зависит от субъекта – так, в Республике Коми можно официально приобрести различные данные в ГИС-формате, а в Ленинградской области до сих пор используется ГИС, написанная на давно не используемом языке программирования, а представительство компании-разработчика прекратило существование в еще начале 2000-х гг.

Рослесинфорг запустил геопортал «Использование лесов», позволяющий получить информацию о распределении лесного фонда по арендаторам на уровне кварталов, что говорит о стремлении государства к распространению ГИС [83].

Геоинформационные системы (ГИС) традиционно подразделяют:

- на настольные ГИС;
- мобильные ГИС-приложения;
- веб-ГИС.

Помимо них, в последнее время появляются совмещенные ГИС-продукты, включающие мобильную и настольную ГИС, работающие совместно.

Классификация программных продуктов, применяемых в нашей стране для геоинформационного картографирования лесного хозяйства, представлена на рисунке 2.

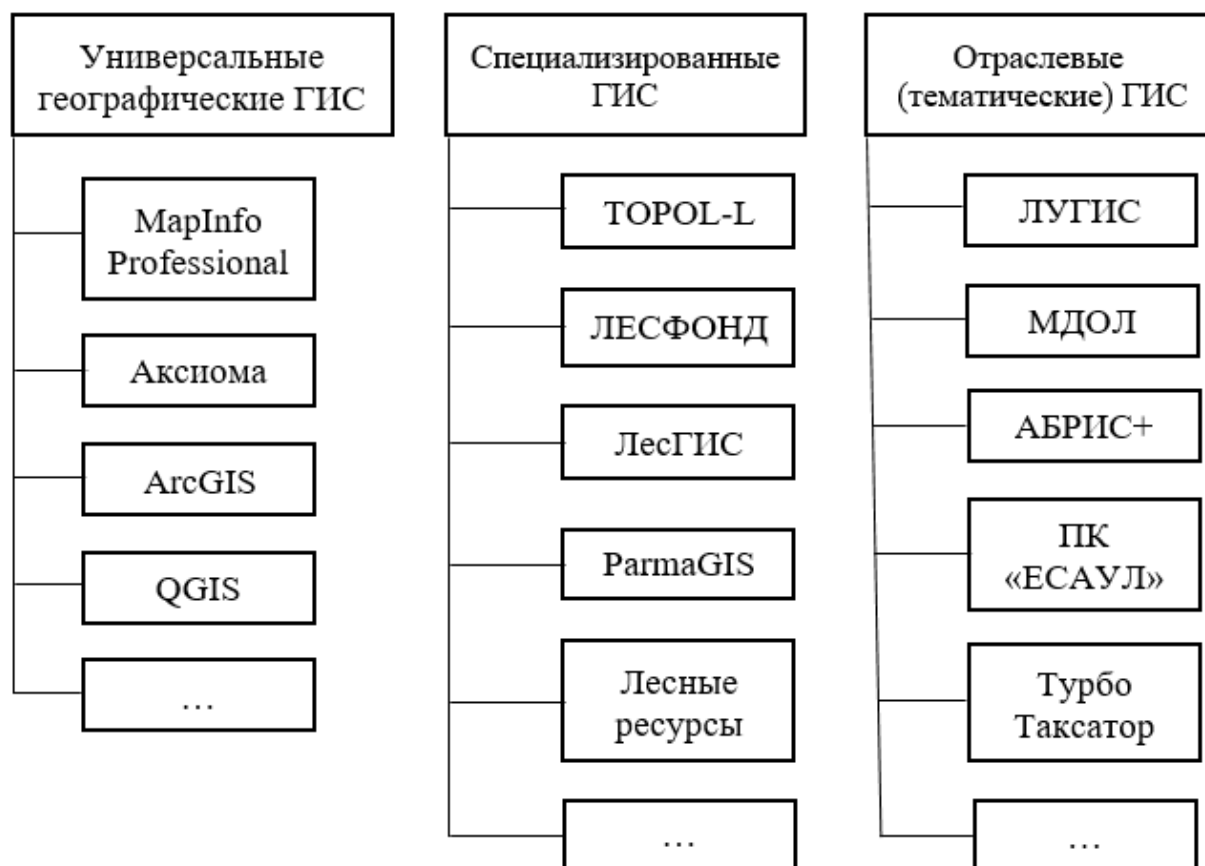


Рисунок 2 – ГИС, применяемые в нашей стране для геоинформационного картографирования лесного хозяйства

К ГИС общего назначения, применяемым при создании планово-картографических материалов при проведении лесоустроительных работ в России, относятся такие программные комплексы, как MapInfo, ArcGIS, QGIS и Аксиома.

Наибольшее распространение в лесоустройстве получила программа MapInfo Professional, являющаяся на сегодняшний день одной из самых популярных в России ГИС. Она является эффективным инструментом визуализации и анализа пространственной информации, что обуславливает ее применение практически во всех отраслях – от служб коммунального хозяйства и органов правопорядка до предприятий нефтегазовой отрасли и бизнеса.

Для лесоустройства особенно важно то, что MapInfo Professional позволяет автоматизировать процессы составления тематических карт лесного хозяйства, имеет возможности для пространственного анализа лесных ресурсов, а также является удобным инструментом для ведения совмещенной (таксационной и картографической) базы данных. Помимо этого, существенным достоинством является встроенный модуль программирования, обеспечивающий несложное создание дополнительных инструментов для решения повседневных рутинных задач [85].

Все вышесказанное объясняет популярность MapInfo Professional на предприятиях, занимающихся лесоустройством, лесопромышленным управлением на региональном и локальном уровне в производственном масштабе, в Западной и Восточной Сибири, Поволжье, Прибайкалье и Вологодской области. Также данный продукт активно используется Росреестром, многими региональными департаментами лесного хозяйства, а также недропользователями и другими хозяйствующими субъектами.

Наиболее функциональным и перспективным является ArcGIS, представляющий собой семейство программных продуктов, разработанных Институтом исследований систем окружающей среды (ESRI) [124].

Основные программные продукты семейства ArcGIS на данный момент – ArcGIS Pro, ArcGIS Enterprise и ArcGIS Online.

Самым передовым программным продуктом семейства является ArcGIS Pro, который представляет собой мощную настольную ГИС, которая значительно опережает конкурентов по своим функциональным возможностям. Это ГИС-приложение может применяться не только для картографирования, но и пространственного анализа в 2D-, 3D- и 4D-режимах. Кроме этого, ArcGIS Pro позволяет публиковать

данные в сети Интернет и обмениваться данными с другими пользователями через ArcGIS Online и ArcGIS Enterprise [124].

ArcGIS Online – веб-ГИС, позволяющая при помощи облачных технологий создавать, хранить и публиковать интерактивные карты, а также производить пространственный анализ данных [124].

ArcGIS Enterprise – сервис, предназначенный для создания веб-карт, а также аналитики и географического анализа. Он устанавливается на пользовательских серверах, что позволяет более надежно защитить данные от несанкционированного доступа. ArcGIS Enterprise включает в себя ГИС-сервер, портал и множеством разнообразных приложений.

ArcGIS можно отнести к совмещенным ГИС, так как в состав практически всех версий пакета программ включены мобильные ГИС-приложения. Ранее это была ArcPad – геоинформационная система для карманных портативных компьютеров, предназначенная для картографирования в полевых условиях, которая в настоящее время заменена на ArcGIS Field Maps, которая позволяет в полевых условиях производить сбор и редактирование данных, вносить в базу данных объекты и информацию о них, а также сохранять маршруты перемещения с указанием времени.

ArcGIS на сегодняшний день является мировым лидером по популярности среди всех существующих ГИС-продуктов [124], что объясняется мощным функционалом программ и наличием многочисленных дополнительных модулей, значительно расширяющих и без того огромный функционал.

Функционал программы позволяет использовать ее практически в любой сфере лесного хозяйства, начиная от лесоустройства, заканчивая лесопользованием [20].

Для целей лесоустройства ArcGIS представляет интерес, прежде всего, удобством уточнения границ лесничеств, разработки проектной документации лесных участков, а также проектов освоения лесов. ArcGIS позволяет подключать сервисы Росреестра и выгружать выписки из государственного лесного реестра, отчеты и планово-картографические материалы.

ArcGIS не так популярна в лесном хозяйстве, как MapInfo Professional, что можно объяснить прежде всего недостаточным уровнем подготовки пользователей картографической продукции. Но, несмотря на это, в России существует достаточный опыт применения программ линейки ArcGIS для решения задач в сфере лесного хозяйства. Так, например, Министерством лесного хозяйства Республики Башкортостан ArcGIS используется для отображения результатов финансового регулирования воспроизводства лесного фонда на территории региона. ФГУП «Рослесинфорг» создал на основе технологий ArcGIS корпоративную геоинформационную систему, применяемую для решения геопространственных задач в лесохозяйственной отрасли. Для лесоустройства, планирования и оценки рисков продукты семейства ArcGIS активно применяют в МГТУ им. Н. Э. Баумана. Группа компаний «Илим» выполняет анализ лесосырьевой базы и объектов лесной инфраструктуры при помощи ArcGIS [13].

QGIS – это очень популярная во всем мире свободная кроссплатформенная геоинформационная система, позволяющая создавать, редактировать, визуализировать, анализировать и публиковать геопространственную информацию. QGIS обладает практически всеми возможностями ГИС, упомянутых ранее, и пользуется популярностью у русскоязычных пользователей [14, 93].

Достоинством геоинформационной системы QGIS является то, что она распространяется бесплатно, что привлекает многих пользователей.

В лесном хозяйстве QGIS также нашла свое применение – на ее основе разрабатываются специализированные отраслевые геоинформационные системы, предназначенные для предприятий лесного хозяйства, например, «ParmaGIS» [69].

В связи со сложной геополитической обстановкой последнего времени, многие российские компании начали переход на программное обеспечение отечественного производства. Одной из наиболее перспективных российских геоинформационных систем на сегодняшний день является ГИС «Аксиома», разработчиком которой является ООО «ЭСТИ» – российская компания без иностранного участия. Ее главной особенностью является совместимость с отечественными операционными системами ALT Linux, Astra Linux, РОСА и РЕД ОС [60].

Функционал ГИС «Аксиома» позволяет выполнять стандартные для ГИС операции – создавать и редактировать пространственные данные, настраивать оформление объектов и слоев, получать информацию по объектам карты, использовать различные системы координат и проекции, осуществлять поиск и выборку объектов, выполнять запросы и т. д.

Большая часть инструментария ГИС «Аксиома» реализована аналогично MapInfo Pro, позволяет обеспечить легкий переход от использования MapInfo к ГИС «Аксиома», а совместимость форматов данных предоставляет возможность переноса проектов из одной программы в другую [60].

Также пользователи могут расширять функционал ГИС и добавить собственные модули в ГИС «Аксиома» при помощи языка программирования Python [60].

Все специализированные лесные ГИС можно классифицировать по назначению на ГИС для лесного хозяйства, лесоустройства и применения арендаторами. Кроме того, можно выделить узкоспециализированные и более функциональные лесные ГИС.

Наиболее узкоспециализированные ГИС – «ЛУГИС», «МДОЛ», «АБРИС+», ПК «ЕСАУЛ», «Турбо Таксатор», имеющие очень ограниченный функционал и предназначенные для решения узкоспециализированных задач [18].

Среди более функциональных лесных ГИС можно выделить наиболее популярные в России, к ним относятся ГИС «ТОРОЛ-L», «ЛЕСФОНД», «ЛесГИС», «ParmaGIS», «Лесные ресурсы». Рассмотрим каждую из них подробнее.

ГИС «ТОРОЛ-L» создана на базе ГИС ToroL (Чехия), отвечающей за картографическую часть и программной надстройки «ЛесИС» (L), предназначенной для работы с таксационными данными. «ЛесИС» является самодостаточным продуктом и может использоваться отдельно [17].

«ТОРОЛ-L» предназначена для организаций, занимающихся лесоустроительными работами, региональных лесных министерств и ведомств, центральных и участковых лесничеств, а также арендаторов лесного фонда, занимающихся созданием и актуализацией лесоустроительных баз данных.

Программа нацелена на решение задач непрерывного лесоустройства и позволяет производить практически любые виды работ с совмещенной базой данных лесоустроительной информации. ГИС «ТОРОЛ-L» позволяет анализировать простран-

ственную и атрибутивную информацию, хранящуюся в совмещенной базе данных, а также визуализировать результаты анализа, формируя тематические карты и диаграммы. Также существенным достоинством данной геоинформационной системы является возможность анализа данных дистанционного зондирования [17].

ГИС «ТОРОЛ-L» обладает мощным функционалом и применяется в 20 субъектах Российской Федерации.

Специализированная геоинформационная система, разработанная в Новосибирске на базе филиала ФГУП «Рослесинфорг» «Запсиблеспроект», – программный комплекс «ЛесГИС», который используется для получения актуальных данных о состоянии лесного фонда как в картографическом виде, так и в виде атрибутивной (таксационной) информации. «ЛесГИС» позволяет хранить совмещенные лесоустроительные базы данных, настраивать режим отображения карт, получать по выделенной информации, выполнять отвод лесосек и линейных объектов, а также проводить материально-денежную оценку лесосек, создавать отчеты по запросам. Следует отметить, что «ЛесГИС» создан на базе MapInfo и по факту является ее приложением, а не самостоятельным программным продуктом [12].

Достоинство этого программного комплекса – надежность и достаточно хорошее качество, практически исключая программные ошибки.

Недостатком ПК «ЛесГИС» является невозможность настройки программы под индивидуальные потребности каждого пользователя, а также часто возникающие сложности с выгрузкой данных и внесением изменений.

Еще одна недавняя отечественная разработка в области геоинформационных технологий для лесного хозяйства – ГИС «ParmaGIS», созданная в Пермском крае. В качестве картографической основы в «ParmaGIS» используется QGIS. Программный продукт обладает стандартным для специализированной лесной ГИС функционалом и позволяет выполнять проектирование лесохозяйственных мероприятий, вести учет лесного фонда, а также создавать планово-картографические материалы [69].

На сегодняшний день ГИС «ParmaGIS» эксплуатируется в тестовом режиме в Министерстве природных ресурсов, после которого планируется ее активное раз-

витие и внедрение [69]. Также выполняются работы по созданию приложения «ParmaGIS» для использования на мобильных устройствах.

Среди зарубежных ГИС, предназначенных для лесного хозяйства, в России особой популярностью пользуется белорусская ГИС ForMap «Лесные ресурсы».

ГИС «Лесные ресурсы» схожа по функционалу со многими отечественными специализированными лесными ГИС и предназначена для хранения, обработки и представления картографической и атрибутивной информации по лесничествам, а также составления отчетов по лесным ресурсам в форме тематических карт и таблиц [15].

Данная ГИС используется для непрерывного лесоустройства, учета лесного фонда, планирования лесохозяйственных мероприятий, подготовки лесосечного фонда, кадастровой оценки лесных земель и решения многих других задач [15].

В последние годы все большую популярность набирают Web-ГИС – геоинформационные системы, использующие для своей работы сервер с установленным приложением, к которому через сеть Интернет подключаются пользователи. К таким ГИС относится специализированная отраслевая ГИС для лесного хозяйства – «Лесфонд», которая является одной из наиболее универсальных лесных ГИС, существующих на сегодняшний день. Она дает возможность ведения базы данных лесничества, осуществления оперативного доступа к повыведельной информации, внесения в базу текущих изменений в лесном фонде, а также получения отчетных форм государственного лесного реестра и статистической документации [53].

Среди достоинств ГИС «Лесфонд» следует отметить возможность выполнения всего спектра работ, а также возможность изменения программы под индивидуальные требования заказчика.

Недостатком данной геоинформационной системы является сложность выгрузки данных и внесения изменений.

Наибольшее распространение ГИС «Лесфонд» получила на территории Свердловской области, так как была разработана в Екатеринбурге [53].

В таблице 3 представлен сравнительный анализ программных продуктов, применяемых в России при составлении карт лесного хозяйства.

Таблица 3 – Сравнительный анализ программных продуктов

Название программного продукта	Назначение ГИС	Веб-версия ГИС	Мобильное приложение
MapInfo Professional	общего назначения	–	–
ArcGIS	общего назначения	+	+
QGIS	общего назначения	–	–
Аксиома	общего назначения	–	–
ТОPOL-L	специализированная лесная ГИС	–	–
ЛесГИС	специализированная лесная ГИС	–	–
ParmaGIS	специализированная лесная ГИС	–	±
ГИС «Лесфонд»	специализированная лесная ГИС	+	+

1.1.3 Мобильные технологии, применяемые при картографировании лесного хозяйства в России

Мобильные технологии, шагнувшие далеко вперед за последние два десятилетия, упростили многие сферы жизни человека [36, 38]. На их базе сегодня работают системы позиционирования, производится сбор пространственной информации, выполняется полевое картографирование и многое другое [35, 37]. В настоящее время ведутся активные работы по внедрению в лесное хозяйство геоинформационных систем на базе мобильных технологий [10, 28, 29, 108, 110].

Внедрение мобильных технологий в процесс лесоустройства на этапе полевого контурного дешифрирования позволяет значительно ускорить и упростить процесс камеральной обработки материалов, созданных на этапе полевых работ, по причине исключения этапа векторизации, а также снизить материальные и трудовые затраты в целом [47, 50].

В нашей стране в некоторых лесоустроительных организациях уже произошел полный переход от бумажных ортофотопланов к использованию мобильных ГИС-приложений на этапе полевых работ. Однако эта практика не получила широкого распространения и носит единичный характер [89, 90], так как нет отработанной методики применения мобильных технологий в процессе лесоустройства.

На данный момент в России в лесном хозяйстве используется несколько специализированных мобильных ГИС-приложений – «Formar», мобильная «ГисЛес», «Лесфонд», «Field-Map» и «CarryMap Builder». В процессе исследования были изучены особенности и функционал каждой из этих мобильных ГИС для предприятий лесного хозяйства.

Программный комплекс «Formar», разработанный белорусским научно-производственным обществом с дополнительной ответственностью «БелИнвестЛес», включает в себя два основных программных продукта:

- специализированная лесная мобильная геоинформационная система, разработанная для мобильных устройств под управлением операционной системы Android;

- настольная специализированная лесная геоинформационная система, разработанная для использования на персональном компьютере с установленной операционной системой Windows.

Мобильная ГИС «Formar» обеспечивает доступ в полевых условиях к совмещенной базе данных, визуализацию местоположения на фоне совмещенной базы данных по лесничеству, космоснимков или других планово-картографических материалов без доступа к сети Интернет, вынос в натуру лесосеки, подготовленной в настольной ГИС «Formar», определение географических координат и запись точек с атрибутами, запись треков вручную и автоматически (по расстоянию или по времени), определение расстояний и азимутов, определение расстояний, площадей и периметров по треку, навигации, создание фото с привязкой к координатам [15].

Главным достоинством данной мобильной ГИС является возможность обработки данных геопозиционирования с GPS- и ГЛОНАСС-приемников, таких как Garmin, Trimble и т. п.

Недостатком ГИС «Formar» является невозможность внесения изменений в совмещенную базу данных, что делает ее совершенно бесполезной на полевом этапе лесоустроительных работ. Эта мобильная ГИС предназначена в основном для предприятий, занимающихся лесопользованием.

Еще одна белорусская разработка, применяемая в нашей стране, – мобильная «ГисЛес», которая позволяет получать пространственную информацию о лесных ресурсах в форме карт лесного хозяйства на мобильных устройствах под управлением «Android». «ГисЛес» отображает такие данные, как местоположение выдела и его таксационная характеристика, породный состав лесонасаждений, информация о проектируемых хозяйственных мероприятиях. Кроме того, есть возможность записи трека, планирования маршрутов на карте, а встроенный в мобильное устройство GPS-приемник позволяет определять местоположение и отмечать его на карте лесного фонда [59].

Специализированная мобильная геоинформационная система «ГисЛес» предназначена для предприятий лесопользования и не имеет функционала для внесения изменений в совмещенную по выделу базу данных.

Геоинформационная система «Лесфонд» разработана российской компанией ООО Научно-внедренческая фирма «ЛабМастер» и состоит из двух совместно работающих продуктов:

- геопортал;
- мобильное приложение [53].

Геопортал «Лесфонд» позволяет получать доступ к таксационной и картографической информации при помощи любого компьютера, имеющего доступ к сети Интернет. Также геопортал позволяет добавлять новые слои к проекту, настраивать их индивидуальное оформление, выполнять поиск по таксационным характеристикам, производить материально-денежную оценку лесонасаждений, выполнять контроль за исполнением различных поручений, обмениваться текстовой и графической информацией с сотрудниками, производящими полевые работы, распечатывать цветные и черно-белые карты и формировать типовые документы для лесничества или арендатора (абрис, декларация, характеристики лесного участка и т. п.), а также публиковать общедоступную информацию по объектам лесного фонда [53].

Мобильная ГИС «Лесфонд» обеспечивает удобный сбор лесоустроительной и прочей информации в полевых условиях, оперативную фиксацию нарушений лес-

ного законодательства с возможностью фотофиксации, навигацию по карте, а также обмен текстовой и графической информацией с диспетчером геопортала [53].

Ведение совмещенной базы данных в ГИС «Лесфонд» происходит по иерархии лесничество – районное лесничество – агентство лесного хозяйства по субъекту Федерации.

На сегодняшний день геоинформационная система «Лесфонд» является одной из наиболее функциональных специализированных отечественных мобильных ГИС. Она хорошо приспособлена для решения задач полевого этапа лесоустройства.

Пожалуй, наиболее популярной специализированной лесной мобильной ГИС на сегодняшний день является «Field-Map», разработанная специалистами Чешского института исследований лесных экосистем (IFER) [10].

«Field-Map» позволяет производить полевое дешифрирование космоснимков, добавление объектов в картографическую базу данных и их редактирование, инвентаризацию лесоустройства и статистическую инвентаризацию лесов, детальную съемку объектов лесного хозяйства (измерение профилей стволов, объемов и сортиментации деревьев, детальные измерения структуры лесных насаждений), измерения расстояний и площадей на карте, проектировать размещение пробных площадей и концентрических круговых пробных площадок с радиусом, определенным пользователем [10].

Основное преимущество ГИС «Field-Map» – возможность ее использования с различными электронными измерительными и навигационными приборами, что позволяет в режиме реального времени построить при помощи компьютера карту местности.

Недостатком является необходимость использования достаточно мощного полевого компьютера.

Помимо специализированных мобильных ГИС, в лесном хозяйстве при проведении полевых работ применяют мобильные ГИС общего назначения.

Одной из наиболее популярных мобильных ГИС является разработка компании Esri – ArcGIS Field Maps, которая предназначена для сбора данных, создания карт, определения положения и навигации [13].

На базе технологии ArcGIS различными компаниями создано немало мобильных геоинформационных систем, предназначенных в основном для сбора геоинформации в полевых условиях, а также визуализации полученных данных на картах. Все они позволяют создавать проекты, создавать и вносить изменения в картографические и атрибутивные базы данных, создавать запросы и получать отчеты, создавать различные планово-картографические материалы, производить пространственный анализ, обеспечивать навигацию и определение местоположения на основе встроенного GPS-приемника и запись маршрутов передвижения [13].

Технология «ArcGIS» применяется в лесном хозяйстве нечасто, однако имеет огромный потенциал. На его основе создано множество специализированных программ и приложений, которые применяются во многих отраслях, в том числе и в лесном хозяйстве, например, «CarryMap Builder».

Разработка отечественной компании Data East – бесплатное мобильное приложение «CarryMap Builder», позволяющее не только собирать геопространственные данные, но и создавать на их основе карты, применяется более чем в 45 странах мира в разных сферах деятельности, в том числе и в лесном хозяйстве. В нашей стране эта мобильная ГИС еще не пользуется особой популярностью [68]. Примером ее применения может служить опыт компании ООО «ПИН» из города Биробиджан, которая использует «CarryMap Builder» при комплексном лесном проектировании [84].

«CarryMap Builder» построено на базе ArcGIS, поэтому экспорт и импорт данных между ними не представляет затруднений. Приложение хорошо совместимо со многими другими настольными ГИС, поддерживает импорт и экспорт данных в форматы SHP, GeoPackage, KML и KMZ.

«CarryMap Builder» позволяет в офлайн-режиме создавать и редактировать слои и объекты карты, вносить атрибутивную информацию в базу данных, использовать навигацию, выполнять запросы по заданным параметрам, проводить измерения расстояний и площадей, записывать треки и применять внешние GPS-приемники от Bad Elf [68].

Особенностью данного приложения является способ добавления точечных объектов на карту при помощи камеры мобильного телефона – создается фото в точке наблюдения, а местоположение объекта определяется по координатам фотографии. Помимо этого, «CarryMap Builder» позволяет защищать карты от несанкционированного доступа, что очень важно при картографировании лесного хозяйства, так как материалы, используемые при лесоустроительных работах, предназначены для служебного пользования. Приложение также позволяет персонализировать карты, делая их узнаваемыми [68].

Проведенный анализ применяемых в лесном хозяйстве в России мобильных ГИС показал, что каждое мобильное ГИС-приложение имеет свои особенности, достоинства и недостатки, а если быть точнее, то каждая ГИС ориентирована на решение определенного круга задач.

Так, все рассмотренные мобильные специализированные лесные ГИС можно условно разделить на две группы:

- мобильные ГИС, предназначенные для лесопользования и управления лесными ресурсами;
- мобильные ГИС, предназначенные для поддержания актуальности баз данных лесного фонда.

Первые применяются лесничествами и министерствами лесного хозяйства региона, а вторые могут использоваться еще и лесоустроительными предприятиями.

Мобильные ГИС общего назначения имеют достаточно «гибкую» конфигурацию и могут быть успешно персонализированы под задачи лесного хозяйства.

При выборе мобильной ГИС для целей лесоустройства следует учитывать наличие в ней всего необходимого функционала для проведения полевых работ, такого как ввод и хранение аэро- и космических снимков, ввод и обработка геодезических данных, совмещение и обработка геодезических, картографических и аэрокосмических материалов, совмещение цифровых планово-картографических материалов и лесотаксационных баз данных для проведения их актуализации, ввод данных с систем геопозиционирования или электронных тахеометров, подготовка

совмещенных баз данных с возможностью пространственной визуализации запросов по лесотаксационным базам и выдачи документов пользователям согласно установленным формам, создание и тиражирование планово-картографических материалов лесоустройства и прочих карт лесного хозяйства, подготовка и печать материалов по запросам и т. д.

Кроме того, использование мобильных технологий на полевом этапе позволяет получать дополнительные фото и видеоматериалы, как показано на рисунке 3.



Рисунок 3 – Виды данных, получаемые при использовании мобильной ГИС

Также важным параметром при выборе мобильной ГИС является ее совместимость с настольной ГИС, применяемой на этапе камеральной обработки материалов лесоустройства.

При внедрении в процесс лесоустройства нового программного обеспечения – узконаправленной геоинформационной системы, часто возникает проблема полного отсутствия или недостаточного количества сотрудников предприятия, имеющих навыки работы с этим программным обеспечением. Очевидным решением данной проблемы кажется обучение персонала работе с внедряемой геоинформа-

ционной системой, что потребует не только значительных финансовых затрат, но и временных, к тому же может привести к практически полной остановке производственного процесса компании, что недопустимо.

Возможным решением этой проблемы может быть использование какого-либо геоинформационного продукта, обладающего интуитивным интерфейсом и имеющего возможности для работы на мобильных устройствах и необходимый функционал для проведения полевого контурного дешифрирования, например, CarryMap Builder. Бесплатный программный продукт, разработанный новосибирской компанией ООО «Дата Ист», предназначен для создания мобильных карт в офлайн-режиме. Данный программный продукт способен обеспечить эффективный сбор пространственной атрибутивной информации и полевое картографирование благодаря совместному использованию ГИС и GPS-технологий.

В Беларуси уже существуют предложения и разработки, касающиеся применения технологий ArcGIS, при актуализации лесного фонда при помощи мобильных технологий [15], однако они носят теоретический характер и не внедрены в производственный процесс.

Помимо программной составляющей применения мобильных ГИС-технологий в лесном хозяйстве, необходимо обязательно учитывать и аппаратную часть, так как мобильные технологии могут быть полезны только в случае внедрения эффективно функционирующего программно-аппаратного комплекса.

1.2 Современное состояние геоинформационного картографирования лесного хозяйства за рубежом

Во всех развитых странах современные методики картографирования лесных ресурсов связаны с ГИС-технологиями [123, 125]. Геоинформационные системы повсеместно используются Лесной службой США при осуществлении практически всех видов деятельности. Так, например, в штате Луизиана международная компания «Louisiana-Pacific» применяет ГИС при планировании мероприятий землеполь-

зования и лесопользования в районах с уникальной лесной экосистемой. Решения о проведении рубок производятся на основе ГИС-анализа, алгоритмы которого построены на основании научных фактов. ГИС позволяет моделировать последствия рубок на более чем столетие вперед [112].

При помощи ГИС создаются карты лесного хозяйства, тематические карты и графики, формируются различные отчеты, применяемые при планировании лесохозяйственных и прочих мероприятий.

В США Лесная служба идет в ногу с постоянно меняющимися технологиями. Новые карты лесного хозяйства дополняют QR-кодами, которые обеспечивают доступ к подробной информации о национальном лесе или заповеднике, изображенном на карте, при помощи любого смартфона, имеющего доступ к сети Интернет [112].

Недавно Лесной службой совместно с компанией Avenza Systems Inc. было выпущено мобильное приложение, которое позволяет получить бесплатный доступ к некоторым картам Лесной службы, однако карты из Национального лесного атласа доступны только за определенную плату [109].

В Канаде ГИС используется как Лесной службой при правительстве и ее местными подразделениями, так и компаниями, ведущими лесохозяйственную деятельность. Геоинформационные системы позволяют каждому из них создавать и обновлять свои базы данных. Обновление базы данных производится на основании материалов инвентаризации лесов, а также дистанционного зондирования.

При обновлении карт, предназначенных для отображения текущего состояния лесов в связи с лесозаготовками или лесными пожарами, используют данные со спутника Landsat.

В Финляндии в данный момент Планы освоения и использования лесов составляются местными лесными центрами каждые 10 лет. В Плане содержится информация о текущем состоянии лесных ресурсов, ценных лесных биоценозах, возможностях лесозаготовки и потенциальной прибыли от нее, мерах государственной

поддержки, а также график лесохозяйственных работ и прогноз развития леса на ближайшие 10 лет, другие сведения. План сопровождается тематическими картами, наглядно отображающими всю вышеперечисленную информацию [76]. Источниками для составления карт служат материалы полевых работ, сформированные в базу данных, а также данные дистанционного зондирования.

Все тематические карты лесного хозяйства в Финляндии создаются при помощи ГИС-технологий. Научно-исследовательский институт леса Финляндии разработал на базе геоинформационных технологий метод под названием «Норе Мар», основанный на анализе и группировке качественных данных методами количественного анализа. Применение этого метода дает возможность представлять в удобной для стратегического планирования форме картографического изображения данные, которые являются либо слишком подробными, либо слишком обобщенными. «Норе Мар» чаще всего применяют при разработке планов освоения лесов. На рисунке 4 представлен пример использования метода «Норе Мар» при планировании лесохозяйственных мероприятий. Способом картограммы показаны пожелания по ограничению заготовки древесины – чем более темным цветом окрашены выделы, тем больше тем больше пожеланий, касающихся ограничения заготовки древесины, получено от местного населения.

Также ГИС-технологии в Финляндии используют для построения буферных зон – охранных полос вокруг водных объектов, где полностью или частично запрещено ведение лесохозяйственных и лесозаготовительных работ, а также выявления в базе данных выделов, относящихся или находящихся рядом с рекреационными или особо ценными природными территориями [76].

Лесное управление Финляндии (Metsähallitus) при создании планов освоения и использования лесов применяет возможности линейного программирования, встроенные в информационную систему MELA, которая используется при планировании. При помощи ее аналитического аппарата оцениваются различные варианты управления и землепользования, а также их воздействие. Некоторые данные, получаемые при помощи MELA, являются конечными, однако часть требует дальнейшего анализа.

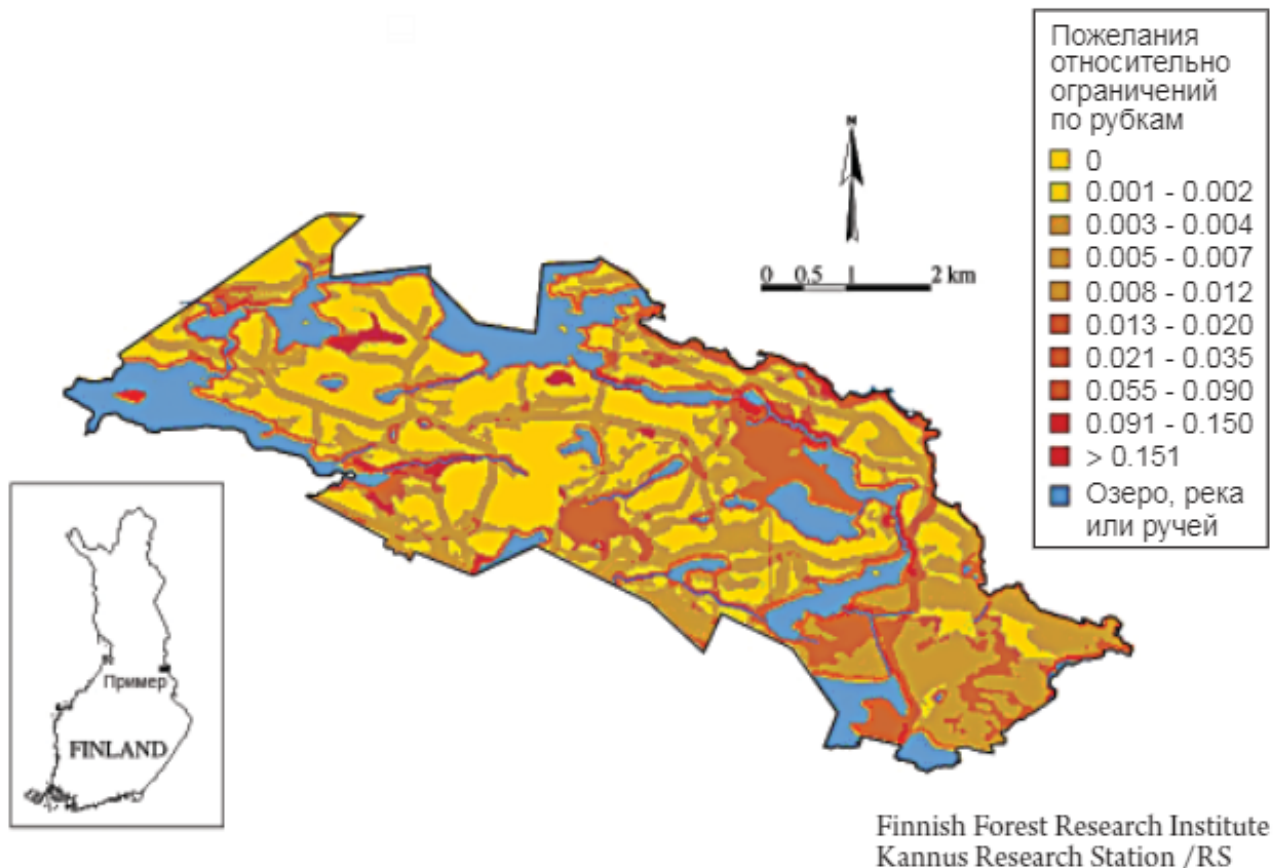


Рисунок 4 – Пример использования метода «Норе Мар» при планировании лесохозяйственных мероприятий на территориях с учетом мнения заинтересованных сторон

При помощи ГИС на основе данных о планируемых мероприятиях, выполняют расчеты пространственных характеристик территорий, для которых составляется План [76]. Например, можно определить участки леса, пригодные для рекреационных целей, путем расчета количества и относительного расположения древостоев, возраст которых превышает заданный возрастной порог.

В развитых странах, особенно Северной Америки и Западной Европы, вопрос перехода на электронный документооборот в лесном хозяйстве полностью решен. Готовым продуктом лесоустройства в этих государствах является набор цифровых и электронных карт лесного хозяйства, которые используются в той же программной среде, в которой они и были созданы [107, 115, 119].

Все программные продукты, применяемые за рубежом при составлении карт лесного хозяйства, следует разделить на все группы: те, которые используются на камеральном этапе и те, которые применяют на этапе полевых работ.

Во многих европейских странах для сбора пространственной информации и дальнейшего картографирования лесов применяют ГИС «Field-Map», созданную Институтом исследования лесных экосистем (IFER) в Чехии и представляющую объединенные в единую мобильную технологию аппаратные и программные средства. Программно-аппаратный комплекс ориентирован на сбор полевых данных с помощью мобильных устройств и электронного измерительного оборудования [128].

Также в разных странах существуют собственные разработки, касающиеся применения мобильных ГИС на полевом этапе лесоустроительных работ и при ведении лесохозяйственной деятельности.

В Великобритании существует небольшой опыт применения геоинформационных технологий на полевом этапе обследования состояния лесного фонда [129]. Учеными из Института Джеймса Хаттона и Университета Роберта Гордона, расположенных в городе Абердин, Чэнь Ваном (Chen Wang), Алессандро Гимона (Alessandro Gimona) и Яном Цзяном (Yang Jiang), в 2018 г. был предложен метод сбора пространственных данных о лесах с использованием мобильных устройств.

Метод реализован при помощи программного комплекса, включающего ODK и Google Earth, который позволяет собирать и просматривать данные о лесных ресурсах, местоположение которых указано на картах Google. ODK представляет собой набор инструментов с открытым программным кодом, предназначенных для сбора геопропространственных и атрибутивных данных о лесах, их агрегирования и отображения на картах. Данные, собранные при помощи этой технологии, могут совмещаться с существующими базами данных, а также материалами дистанционного зондирования.

Мобильное приложение ODK было апробировано на территории лесов Тайребаггер Графсвелл, которые включают различные типы леса. На этапе апробации были собраны данные о породах деревьев, сделаны фотографии с геопривязкой,

позволяющие удостовериться в достоверности сведений, отображенных на картах. Все собранные в ходе апробации данные были размещены на сервере ODK для дальнейшего анализа, обработки и использования [114]. Результатом стали тематические карты, созданные на основе Google Earth.

На сегодняшний день описанный метод успешно применяется на территории Шотландии. Его использование существенно изменило технологию проведения мониторинга лесов, повысило эффективность и скорость выполнения полевых работ по обследованию лесов [114].

США в настоящее время является лидером по количеству разработок программных продуктов, предназначенных для сбора данных о лесах и картографирования при помощи мобильных технологий. Существует несколько крупных компаний, которые занимаются продвижением своих продуктов на рынке мобильных геоинформационных технологий.

На полевом этапе при сборе данных применяют в основном программное обеспечение GOODS, позволяющее производить инвентаризацию лесных ресурсов, а также системы слежения Harvest, которые вместе позволяют собирать и анализировать информацию для отдельных древостоев.

Также применяют программно-аппаратный комплекс «DMSM», который включает в себя мобильное приложение, созданное на базе технологий ArcGIS, позволяющее регистрировать негативные процессы, происходящие в лесах и выявлять их причины, планшетное оборудование и ArcGIS Server. Применение «DMSM» позволяет получить большой объем качественных данных о состоянии лесных ресурсов, при этом повысить уровень безопасности их сбора по причине использования данных дистанционного зондирования, в том числе полученных при помощи беспилотных летательных аппаратов.

«DMSM» предназначено, прежде всего, для текущей оценки состояния лесов и применяется в основном инспекторами по охране здоровья лесов США [110]. На рисунке 5 представлено рабочее окно мобильной ГИС «DMSM».

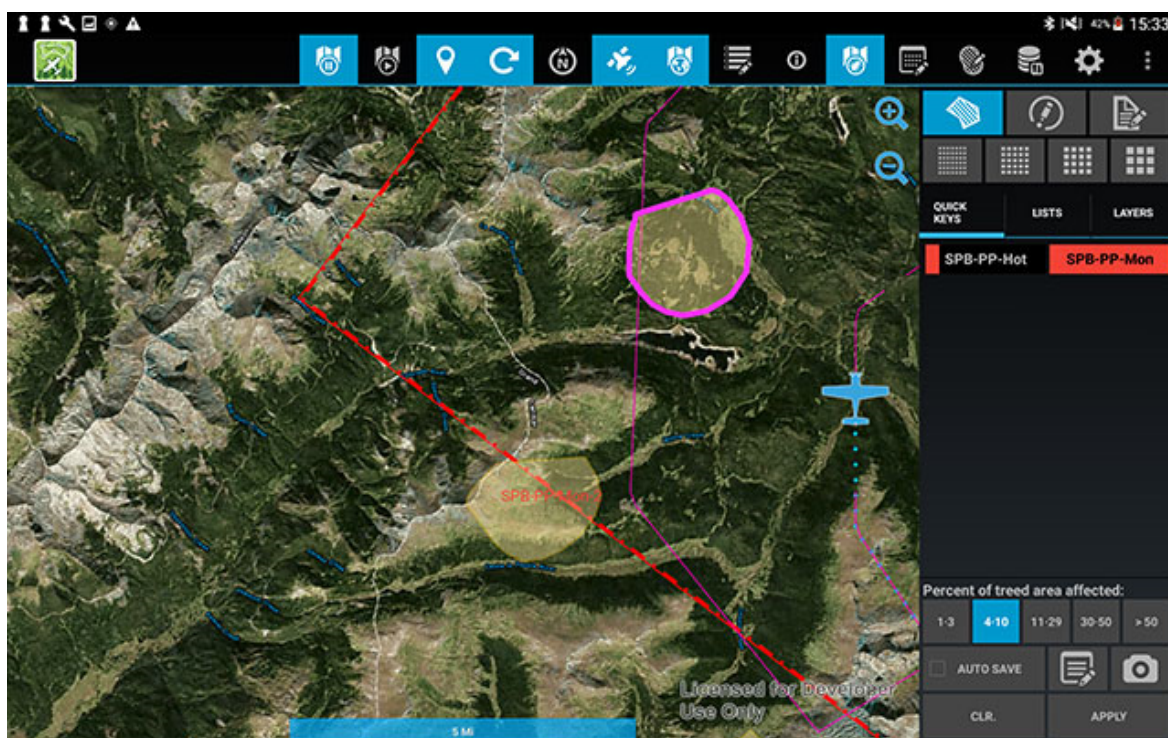


Рисунок 5 – Рабочее окно мобильного ГИС-приложения «DMSM»

Еще одно мобильное ГИС-приложение, предназначенное для полевого картографирования и сбора данных, созданное группой Mobile GIS Service First при поддержке Бюро землепользования и Лесной службы США, – «S1 Mobile Mapper» [122].

Особое внимание в «S1 Mobile Mapper» уделяется функционалу, обеспечивающему отображение, сбор и обновление геопространственных данных и атрибутов в offline-режиме. Совмещенная база данных загружается на мобильное устройство в online-режиме, а все изменения, внесенные в базу в offline-режиме, синхронизируются с серверами ArcGIS Server при подключении к сети Интернет.

«S1 Mobile Mapper» имеет открытый исходный код и применяется при сборе полевых данных многими федеральными агентствами США, которые используют программу OR / WA Service First Mobile GIS, в том числе и при учете лесных ресурсов. Приложение «S1 Mobile Mapper» использует учетные записи организаций в ArcGIS Online и внутренние веб-сервисы ArcGIS Server + для сбора, обновления, и публикации геопространственных данных [122].

Кроме того, «S1 Mobile Mapper» позволяет любому пользователю получить доступ к картам Бюро землеустройства (BLM) и Лесной службы США (US Forest

Service) в offline-режиме, а также определять местоположение, записывать треки и делать фотографии с пространственной привязкой.

Так как приложение «S1 Mobile Mapper» создано на базе технологий ArcGIS, его инструменты могут успешно интегрироваться в ArcGIS и ArcPad и повышать их эффективность. На рисунке 6 показаны дополнительные панели инструментов «S1» для ArcGIS и ArcPad [122].



Рисунок 6 – Панели инструментов «S1» для ArcGIS и ArcPad

В США на камеральном этапе составления карт лесного хозяйства чаще всего применяют ArcGIS, обладающий мощным функционалом для системного анализа и наложения данных.

Среди стран, активно применяющих мобильные геоинформационные системы для сбора геопространственных данных о лесных ресурсах, можно отметить Турцию.

Огромные массивы леса находятся вблизи крупнейшего города – Стамбул, население которого постоянно растет, что представляет угрозу для лесонасаждений. Для мониторинга состояния лесов, их учета и охраны в стране применяют мобильные ГИС и данные дистанционного зондирования. Полученные результаты размещают в сети Интернет при помощи веб-ГИС [126].

Программное обеспечение, наиболее распространенное в Турции, – продукция компании ESRI. На полевом этапе применяют ArcPad и его модификации, для обработки и анализа полученных данных используют ArcGIS, а для публикации – ArcGIS Online.

Данные о лесном фонде хранятся чаще всего в приложениях городских информационных систем (UIS), которые предназначены для осуществления местными

органами власти контроля социальной, культурной, физической и экономической деятельности [128, 130].

Индийские разработки в области применения мобильных ГИС при сборе геопространственных данных о лесных ресурсах связаны в основном с восстановлением лесов и принадлежат Лесному геоматическому центру OFSDS [118]. OFSDS применяет геоинформационные системы, данные дистанционного зондирования и геопозиционирования, а также материалы полевых обследований при составлении планов и тематических карт, которые впоследствии используют для планирования и мониторинга лесовосстановительных мероприятий. Совмещение этих данных с такой пространственной информацией, как район управления и административные юрисдикции, карты лесного покрова FSI, расположение лесной инфраструктуры, водосборные бассейны, поселения, особо охраняемые территории и прочие топографические данные, позволяет повышать эффективность мониторинга состояния лесонасаждений. Кроме того, качественные результаты ГИС-анализа геопространственных данных о лесных ресурсах могут оказывать поддержку принятия управленческих решений при планировании и проведении мероприятий по восстановлению лесов.

Эффективность сбора геопространственных данных о состоянии лесов в полевых условиях возросла в последние годы благодаря внедрению программных мобильных и веб-ГИС.

Мобильные ГИС применяют в полевых условиях для доступа к базе данных лесного фонда, а также планово-картографическим материалам и материалам дистанционного зондирования. Применение веб-ГИС совместно с мобильными ГИС расширяет возможности картографирования лесов и их геопространственного анализа.

Все материалы, полученные в ходе полевого этапа обследования состояния лесов, хранятся на собственных серверах IBM, подключенных к источникам бесперебойного питания и национальной магистрали Интернета, предоставляемой BSNL. Серверы имеют автоматизированные механизмы резервного копирования для защиты важных данных от утраты [118].

Новейшая зарубежная технология, которая уже в ближайшем будущем будет повсеместно внедряться в лесохозяйственную деятельность, – цифровые двойники (Digital Twin technology). Цифровым двойником можно назвать подробную, обновляемую в режиме реального времени трехмерную модель какого-либо объекта или группы объектов, дополненную всеми возможными данными (от изображений и трехмерных облаков точек до прошлых отчетов и анализов), предназначенную для ситуационного моделирования, отработки сценариев и оценки последствий и эффектов [121].

Цифровые двойники представляют интерес для лесного хозяйства, так как способны представлять большой объем актуальной информации о состоянии лесных ресурсов, их виде, высоте и многом другом как по лесонасаждению в целом, так и по каждому дереву отдельно [129].

В 2021 г. Европейским космическим агентством был введен в эксплуатацию цифровой двойник леса, который может стать простым в использовании, но при этом очень эффективным инструментом мониторинга лесонасаждений, моделирования и оценки способов их сохранения, возобновления и использования. Этот проект, возглавляемый Центром технических исследований Финляндии (VTT) и поддерживаемый Румынскими институтами исследований и управления лесами, Хельсинкским университетом и частными компаниями из Германии, Польши и Финляндии, является первым в области цифровых двойников лесов. Однако в ближайшие годы применение цифровых двойников будет набирать обороты во всех сферах жизнедеятельности и производства, при этом лесное хозяйство не станет исключением [120].

Выводы по разделу 1

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 программные продукты, используемые отечественными лесоустроительными предприятиями для геоинформационного картографирования лесного хозяйства. Изучены мобильные технологии, нашедшие применение при картографировании лесного хозяйства в России. Рассмотрены современные зарубежные технологии картографирования лесного фонда, а также программные продукты, которые применяются при сборе геопространственной информации о лесах и их геоинформационном картографировании.

На основе проведенного анализа сделаны следующие выводы:

1) развитие картографирования лесного хозяйства в разных странах находится на различном уровне и зависит в основном от таких факторов, как уровень развития картографии в целом, значимость лесного сектора для экономики страны, площади лесонасаждений;

2) при геоинформационном картографировании лесного хозяйства применяют как специализированные лесные ГИС, так и ГИС общего назначения. Применение ГИС общего назначения может быть оправдано целым рядом факторов, таких как наличие навыков работы у большого количества сотрудников, возможности создания дополнительных программных модулей, хорошая совместимость с другими программными продуктами;

3) настольные ГИС-приложения активно применяются при картографировании лесного хозяйства практически во всех странах, однако внедрение веб-ГИС и мобильных ГИС-приложений произошло лишь в некоторых государствах;

4) методика геоинформационного картографирования лесного хозяйства, которая применяется российскими лесоустроительными предприятиями, морально устарела по причине использования бумажных ортофотопланов на полевом этапе лесоустроительных работ;

5) ни одна из существующих на сегодняшний день ГИС не может полностью обеспечить потребности лесоустроительного предприятия на всех этапах создания карт лесного хозяйства, поэтому предприятия либо используют несколько программных продуктов, либо разрабатывают собственные дополнительные программные модули;

б) решением проблемы отсутствия или недостаточного количества сотрудников предприятия, имеющих навыки работы с узкоспециализированным программным обеспечением, может быть использование какого-либо распространенного геоинформационного продукта, имеющего возможности для работы на мобильных устройствах и обладающего необходимым функционалом для проведения полевого контурного дешифрирования;

7) на сегодняшний день отсутствуют методические и технические решения, способные обеспечить полный отказ от бумажных материалов на полевом этапе лесоустройства.

На основании вышесказанного, можно сделать вывод, что создание новой методики геоинформационного картографирования лесного хозяйства, способной обеспечить переход от использования бумажных ортофотопланов на полевом этапе лесоустроительных работ к применению мобильных ГИС, станет началом нового этапа развития такого направления отечественной картографической науки как картографирование лесного хозяйства.

2 ОСОБЕННОСТИ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

2.1 Картографическая продукция для лесного хозяйства

2.1.1 Виды картографической продукции, составляемые для лесохозяйственной отрасли

Для лесохозяйственной отрасли в процессе лесоустроительных работ создаются различные по содержанию, масштабу и территориальному охвату картографические материалы, такие как лесоустроительные планшеты, различные планы и тематические карты лесного хозяйства, совмещенные базы данных и т. д. [101]. Масштаб планово-картографических материалов зависит от их вида и разряда лесоустройства, который определяет степень подробности лесоустроительных работ [33].

В таблице 4 приведены основные виды планово-картографических материалов лесоустройства, а также их масштабы, в которых они составляются в зависимости от разряда лесоустроительных работ.

Таблица 4 – Основные виды и масштабы планово-картографических материалов лесоустройства

№ п/п	Вид планово-картографических материалов	Масштаб		
		I разряд	II разряд	III разряд
1	Лесоустроительный планшет	1 : 10 000	1 : 10 000	1 : 25 000
2	План лесничества	1 : 25 000	1 : 25 000	1 : 50 000
3	План лесонасаждений лесничества	1 : 25 000	1 : 25 000	1 : 50 000
4	Обзорные тематические планы (проектируемых мероприятий лесничества, размещения ягодников, лекарственного и технического сырья и прочие тематические планы)	1 : 25 000	1 : 25 000	1 : 50 000
5	Карта лесохозяйственного предприятия	1 : 100 000	1 : 100 000	1 : 100 000 1 : 200 000 1 : 300 000
6	Карта лесонасаждений лесохозяйственного предприятия	1 : 100 000	1 : 100 000	1 : 100 000 1 : 200 000 1 : 300 000
7	Карта противопожарных мероприятий лесохозяйственного предприятия	1 : 100 000	1 : 100 000	1 : 100 000 1 : 200 000 1 : 300 000
8	Карта лесов области, края и т. п.	от 1 : 150 000 (от 1 : 600 000) и мельче		

Рассмотрим подробнее каждый из видов лесных планово-картографических материалов, создаваемых в ходе лесоустройства.

Основой для составления всех современных лесных планово-картографических материалов служит совмещенная база данных, содержащая таксационную и картографическую информацию [57]. База данных создается в процессе лесоустроительных работ в среде ГИС, а ее структура и содержание определяются техническим заданием и нормативно-правовыми актами [33].

Первичным документом планово-картографических лесоустроительных материалов является лесоустроительный планшет, который содержит план группы лесных кварталов [70]. Лесоустроительные планшеты составляются по результатам аэрофотосъемки, геодезической, топографической съемки и таксации леса [77]. Согласно требованиям, предъявляемым к планшетам, они создаются для печати на стандартном размере листа формата А2 (420 × 594 мм) [33].

На лесоустроительных планшетах не окрашивают таксационные выделы (отдельные участки леса), а показывают окраской контуров их границы и при помощи условных обозначений отражают характеристики нелесных участков (болота, каменистые россыпи, гольцы и т. п.).

Планшет содержит такие элементы содержания, как:

- границы планшетных рамок, административных районов и смежных хозяйств;
- квартальные просеки, границы кварталов, таксационных выделов, особо защитных участков, полос отчуждения магистральных транспортных путей;
- лесовозные и лесохозяйственные дороги;
- реки, ручьи, мелиоративные каналы, озера; названия рек, озер и крупных ручьев;
- бровки оврагов;
- номера кварталов, выделов и их площадь;
- категории защитности лесов;
- условные обозначения контор лесхозов, лесничеств [70].

При необходимости, на горных участках местности, лесные участки с эрозийными процессами обозначаются условными знаками, также могут быть нанесены горизонтали и отметки высот [87].

Картографическое изображение обрамляется планшетной рамкой в зависимости от конфигурации планшетного полигона (территории, отображаемой на конкретном лесоустроительном планшете).

За границей планшетной рамки указывают наименование субъекта РФ, административного района, районного лесничества, участкового лесничества, урочища, номер лесоустроительного планшета, год производства лесоустроительных работ. Также указывают численный масштаб, общую площадь планшетного полигона, приводят технологию изготовления лесоустроительного планшета (например, составлен на основе данных ДЗЗ 2018 г. и материалов предыдущего лесоустройства), название лесоустроительного предприятия и фамилии исполнителей [33].

Лесоустроительные планшеты совместно с таксационными описаниями – основные рабочие документы не только лесничеств, но и лесного хозяйства в целом [32].

На основании совмещенной базы данных составляются планы лесонасаждений, являющиеся важнейшими обобщающими планово-картографическими документами, которые передают точное размещение, породный и возрастной состав лесов, продуктивность и полнотность насаждений лесничества [82].

На планы лесонасаждений наносятся территории размещения лесонасаждений с отображением квартальной и визирной сети, границ отдельных таксационных участков, а также других категорий земель. При окраске выделов по породному составу применяется стандартная шкала, в которой каждая лесообразующая порода имеет свой цвет. Тональность цвета по породам в пределах класса возраста передает возрастную структуру лесонасаждений при помощи увеличения интенсивности цвета от молодняков к спелым и перестойным лесонасаждениям [99]. На планах показывают номера всех таксационных выделов, номера и площадь кварталов [82].

Еще один вид планово-картографической продукции, составляемой в ходе лесоустройства, – тематические карты лесного хозяйства, содержание которых может быть различным, в зависимости от назначения, например, составляются тематиче-

ские карты для проекта освоения лесов, регламента лесничества, лесные планы субъектов и т. д. [40].

Содержание и оформление тематических карт лесного хозяйства регламентировано нормативно-правовыми актами, касающимися картографических аспектов лесоустроительных работ [33, 52, 66].

2.1.2 Нормативно-правовые акты, регламентирующие требования, предъявляемые к картографической продукции, составляемой для лесохозяйственной отрасли

Требования к планово-картографической продукции, составляемой для лесохозяйственной отрасли, порядку ее составления и оформления представлены в нескольких нормативно-правовых актах. Рассмотрим подробнее каждый из них.

Инструкцией о порядке создания и размножения лесных карт 1987 г. издания устанавливается классификация отраслевых карт лесного хозяйства, их основные характеристики, требования к содержанию и технологии их составления, в зависимости от их назначения и масштаба [33]. Документ разработан Северо-Западным лесоустроительным предприятием и ориентирован на организации, выполняющие топографо-геодезические и картографические работы для лесохозяйственной отрасли.

На основе упомянутой ранее инструкции в 1999 г. были составлены «Требования к лесным электронным картам, совмещенным таксационным и картографическим базам данных» [92], которые предназначены для государственных лесоустроительных предприятий и в обязательном порядке соблюдаются при создании карт лесного хозяйства в среде ГИС.

Постановлением Правительства РФ от 21.11.2006 № 705 «О лицензировании деятельности в области геодезии и картографии» (редакция от 24.09.2010 г.) определен порядок лицензирования картографической и геодезической деятельности, осуществляемой юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями [61].

Приказ Федерального агентства лесного хозяйства № 423 «Об утверждении типовой формы и состава лесного плана субъекта Российской Федерации, порядка его под-

готовки» от 05.10.2011 определяет список тематических карт лесного хозяйства, которые требуются при составлении лесного плана субъекта Российской Федерации [67].

Список тематических карт лесного хозяйства, необходимых для проведения работ по государственной инвентаризации лесов, определен приказом Федерального агентства лесного хозяйства № 472 «Об утверждении методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов» от 10.11.2011 (в редакции Рослесхоза от 07.05.2013 № 135) [63].

Приказ № 516 «Об утверждении лесоустроительной инструкции» от 12.12.2011 устанавливает правила проведения лесоустроительных работ. Лесоустроительной инструкцией определены требования к составу, методам, способам и точности выполнения лесоустройства, указаны требования к наличию и оформлению тематических карт лесного хозяйства, их особенностях на землях лесного фонда, особо охраняемых природных территориях, землях обороны и безопасности, а также в городских лесах [62].

Приказом Федерального агентства лесного хозяйства № 69 «Об утверждении состава проекта освоения лесов и порядка его разработки» от 29.02.2012 был утвержден список тематических карт лесного хозяйства по видам использования лесов, которые необходимы для составления проекта освоения лесов [65].

Перечень тематических карт лесного хозяйства, необходимых для составления лесохозяйственных регламентов, определяется приказом Федерального агентства лесного хозяйства № 126 «Об утверждении состава лесохозяйственных регламентов, порядка их разработки, сроков их действия и порядка внесения в них изменений» от 04.04.2012 [64].

Рассмотрим требования, предъявляемые к планово-картографическим материалам лесного хозяйства.

Так, расхождения в длинах сторон квадратов километровой сетки с их теоретическими размерами не должны превышать следующих величин:

- в масштабе 1 : 10 000 – 2 м;
- в масштабе 1 : 20 000 – 4 м;
- в масштабе 1 : 25 000 – 5 м;

- в масштабе 1 : 50 000 – 10 м;
- в масштабе 1 : 100 000 – 20 м.

Средняя квадратическая погрешность нанесения границ выделов и других элементов содержания не должна превышать следующих величин:

- в масштабе 1 : 10 000 – 8 м;
- в масштабе 1 : 20 000 – 16 м;
- в масштабе 1 : 25 000 – 20 м;
- в масштабе 1 : 50 000 – 40 м;
- в масштабе 1 : 100 000 – 80 м.

Большое значение при составлении электронных карт лесного хозяйства имеет топологическая корректность структуры векторных данных. Соблюдение правил топологии позволяет избежать ошибок и расхождений при формировании не только картографических изображений, но и базы данных.

В 2022 г. в России было решено создать ФГИС лесного комплекса, предназначенную для ведения государственного лесного реестра. Предполагается в сети Интернет разместить публичную карту лесного хозяйства, а для использования уполномоченными организациями будет создана служебная карта лесного хозяйства. Все это закреплено в проекте Приказа Министерства природных ресурсов и экологии РФ «Об утверждении состава сведений, содержащихся в лесных картах», который подготовлен Минприроды России 24.01.2022.

Кроме того, в этом нормативном акте определена сущность карт лесного хозяйства, их виды, а также состав сведений, содержащихся в государственном лесном реестре (его публичной и служебной частях).

Согласно проекту Приказа, лесные карты (карты лесного хозяйства) представляют собой составленные на картографической основе тематические карты, на которых в графической и текстовой формах воспроизводятся сведения, содержащиеся в государственном лесном реестре [66].

Также в документе предлагается новая классификация карт лесного хозяйства, их делят на следующие:

- публичные карты лесного хозяйства, которые предназначены для использования неограниченным кругом лиц;

– служебные карты лесного хозяйства, которые предназначены исключительно для использования уполномоченным федеральным органом исполнительной власти.

На публичных картах лесного хозяйства предполагается отображать следующие сведения:

- границы земель лесного фонда и земель иных категорий, на которых расположены леса;
- границы лесничеств;
- границы лесных кварталов;
- границы лесотаксационных выделов;
- границы земель, на которых расположены защитные леса, эксплуатационные леса, резервные леса;
- границы земель, на которых расположены особо защитные участки лесов, зон с особыми условиями использования территорий, зеленые зоны, лесопарковые зоны;
- границы лесов по преобладающим породам и группам возраста;
- границы лесных участков, планируемых к предоставлению с указанием видов разрешенного использования лесов, определенных в соответствии со статьей 25 Лесного кодекса [52];
- границы лесных участков, предоставленные в пользование;
- границы лесных участков, использование которых осуществляется с изъятием лесных ресурсов;
- границы лесных участков, использование которых осуществляется без изъятия лесных ресурсов;
- границы поврежденных и погибших лесных насаждений;
- границы лесных участков, на которых действуют очаги вредных организмов, в том числе отнесенных к карантинным объектам;
- границы лесных участков, на которых запланировано проведение мероприятий по ликвидации очагов вредных организмов;

- границы действующих выявленных лесных пожаров, подтвержденные по данным органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, уполномоченных в области лесных отношений;
- границы лесных участков, входящих в фонд лесовосстановления, лесных участков, на которых проводятся мероприятия по лесовосстановлению;
- границы лесных участков, на которых проведены мероприятия по сохранению лесов;
- границы объектов лесоустройства с указанием планируемого года проведения мероприятий по лесоустройству в соответствии с федеральным планом проведения лесоустройства;
- показатели государственной инвентаризации лесов в части обобщенных данных о количественных и качественных характеристиках лесов;
- давность проведения лесоустройства в отношении лесничеств, участковых лесничеств, лесных участков;
- объекты лесной и лесоперерабатывающей инфраструктуры [66].

Служебные карты лесного хозяйства, в соответствии с проектом Приказа, должны дополняться сведениями:

- о результатах оценки лесохозяйственных мероприятий, проведенной в рамках государственной инвентаризации лесов;
- результатах дистанционного мониторинга использования лесов, проведенного в рамках государственной инвентаризации лесов;
- количественных и качественных характеристиках лесов [66].

2.1.3 Источники для составления картографической продукции, применяемой в лесном хозяйстве

Источниками для составления карт лесного хозяйства могут служить все доступные на картографируемую территорию планово-картографические и прочие материалы, такие как топографические карты, данные дистанционного зондирова-

ния Земли (космические и аэрофотоснимки, данные лазерного сканирования и т. п.), материалы землеустройства, материалы полевых работ, проекты квартальной и визирной сети на объект лесоустройства и т. д.

В случае повторного проведения лесоустройства, в том числе непрерывного, в качестве основного источника информации используются лесоустроительные планшеты и / или совмещенная база данных предыдущего лесоустройства [33].

Основным картографическим источником при составлении карт лесного хозяйства служат топографические карты масштаба, сходного с масштабом лесоустроительного планшета (чаще всего 1 : 10 000).

Одним из важнейших источников информации для проведения лесоустроительных работ являются материалы аэро- и / или космических съемок. В настоящее время они используются на всех этапах лесоустройства для выполнения следующих видов работ:

- опознавание границ, просек, визиров, ходовых линий и т. п. в процессе натурной таксации;
- определение опорных точек, необходимых для трансформирования снимков для последующего создания ортофотопланов и различных карт лесного хозяйства;
- полевое, поле-камеральное и камеральное контурное и лесотаксационное аналитическое, аналитико-измерительное и автоматизированное дешифрирование с целью определения и/или уточнения границ лесотаксационных выделов и их таксационных характеристик;
- уточнение границ контуров элементов содержания при составлении лесоустроительных планшетов, планов и других карт лесного хозяйства.

Аэро- и космические снимки должны соответствовать параметрам [33], приведенным в таблице 5.

Таблица 5 – Требования к материалам аэрокосмических съемок

Способ таксации	Требования к материалам аэрокосмических съемок		
	I разряд	II разряд	III разряд
глазомерно-измерительный, глазомерный	аэроснимки с предельно допустимым минимальным пространственным разрешением 0,5–1 м; масштаб 1 : 10 000 ($\pm 20\%$)	аэроснимки с предельно допустимым минимальным пространственным разрешением 1–1,5 м; масштаб 1 : 15 000 ($\pm 20\%$)	–
дешифровочный, способ актуализации	аэроснимки с предельно допустимым минимальным пространственным разрешением 0,5–1 м; космические снимки с предельно допустимым минимальным пространственным разрешением 1–3 м; масштаб 1 : 10 000 ($\pm 20\%$)	аэроснимки с предельно допустимым минимальным пространственным разрешением 1,5–2 м; космические снимки с предельно допустимым минимальным пространственным разрешением 3–5 м; масштаб 1 : 25 000 ($\pm 20\%$)	космические снимки с предельно допустимым минимальным пространственным разрешением 5–10 м; масштаб 1 : 140 000 ($\pm 20\%$)

При составлении лесоустроительных планшетов, планов лесонасаждений и различных тематических карт в качестве геодезической основы могут использоваться следующие материалы:

- ведомости координат, геодезические журналы окружных границ и планшетных рамок, составленные в ходе предыдущего лесоустройства или полученные в результате выполнения работ по межеванию в процессе проведения лесоустроительных работ;

- ведомости координат границ, установленных при постановке на государственный кадастровый учет в процессе межевания землепользований по смежеству с землями объекта лесоустройства;

- координаты пунктов государственной триангуляционной сети и полигонометрии;

- координаты границ лесных участков, переданных в аренду;

- координаты границ черты населенных пунктов, расположенных по смежеству или среди земель объекта лесоустройства;

– данные о границах муниципальных образований, субъектов Российской Федерации в виде каталога координат или в виде границы, нанесенной на топографические карты;

- материалы съемок спутникового геопозиционирования;
- топографические карты;
- лесоустроительные планшеты и/или планы предыдущего лесоустройства;
- ортофотопланы;
- прочие картографические источники [63].

Масштаб применяемых топографических карт и прочих источников, применяемых при составлении карт лесного хозяйства, должен соответствовать масштабу изготавливаемых материалов, указанных в таблице 6.

Таблица 6 – Масштаб материалов, применяемых при составлении карт лесного хозяйства

Масштаб, составляемых планово-картографических материалов	Масштаб источников
1 : 5 000	1 : 5 000–1 : 10 000
1 : 10 000	1 : 10 000–1 : 25 000
1 : 25 000	1 : 25 000–1 : 50 000
1 : 50 000	1 : 50 000–1 : 100 000
1 : 100 000	1 : 100 000–1 : 200 000
1 : 100 000–1 : 300 000	1 : 100 000–1 : 300 000

Одним из наиболее современных источников информации при составлении картографических материалов лесоустройства являются материалы, полученные в ходе лазерного сканирования, представляющие собой так называемое «облако точек». Чаще всего они используются для создания цифровых моделей местности, но могут также заменять традиционную таксацию лесов. Данные лазерного сканирования при составлении карт лесного хозяйства применяются совместно с другими источниками информации, что позволяет получать наиболее точные сведения о состоянии, породном составе и прочих характеристиках лесонасаждений.

2.2 Оценка целесообразности внедрения мобильных технологий на полевом этапе лесоустройства

Для того чтобы корректно оценить эффективность применения мобильных ГИС на полевом этапе создания карт лесного хозяйства, необходимо провести анализ качества получаемых в процессе полевого контурного дешифрирования картографических материалов. Для этого требуется провести сравнительный анализ ошибок, возникающих при составлении карты, и временных затрат. Это позволит сделать вывод о целесообразности отказа от бумажной картографической продукции на полевом этапе лесоустроительных работ.

Подобное исследование требует проведения экспериментальных работ, подразумевающих составление совмещенной базы на одну и ту же территорию двумя способами, – с применением бумажных ортофотопланов и мобильных ГИС, а затем сравнительный анализ полученных результатов.

Описанные далее экспериментальные исследования проводились на базе ООО НПО «Экологическая безопасность» на территории городских лесов г. Новосибирска. Численность специалистов, привлеченных для выполнения экспериментальных работ, обусловлена штатом сотрудников предприятия.

Так как в стандартном виде лесоустроительные работы можно разделить на несколько этапов – подготовительный, полевой и камеральный, то следует подробнее рассмотреть план проведения экспериментальных работ, который схематично представлен на рисунке 7.

На *подготовительном этапе* производится отбор двух экспериментальных участков равной площади (10 га) и сложности. Подготавливаются исходные материалы для полевого контурного дешифрирования – бумажные ортофотопланы и совмещенная база данных для дальнейшего ее заполнения и обновления на мобильном устройстве. При проведении экспериментальных работ использовалась мобильная ГИС CarryMap Builder.

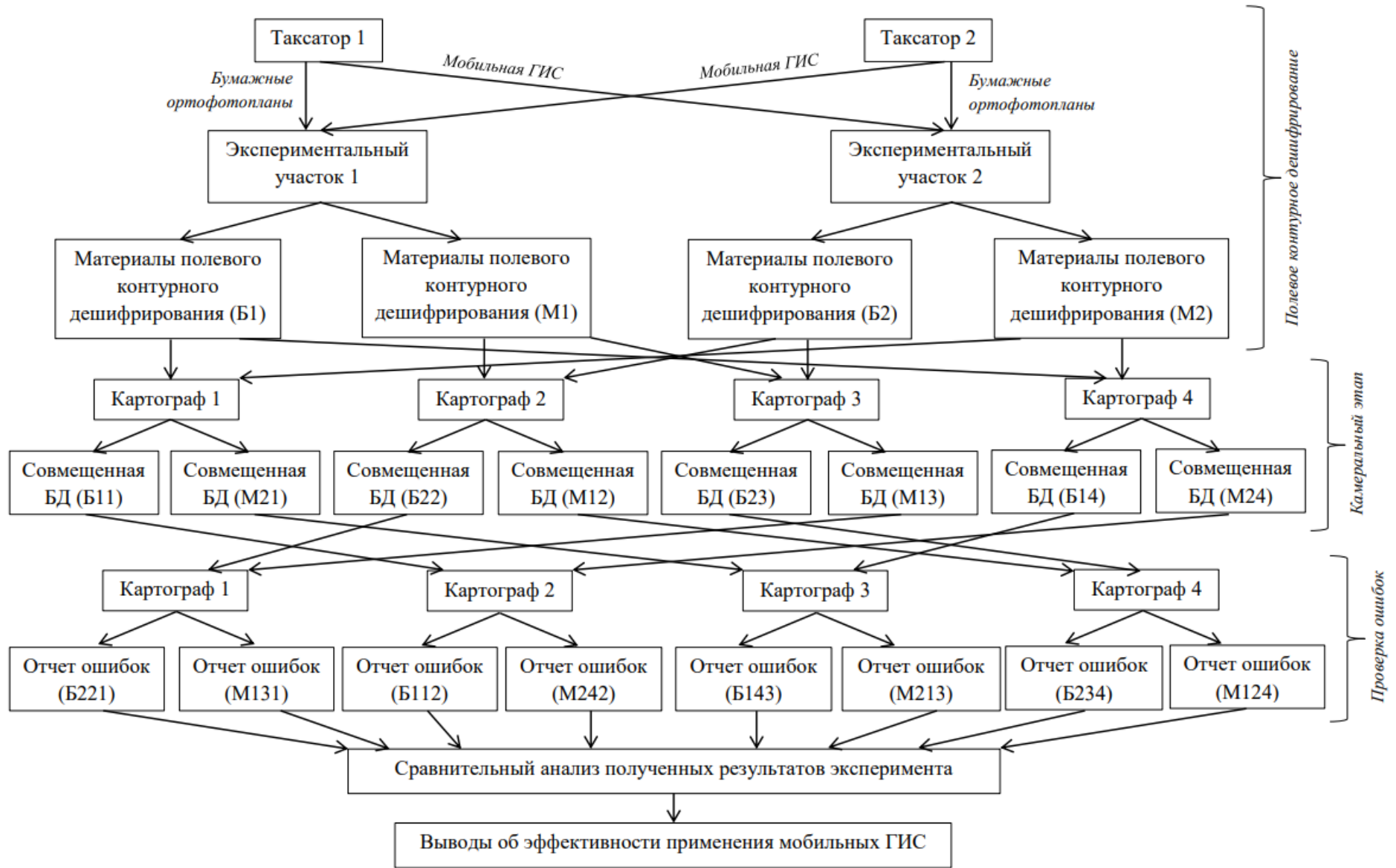


Рисунок 7 – Схема проведения экспериментального исследования

Полевой этап предполагается проведение двумя таксаторами полевого контурного дешифрирования экспериментальных участков. При этом таксатор 1 выполняет контурное дешифрирование экспериментального участка 1 с применением ортофотопланов, а участка 2 – с применением мобильной ГИС. Таксатор 2, наоборот, производит контурное дешифрирование экспериментального участка 2 при помощи бумажных ортофотопланов, а участка 1 – при помощи мобильной ГИС. Таким образом, по итогам этого этапа на каждый экспериментальный участок создается по два набора материалов – созданные на основе бумажных ортофотопланов (Б1 и Б2) и при помощи мобильных ГИС (М1 и М2).

Камеральный этап начинается с распределения между четырьмя картографами материалов полевого контурного дешифрирования таким образом, чтобы каждый из них работал с каждым экспериментальным участком и с материалами, полученными разными способами, при этом у каждого картографа был своя уникальная пара материалов, что наглядно отображено на рисунке 7.

При работе с материалами полевого контурного дешифрирования, созданными на основе ортофотопланов, в первую очередь, производится сканирование исходных картографических материалов, создается проект в ГИС MapInfo, отсканированные картографические материалы приводятся к единой системе координат и единому масштабу, а затем сопоставляются для получения единого изображения картографируемой территории. Затем выполняется послойная векторизация основных элементов топографической основы и тематического содержания, производятся правка и уточнение элементов топографической основы и тематического содержания (выявление графических ошибок), нанесение условных обозначений, создаются слои семантической информации. Составляется отчет по выявленным ошибкам.

При работе с материалами, созданными при помощи мобильных ГИС, камеральный этап начинается с экспорта базы данных в геоинформационную систему MapInfo. Затем наносятся условные обозначения, проводится проверка точности нанесения элементов тематического содержания (выявление графических ошибок). Составляется отчет по выявленным ошибкам.

Следующий этап – проверка и исправление ошибок. На данном этапе производится автоматическое выявление таксационных, топологических и семантических ошибок в ГИС MapInfo, а затем их исправление. При этом картографы обмениваются материалами, полученными в ходе предыдущего этапа для того, чтобы свести к минимуму влияние человеческого фактора на результат исследования. По итогам данного этапа составляется отчет с указанием количества ошибок каждого типа, а также времени на их устранение.

Заключительный этап – анализ полученных результатов. На этом этапе необходимо выполнить сравнительный анализ выявленных на предыдущих этапах ошибок, а также времени, затраченного на их устранение при применении бумажных ортофотопланов и мобильной ГИС. В таблице 7 приведен сводный отчет о выявленных в процессе экспериментальных работ ошибках.

Таблица 7 – Сводный отчет о выявленных ошибках

Способ	Отчет об ошибках	Графические ошибки, шт	Таксационные ошибки, шт	Топологические ошибки, шт	Семантические ошибки, шт	Всего ошибок, шт
бумажные ортофотопланы	Б112	4	1	6	1	12
	Б143	3	1	3	1	8
	Б221	2	0	5	0	7
	Б234	3	0	7	0	10
мобильная ГИС	М113	2	0	20	0	22
	М124	2	0	19	0	21
	М213	1	0	14	0	15
	М242	1	0	12	0	13

На основании отчета можно сделать вывод о том, что общее количество ошибок при применении мобильной ГИС на этапе полевого контурного дешифрирования возросло примерно на 92 %. Однако необходимо учитывать не только количество ошибок, но и их вид. Разные виды ошибок имеют отличное друг от друга влияние на достоверность карт лесного хозяйства [44, 95]. Поэтому было решено прибегнуть к методу экспертных оценок для определения значимости каждого из видов ошибок.

Для экспертной оценки была разработана опросная анкета, представленная в приложении Б, которую было предложено заполнить экспертам – инженерам-картографам отдела лесной картографии ООО НПО «Экологическая безопасность». Анкета включает следующий вопрос: ранжируйте в порядке значимости типы ошибок, в зависимости от влияния каждого типа ошибок на достоверность карт лесного хозяйства.

К участию в опросе были привлечены четыре эксперта, что обусловлено минимальным количеством экспертов, согласно формуле

$$N = 0,5(3\alpha + 5), \quad (1)$$

где α – параметр, задающий уровень ошибки экспертизы, удовлетворяющий неравенству $0 < \alpha \leq 1$ [54, 79]. В нашем случае было решено принять $\alpha = 1$.

Сначала эксперты определили ранг для каждого типа ошибок. Результаты опроса приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты экспертной оценки ранжирования значимости типов ошибок

Тип ошибок	Эксперты			
	1	2	3	4
графические	2	2	1	2
таксационные	1	1	2	1
топологические	3	4	4	4
семантические	4	3	3	3

Необходимо вычислить отклонение суммы баллов d по каждому типу ошибок [8] по формуле

$$d = \sum x_{ij} - \frac{\sum \sum x_{ij}}{n} = \sum x_{ij} - 10. \quad (2)$$

Также нужно выполнить проверку правильности составления матрицы на основе исчисления контрольной суммы [94] по формуле

$$\sum x_{ij} = \frac{n(1+n)}{2} = \frac{4(1+4)}{2} = 10. \quad (3)$$

Если суммы столбцов матрицы равны между собой и соответствуют контрольной сумме, то матрица составлена правильно [8, 25, 94]. Полученные результаты внесены в таблицу 9.

Таблица 9 – Составленная матрица рангов типов ошибок

Тип ошибок	Эксперты				Сумма рангов	d	d^2
	1	2	3	4			
Графические	2	2	1	2	7	-3	9
Таксационные	1	1	2	1	5	-5	25
Топологические	3	4	4	4	15	5	25
Семантические	4	3	3	3	13	3	9
Сумма	10	10	10	10	40		68

В результате типы ошибок расположились по значимости следующим образом:

- 1 – таксационные;
- 2 – графические;
- 3 – семантические;
- 4 – топологические.

Далее необходимо вычислить коэффициент конкордации (w), отражающий согласованность мнений экспертов [11, 19], который можно определить по формуле

$$w = \frac{12S}{m^2(n^3-n)}, \quad (4)$$

где n – число объектов;

m – число экспертов;

S – сумма рангов, которая вычисляется следующим образом:

$$S = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m p_{ij} - \bar{p})^2, \quad (5)$$

где \bar{p} – средний ранг, определяемый по формуле

$$\bar{p} = \frac{(n+1)m}{m^2(n^3-n)}, \quad (6)$$

где p_{ij} – ранг i -го объекта, который был присвоен j -м экспертом.

Вычислен коэффициент конкордации $w = \frac{12 \cdot 68}{4^2(4^3-4)} = 0,85$.

Полученное значение $w = 0,85$ говорит о наличии высокой степени согласованности мнений экспертов [45].

Далее необходимо выполнить оценку значимости коэффициента конкордации при помощи определения согласования Пирсона (χ^2) [7, 11, 80] по формуле

$$\chi^2 = \frac{12S}{mn(n+1)} = n(m-1)w. \quad (7)$$

Тогда значение согласования Пирсона (χ^2) будет равно:

$$\chi^2 = 4 * (4 - 1) * 0,85 = 10,2.$$

Сравним вычисленное значение χ^2 с табличным значением для числа степеней свободы [41, 102] $K = n - 1 = 4 - 1 = 3$ и при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$. Так как $\chi^2 = 10,2 \geq 7,81473$ (табличное значение).

Поэтому значение коэффициента конкордации ($w = 0,85$) является величиной неслучайной, а полученные результаты имеют смысл и могут использоваться в дальнейших исследованиях.

На основе полученной суммы балльных оценок типов ошибок вычислены показатели их значимости [94]. Результаты опроса преобразуем в матрицу по формуле

$$S_{ij} = x_{max} - x_{ij}, \quad (8)$$

где $x_{max} = 4$ балла.

Преобразованная матрица представлена в таблице 10.

Таблица 10 – Преобразованная матрица

Тип ошибок	Эксперты				Σ	Показатель их значимости (λ)
	1	2	3	4		
графические	2	2	3	2	9	0,375
таксационные	3	3	2	3	11	0,4583
топологические	1	0	0	0	1	0,04167
семантические	0	1	1	1	3	0,125
Итого					24	1

Полученные показатели значимости типов ошибок (λ) отражают степень их влияния на качество составляемых карт лесного хозяйства [3, 21, 30, 41, 54, 80, 102] и будут использоваться в качестве поправочного коэффициента при оценке целесообразности применения мобильных технологий на этапе полевого контурного дешифрирования в процессе лесоустроительных работ. В результате была составлена таблица 11, отражающая значение выявленных ошибок с учетом показателя их значимости.

На основании таблицы 11 можно сделать вывод о том, что с учетом показателя значимости применение мобильной ГИС позволило снизить общую сумму ошибок более чем на 24 %.

Для того чтобы сделать вывод о результатах применения мобильной ГИС на этапе полевого камерального дешифрирования, помимо количества выявленных ошибок, необходимо оценить время, затраченное на камеральную обработку материалов и устранение ошибок, которое представлено в таблице 12. Среднее время, затраченное на камеральную обработку материалов полевого контурного дешифрирования и устранение ошибок, сократилось в среднем на 50 %.

Таблица 11 – Выявленные ошибки с учетом показателя их значимости

Способ	Отчет об ошибках	Графические ошибки с учетом показателя значимости	Таксационные ошибки с учетом показателя значимости	Топологические ошибки с учетом показателя значимости	Семантические ошибки с учетом показателя значимости	Сумма ошибок в отчете с учетом показателя значимости	Сумма ошибок, выявленных при применении способа
Бумажные ортофотопланы	Б112	1,5	0,4583	0,25002	0,125	12	6,54167
	Б143	1,125	0,4583	0,12501	0,125	8	
	Б221	0,75	0	0,20835	0	7	
	Б234	1,125	0	0,29169	0	10	
Мобильная ГИС	М113	0,75	0	0,8334	0	22	4,95855
	М124	0,75	0	0,79173	0	21	
	М213	0,375	0	0,58338	0	15	
	М242	0,375	0	0,50004	0	13	

Таблица 12 – Сводный отчет о времени, затраченном на камеральную обработку материалов и устранение ошибок

Способ получения материалов полевого контурного дешифрирования	Отчет об ошибках	Время, затраченное на камеральный этап, мин	Время, затраченное на устранение ошибок, мин	Всего, мин	Среднее время, мин
Бумажные ортофото-планы	Б112	60	15	75	70
	Б143	60	10	70	
	Б221	45	15	60	
	Б234	60	15	75	
Мобильная ГИС	М113	15	25	40	35
	М124	10	25	35	
	М213	10	20	30	
	М242	15	20	35	

Результаты исследования свидетельствуют о целесообразности отказа от бумажной картографической продукции на полевом этапе лесоустроительных работ в пользу мобильных ГИС. Внедрение мобильных геоинформационных систем на полевом этапе лесоустройства обеспечивает таксатора большим объемом актуальной пространственной информации, существенно снижает вероятность возникновения случайных ошибок, а также сократит временные и трудовые затраты на камеральном этапе.

2.3 Геопространственные знания в картографировании лесного хозяйства

В настоящее время в геопространственной отрасли наблюдается смещение фокуса с данных к знаниям, которые становятся основной ценностью [39, 117]. Знания, выходящие на передний план, открывают новые горизонты для интеграции с более широким спектром источников данных [16]. Эта тенденция содействует вовлечению всех заинтересованных сторон в процессы принятия решений, в том числе тех, у кого нет IT или геопространственного опыта. Данные процессы приведут к сокращению дублирования и задержек в цепочках поставок, лежащих в основе экономики знаний [78].

Среди перспективных областей применения геопространственных знаний можно выделить лесное хозяйство [88].

Для обеспечения достаточно интенсивного и комплексного использования лесных ресурсов, а также сохранения экологического и генетического потенциала лесов России необходимо внедрение последних достижений науки и техники – применение геоинформационных систем и технологий, методов моделирования и оптимизации лесопользования, а также разработок информационных систем разного уровня [48].

Применение геопространственных знаний и методов интеллектуального управления поможет повысить эффективность управления лесохозяйственным комплексом.

Что же такое геопространственные знания? Геопространственное знание представляет собой форму знания, связанного с пространственными отношениями на земной поверхности [56, 81, 91].

Качество и достоверность знаний – определяющий фактор при принятии решений на их основе [1, 42, 113]. Чем качественнее знания, представленные на карте, тем рациональней и правильнее решения, принимаемые на ее основе [2, 31, 111].

Процесс формирования пространственных знаний включает в себя пространственное ситуационное и топологическое моделирование, а также экстернализацию явного пространственного знания [56, 127]. Пространственный контекст, позволяющий структурно согласовывать пространственные объекты и наиболее адекватно их интерпретировать, обеспечивают такие пространственные модели, как карты, космо- и радиолокационные снимки, цифровые модели и т. п.

Процесс формирования геопространственных знаний в общем виде включает в себя такие этапы:

- создание терминологического поля;
- построение онтологий;
- получение знаний из фактов наблюдений и результатов обработки геоданных [5, 96, 97].

Для того чтобы применять знания для решения практических задач, их организуют в базы знаний. База знаний представляет собой четко организованное

множество знаний о конкретной предметной области, которые размещены в памяти компьютера в соответствии с определенной информационной моделью [116].

Основная идея создания базы знаний – опыт человека-эксперта в какой-либо области перенести на более формальный язык представления знаний [22–24]. Главная цель создания любой базы знаний – сократить временные и трудовые затраты на решение типовых задач.

Новым перспективным направлением в развитии картографического обеспечения лесного хозяйства является отображение геопространственных знаний на тематических картах лесного хозяйства [4, 106].

Геопространственные знания уже сегодня отображаются на тематических картах лесного хозяйства, например, на картах хозяйственно-возможного сбора пищевых лесных ресурсов, фрагмент которой представлен на рисунке 8.

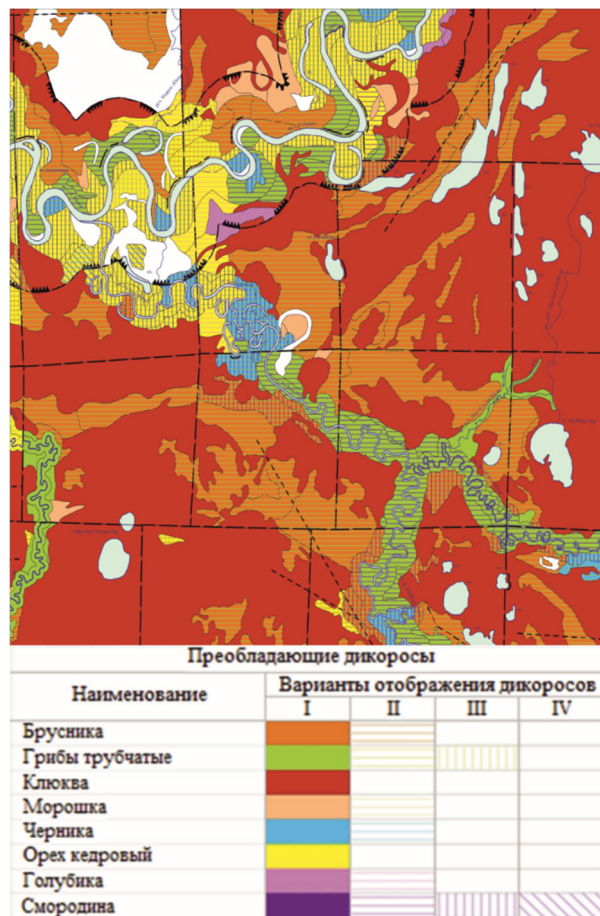


Рисунок 8 – Фрагмент карты хозяйственно-возможного сбора пищевых лесных ресурсов

На таких картах отображены знания о местах произрастания дикорастущей промысловой продукции, которые формируются на основе анализа информации о типичных условиях произрастания дикоросов и геопространственной информации о природных условиях и объектах, расположенных на картографируемой территории. На рассматриваемой карте элементы тематического содержания представлены исключительно геопространственными знаниями при помощи способа ареалов.

Дальнейшее развитие методов отображения геопространственных знаний [27] на картах лесного хозяйства позволит расширить сферы применения картографической продукции в лесном хозяйстве. При этом карты, содержащие геопространственные знания, могут значительно упростить решение многих рутинных геоинформационных задач, сократить временные и трудовые затраты, повысить эффективность принятия управленческих решений, а также расширить круг задач, решаемых на основе тематических карт.

Карты лесного хозяйства, дополненные геопространственными знаниями, которые не входят в перечень обязательных при проведении лесоустроительных работ, могут создаваться по заказу лесничеств, арендаторов и т. д. для решения конкретных геопространственных задач, связанных с планированием различных мероприятий, непосредственным ведением лесохозяйственной деятельности и многим другим вне проведения лесоустройства. На основании этого, классификация карт лесного хозяйства может быть дополнена новым видом тематических карт – картами лесного хозяйства, содержание которых дополнено геопространственными знаниями, что показано на рисунке 9.

Процесс формирования геопространственных знаний для их дальнейшего отображения на тематических картах лесного хозяйства имеет ряд особенностей:

- при формировании геопространственных знаний используется совмещенная 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, энциклопедии и т. п.;

– база геопространственных знаний формируется в той же ГИС-среде, в которой и совмещенная база данных.

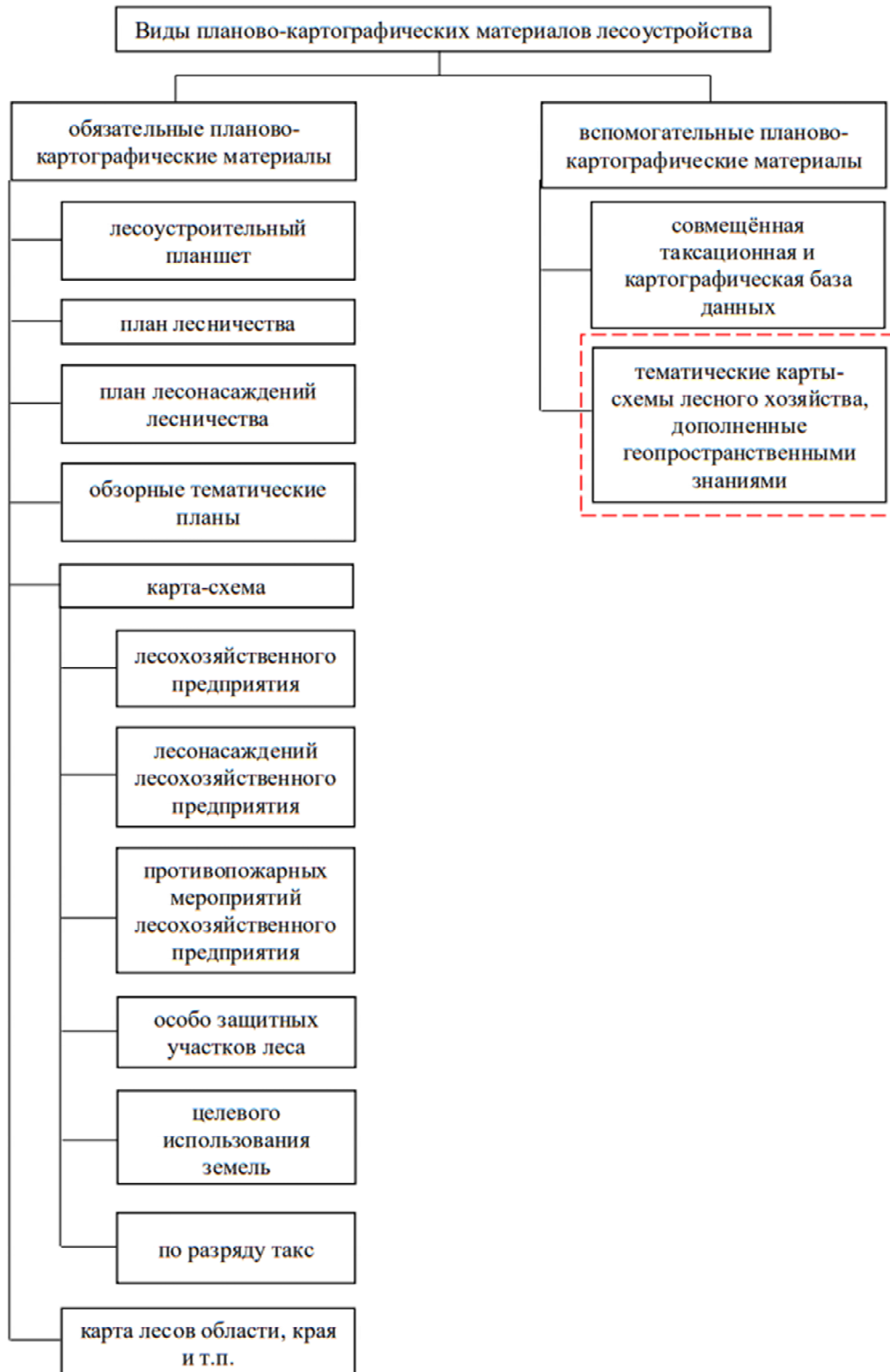


Рисунок 9 – Виды планово-картографических материалов, создаваемых в процессе лесоустроительных работ

Процесс формирования геопространственных знаний для предприятий лесного хозяйства состоит из пяти основных этапов. На рисунке 10 представлен разработанный алгоритм формирования базы геопространственных знаний для дальнейшего их отображения на тематической карте лесного хозяйства.

Первый этап – подготовительный, он заключается в формулировке задач, которые будут решаться по создаваемой карте лесного хозяйства, дополненной геопространственными знаниями. Заказчиком определяются требования к ее содержанию.

На втором этапе специалисты по знаниям проводят анализ задач, выполняют сбор, обработку и анализ исходных источников информации – планово-картографических и прочих материалов, составленных при лесоустройстве, материалов дистанционного зондирования, топографических карт и прочих источников гео данных и определяют, какие именно данные необходимы для формирования геопространственных знаний, которые будут отображены на карте.

Третий этап заключается в сборе и анализе экспертных знаний, а также выявлении знаний, необходимых для формирования геопространственных знаний, которые будут отображаться на тематических картах лесного хозяйства, дополненных геопространственными знаниями.

Четвертый этап – разработка методики формирования геопространственных знаний, заключающаяся в создании алгоритма автоматизированного получения геопространственных знаний на основе анализа данных и их сопоставления с экспертными знаниями. На этом этапе выполняется формализация экспертных знаний.

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

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

$$\begin{aligned} ((\{a_1; a_2; \dots\} \cup \{b_1; b_2; \dots\} \cup \dots \cup \{n_1; n_2; \dots\}) \cap \{Z e_1; Z e_2; \dots\}) \in A = \\ = \{Z g_1; Z g_2; \dots\}, \end{aligned} \quad (9)$$

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.

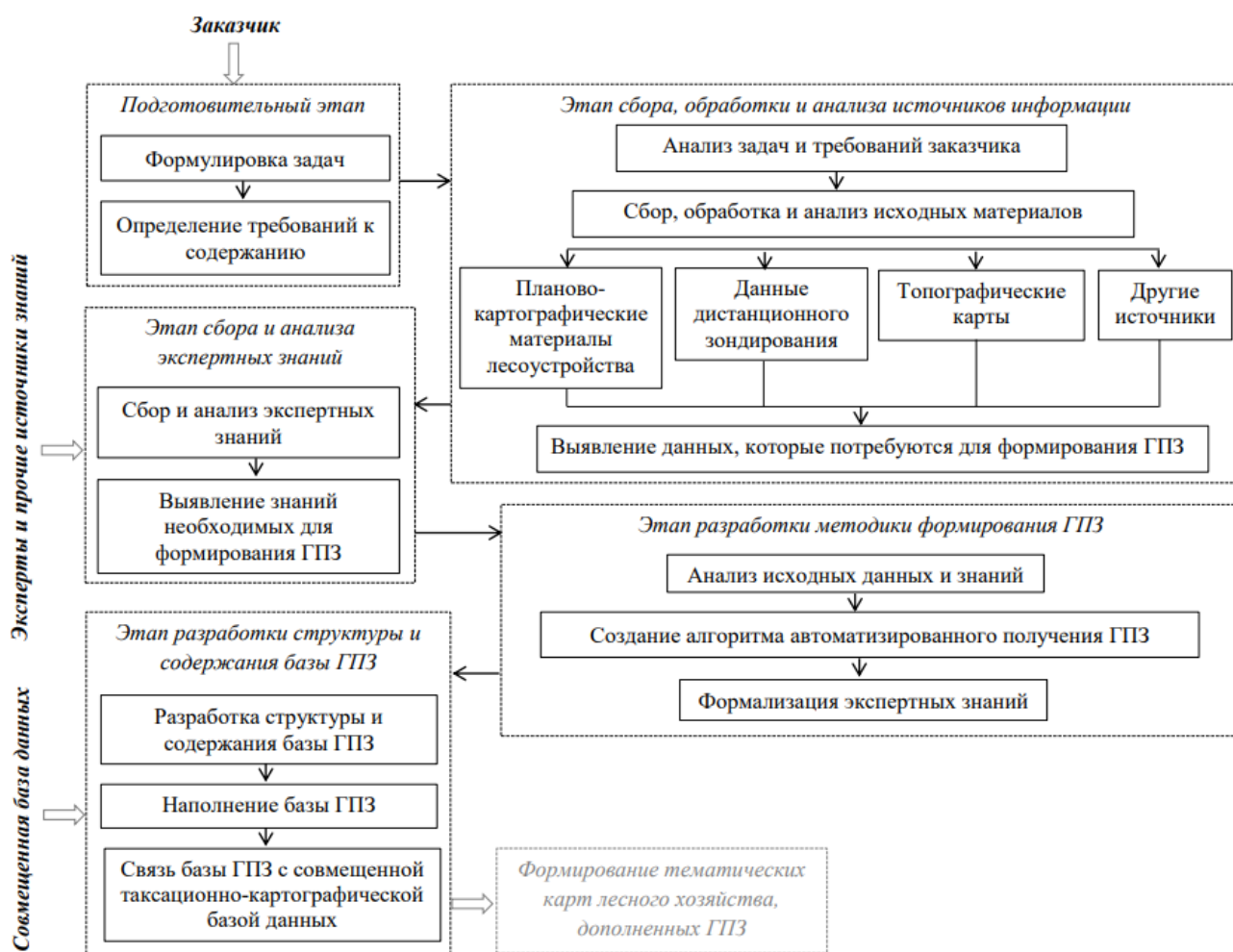


Рисунок 10 – Алгоритм формирования базы геопространственных знаний для создания карт лесного хозяйства, дополненных геопространственными знаниями

Пятый этап – разработка структуры и содержания базы геопространственных знаний. На основе результатов предыдущих этапов создается база геопространственных знаний, связанная с совмещенной базой данных и содержащая формализованное представление экспертных знаний, алгоритмов получения геопространственных знаний и данные, необходимые для их формирования.

На основе базы геопространственных знаний и совмещенной таксационно-картографической базы данных можно создавать различные карты лесного хозяйства, дополненные геопространственными знаниями, позволяющие ускорить решение многих задач в управлении лесным хозяйством на разных уровнях.

Знания о лесных ресурсах необходимы в разных сферах деятельности, так как направлений использования лесных ресурсов достаточно много [105]. Основные направления представлены на рисунке 11.



Рисунок 11 – Основные направления использования лесных ресурсов

Помимо основных направлений использования, лесные ресурсы также используются и косвенно:

- создаются пылезащитные лесные полосы, защищающие сельскохозяйственные насаждения от ветров;
- производится террасирование горных склонов, защита от селей;
- создаются пастбищезащитные лесонасаждения;

– размещаются санатории, зоны отдыха и детские оздоровительные лагеря на лесных землях [105].

Поэтому предложенная база геопространственных знаний лесного хозяйства может дополняться в зависимости от задач, которые необходимо решить.

В ходе исследования была разработана классификация нового вида карт лесного хозяйства, содержание которых дополнено геопространственными знаниями, представленная на рисунке 12.



Рисунок 12 – Классификация карт лесного хозяйства, содержащих геопространственные знания

Тематические карты лесного хозяйства могут стать одной из форм представления геопространственных знаний, способной повысить скорости и качества решения задач. Особенно перспективным представляется углубленный анализ геопространственных знаний, сформированных и отраженных на различных картах в сочетании с объективной геоинформацией о местности, позволяющий получать новые знания.

Выводы по разделу 2

В ходе исследования были изучены различные виды картографической продукции, составляемой в процессе лесоустроительных работ. Рассмотрена нормативно-правовая база, определяющая требования к картам лесного хозяйства, порядку их составления и оформления. Исследованы различные источники для составления карт лесного хозяйства, определены требования к ним. Выполнена оценка целесообразности внедрения мобильных технологий на полевом этапе лесоустройства посредством проведения экспериментальных работ. Изучено новое перспективное направление картографирования лесного хозяйства – отображение геопространственных знаний на тематических картах лесного хозяйства.

По результатам проведенного исследования были сделаны следующие выводы.

1 Различные картографические материалы, отображающие современное состояние лесонасаждений и обеспечивающие потребителя достоверной и наглядной информацией о лесных ресурсах, создаются в процессе лесоустройства.

2 Требования к картам лесного хозяйства, порядку их составления и оформления регламентированы нормативно-правовыми актами.

3 Результаты исследования свидетельствуют о целесообразности отказа от бумажной картографической продукции на полевом этапе лесоустроительных работ в пользу мобильных ГИС.

4 Новым перспективным направлением в развитии картографического обеспечения лесного хозяйства является отображение геопространственных знаний на тематических картах лесного хозяйства.

5 Тематические карты лесного хозяйства могут стать одной из форм представления геопространственных знаний, ориентированной на улучшение скорости и качества решения задач в сфере лесного хозяйства.

6 Классификация карт лесного хозяйства может быть дополнена новым видом тематических карт – картами лесного хозяйства, содержание которых дополнено геопространственными знаниями.

7 Карты лесного хозяйства, содержание которых дополнено геопространственными знаниями, могут составляться для различных целей, поэтому предложено их классифицировать по таким признакам, как потребители, решаемые задачи, тематика и назначение.

В итоге можно сделать вывод о том, что новая методика геоинформационного картографирования лесного хозяйства должна обеспечивать не только переход на мобильные ГИС на полевом этапе лесоустройства, но и возможность внедрения современных источников информации, а также создания тематических карт лесного хозяйства, содержание которых дополнено геопространственными знаниями.

3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ МОБИЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

3.1 Разработка методики составления карт лесного хозяйства с применением мобильных технологий

На основе анализа современного состояния методов геоинформационного картографирования лесного хозяйства и новейших тенденций в картографии в ходе исследования была разработана методика создания картографической продукции для предприятий лесного хозяйства, которая предусматривает внедрение мобильной ГИС на полевом этапе лесоустройства. Предложенная методика позволит со временем полностью исключить подготовительный этап, на котором производится векторизация материалов предыдущего лесоустройства по причине перехода на электронный документооборот.

Разработанная методика предусматривает возможность создания тематических карт лесного хозяйства, дополненных геопространственными знаниями, которые ориентированы на решение конкретных задач лесохозяйственной отрасли.

Рассмотрим подробнее предложенную методику создания карт лесного хозяйства.

Предварительный этап нацелен на создание совмещенной базы данных и включает в себя такие процессы, как отбор исходных планово-картографических материалов для составления топографической основы, создание проекта в программном обеспечении MapInfo, добавление в проект слоев топографической основы и тематического содержания. Производится сканирование бумажных общегеографических и тематических планово-картографических исходных материалов, добавление в проект планово-картографических исходных материалов и их геопривязка, совмещение планово-картографических исходных материалов.

Элементы общегеографической основы, являющиеся частью лесохозяйственной инфраструктуры, вносятся в один слой с элементами тематического содержа-

ния – «L», включающий в себя выделы, просеки рубленые, визиры, профили, объекты гидрографии и дорожной сети, а также коммуникации. Такая структура базы данных обусловлена тем, что при создании таксационных описаний, которые являются частью материалов лесоустройства и создаются на основе совмещенной базы данных, производится автоматическая нумерация не только выделов, но и объектов инфраструктуры.

Квартальная сеть вносится в слой «Net».

Все нематериальные элементы содержания, такие как условные просеки, границы лесничеств, урочищ и т. п., направления течения рек, различные подписи, границы исключений (населенных пунктов и прочих территорий, не входящие в земли лесного фонда) вносятся в слой «Zn». При необходимости, в этом же слое размещаются объекты, относящиеся к рельефу.

На рисунке 13 представлена структура картографической части совмещенной базы данных.

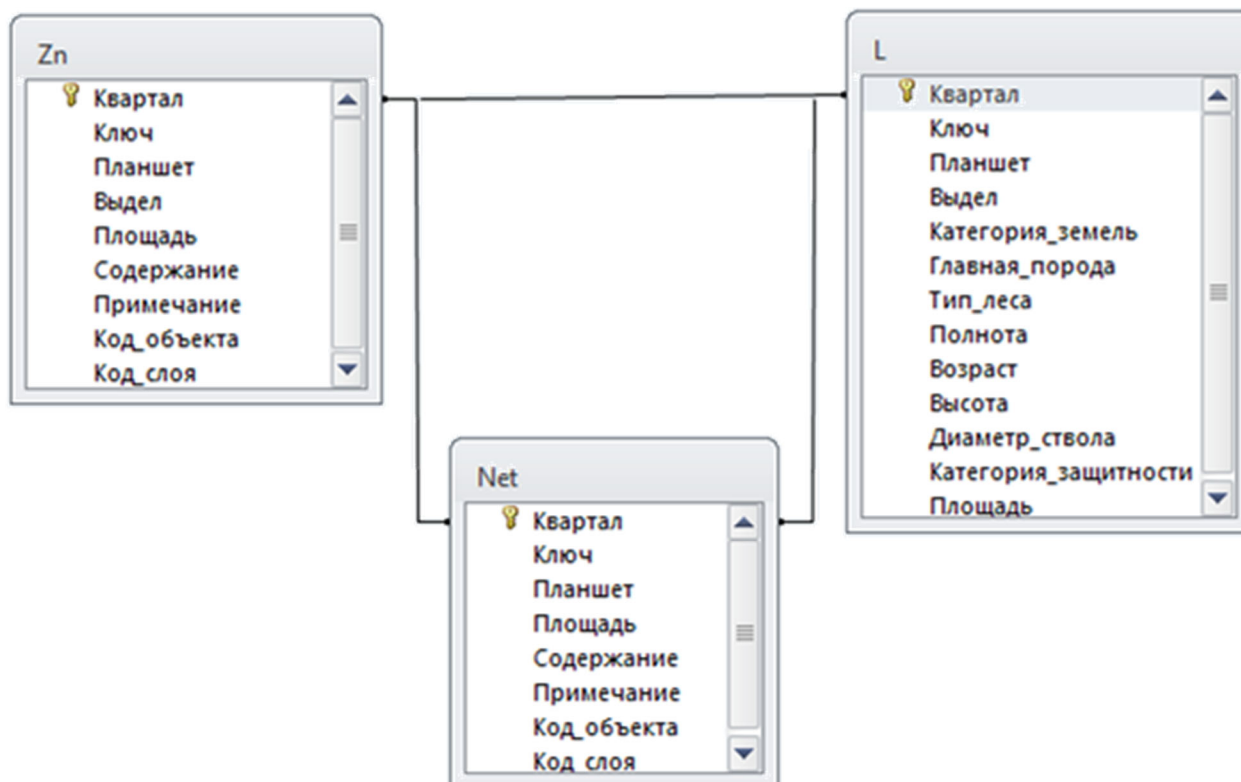


Рисунок 13 – Структура картографической части базы данных для предприятий лесного хозяйства

Этап векторизации подразумевает векторизацию материалов топографической основы, ее актуализацию на основе материалов дистанционного зондирования (аэро- и космоснимков, материалов лазерного сканирования и т. п.) в зависимости от разряда лесоустройства и технического задания, а также векторизацию тематического содержания на основе материалов предыдущего лесоустройства если оно выполняется повторно.

Этап полевого контурного дешифрирования предполагает определение или актуализацию границ таксационных выделов и таксационных показателей лесонасаждений в полевых условиях с использованием мобильного оборудования. Он начинается с экспорта созданных ранее таблиц в формат Shape. Программное обеспечение CarryMap Builder предварительно устанавливается на мобильное устройство. Разработанные на предыдущем этапе таблицы загружаются на устройство и открываются в программе CarryMap Builder. Далее, в случае первичного лесоустройства, таксатор при помощи стилуса наносит контуры границ таксационных выделов и заполняет базу данных таксационных показателей для каждого выдела. При повторном дешифрировании таксатор уточняет границы выделов и актуализирует таксационные показатели в базе данных.

Этап формирования совмещенной таксационно-картографической базы данных нацелен на создание базы данных, предназначенной для дальнейшего составления и печати картографической продукции по результатам лесоустройства. Начинается данный этап с экспорта базы данных в геоинформационную систему MapInfo. Далее следуют проверка точности нанесения таксационных выделов и контроль площадей. Затем наносятся условные обозначения, такие как границы лесничеств, границы участковых лесничеств, условные просеки, границы защитных зон, подписи названий лесничеств, участковых лесничеств, смежных лесничеств и урочищ. Проводятся редакторский контроль и корректура.

Этап формирования, оформления и подготовки к печати планово-картографических материалов лесоустройства включает такие производственные процессы, как создание шаблонов зарамочного оформления лесоустроительных план-

шетов и планов, формирование лесоустроительных планшетов, плана лесничества, схем расположения планшетов и листов планов, создание планшетов и планов в растровом формате по которым проводятся редакторский контроль и корректура. Также на этом этапе создаются тематические карты лесничества (окрашенные по целевому назначению, классам пожарной опасности, запасу дикорастущей промышленной продукции и т. д.), предусмотренные техническим заданием на лесоустроительные работы.

Формирование содержания каждого планово-картографического материала производится путем:

- предварительной разбивки картографируемой территории на планшеты и листы планов;
- делением совмещенной базы данных на планшеты и листы планов;
- корректуры и оформления лесоустроительных планшетов и листов планов.

Масштаб и формат создаваемых планово-картографических материалов регламентированы нормативно-правовыми актами и техническим заданием.

Этап формирования, оформления и подготовки к печати тематических карт лесного хозяйства, содержание которых дополнено геопространственными знаниями. Этот этап начинается с анализа задач, которые будут решаться на их основе, и требований, определенных заказчиком. Далее проводятся сбор, обработка и анализ исходных источников информации и экспертных знаний, выявление информации и знаний, необходимых для дальнейшего получения геопространственных знаний, которые будут отображаться на картах. Наиболее важный процесс, выполняемый на данном этапе, – разработка методики получения геопространственных знаний. Далее проводятся формализация экспертных знаний, разработка структуры и содержания базы геопространственных знаний и ее наполнение. В базу знаний вносятся формализованные экспертные знания, необходимая информация и разработанные алгоритмы формирования геопространственных знаний. Выполняется связь таблиц базы геопространственных знаний с таблицами совмещенной базы данных, созданной в процессе лесоустроительных работ. Далее выбирается опти-

мальный способ отображения геопространственных знаний, обеспечивающий наилучшую наглядность, и формируется картографическое изображение при помощи стандартных инструментов ГИС MapInfo Professional, например команды «Создать тематическую карту...», которая находится во вкладке «Карта» ниспадающего меню. Производятся оформление карт и подготовка к печати.

Заключительным процессом является *печать планово-картографических материалов лесного хозяйства*.

Следует отметить основные отличия предложенной методики создания картографической продукции для лесохозяйственной деятельности от той, которую в настоящее время применяют предприятия, занимающиеся лесоустройством:

- отказ от бумажных ортофотопланов в пользу мобильных ГИС на полевом этапе лесоустройства;
- этап полевых лесоустроительных работ делит камеральный этап на две части, тогда как в применяемой методике он предшествует камеральному;
- векторизация и актуализация планово-картографических материалов предыдущего лесоустройства проводится до полевого этапа лесоустройства, по этой причине таксатор работает с актуальной топографической информацией на местности;
- таксатор вносит изменения как в картографическую базу данных, так и в таксационную непосредственно на местности, что впоследствии сократит временные и трудовые затраты на камеральном этапе лесоустройства;
- повторное лесоустройство по предложенной технологии исключает этап подготовки исходных материалов;
- обеспечивается возможность создания тематических карт лесного хозяйства, содержание которых дополнено геопространственными знаниями, предназначенных для решения конкретных задач в сфере лесного хозяйства.

3.2 Разработка технологических решений составления картографической продукции для лесохозяйственной отрасли с применением мобильных технологий

На основе предложенной методики составления картографической продукции для лесохозяйственной отрасли с применением мобильных технологий разработана технологическая схема, представляющая собой алгоритм, наглядно отображающий этапы предложенной методики и показанный на рисунке 14. На схеме красным цветом выделены авторские процессы, разработанные в ходе диссертационного исследования.

Важным аспектом при внедрении предложенной методики создания карт лесного хозяйства являются технические решения, обеспечивающие возможность ее применения.

В ходе исследования были разработаны технологические решения, касающиеся таких аспектов, как:

- требования к программному обеспечению;
- аппаратные и системные требования к мобильному устройству, используемому на этапе полевого контурного дешифрирования;
- форматы представления данных;
- возможности сбора дополнительных данных в процессе проведения полевого контурного дешифрирования;
- особенности проведения редакторского контроля.

В качестве программного обеспечения рекомендуется использовать мобильные приложения, построенные на базе технологий ArcGIS и имеющие возможности сбора, редактирования и обработки пространственных данных, например CarryMap Builder. Существенным преимуществом этой мобильной ГИС является открытый программный код, позволяющий существенно сократить затраты на проведение полевого этапа лесоустроительных работ. При этом безопасность данных, загружаемых в приложение, обеспечивается за счет хранения данных на устройстве.

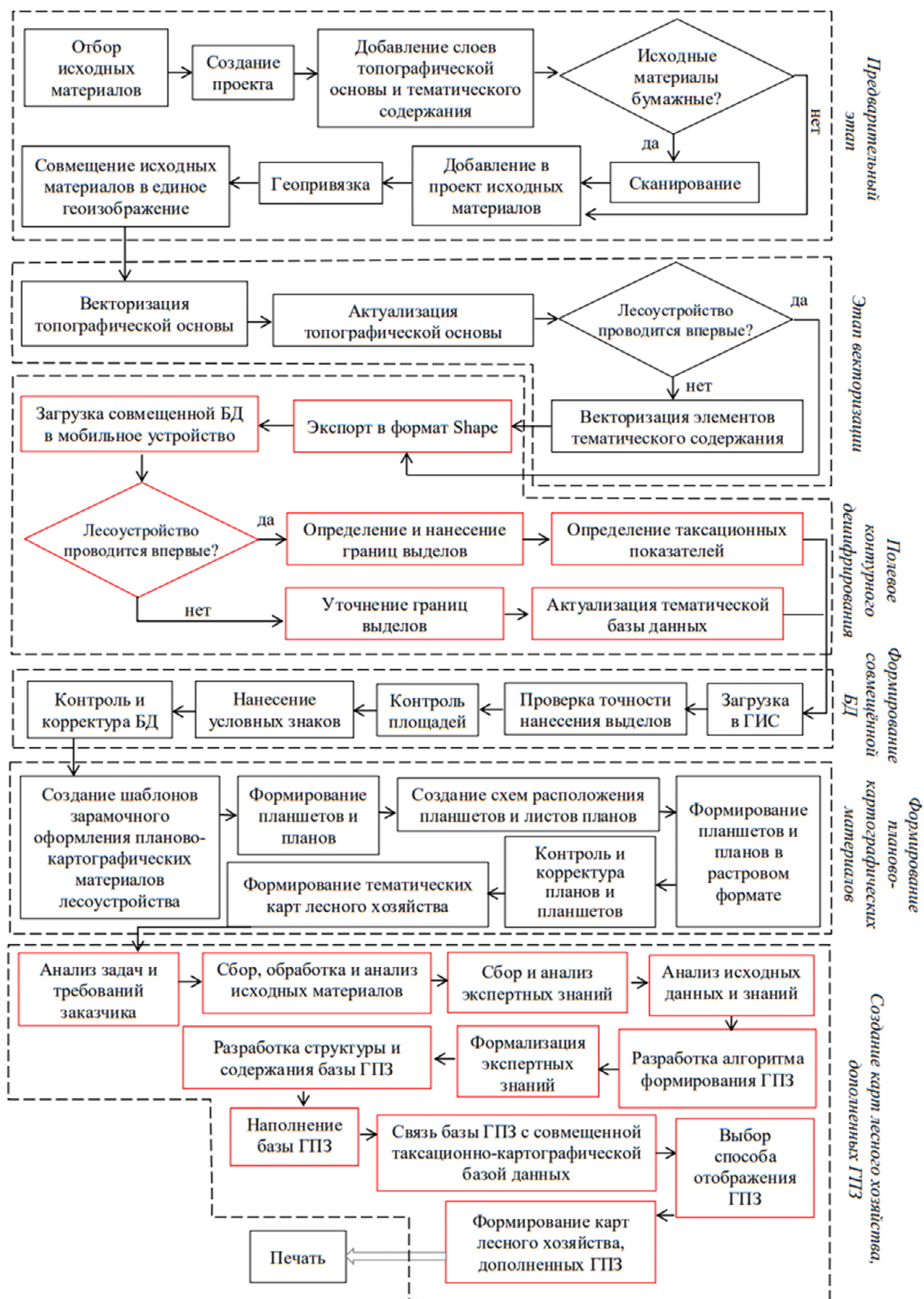


Рисунок 14 – Технологическая схема создания карт лесного хозяйства

Для обеспечения наибольшей эффективности предложенной методики необходимо учитывать минимальные требования не только к программной, но и к аппаратной части применяемого программно-аппаратного комплекса.

Для проведения полевого контурного дешифрирования необходимо выбирать устройство, имеющее 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 автономной работы устройства. Одного заряда аккумулятора должно хватать на один рабочий день, либо устройство должно иметь сменные аккумуляторы. Еще одним немаловажным аспектом является наличие устройства ввода информации – стилуса – либо совместимость с ним, так как именно стилус позволяет обеспечить наиболее удобное и точное нанесение графических объектов на картографическое изображение. Также 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 полевого контурного дешифрирования может производиться сбор дополнительных материалов – фото и видео, позволяющих зафиксировать какие-либо особенности территории, ее основные характеристики и т. п., а также упростить процесс камеральной обработки материалов полевого этапа.

При помощи мобильного устройства могут быть зафиксированы координаты объектов. При недостаточной точности встроенного GPS-приемника, может быть использовано дополнительное оборудование, которое совместимо с выбранным программным обеспечением.

С учетом выбора программного обеспечения, работающего на базе технологий ArcGIS, необходимо форматировать таблицы совмещенной таксационной и картографической базы данных в формат .shape.

Для оптимизации производственных затрат предлагается не проводить пробную печать планово-картографических материалов лесоустройства, предусмотрен-

ную традиционной технологией, а выполнять редакторский контроль на основе материалов в каком-либо растровом формате представления данных, например .jpg или .pdf.

Кроме того, технологические решения были разработаны и для этапа формирования геопространственных знаний, которые могут отображаться на тематических картах лесного хозяйства, создаваемых на основе материалов лесоустроительных работ, но не входящих в обязательный перечень планово-картографических материалов лесоустройства и предназначенных для решения конкретных задач лесного хозяйства.

Так, алгоритм, обеспечивающий формирование геопространственных знаний на основе сопоставления информации и экспертных знаний, реализован в том же программном обеспечении, что и совмещенная база данных, при помощи SQL-запроса.

При составлении различных по тематике карт лесного хозяйства, дополненных геопространственными знаниями, алгоритм получения геопространственных знаний будет разным, зависящим прежде всего от задач, которые будут решаться по картографическому производству, а также исходной информации и экспертных знаний, т. е. для каждой карты, алгоритм получения геопространственных знаний должен разрабатываться индивидуально.

Предложенная структура базы геопространственных знаний для предприятий лесного хозяйства представлена на рисунке 15.

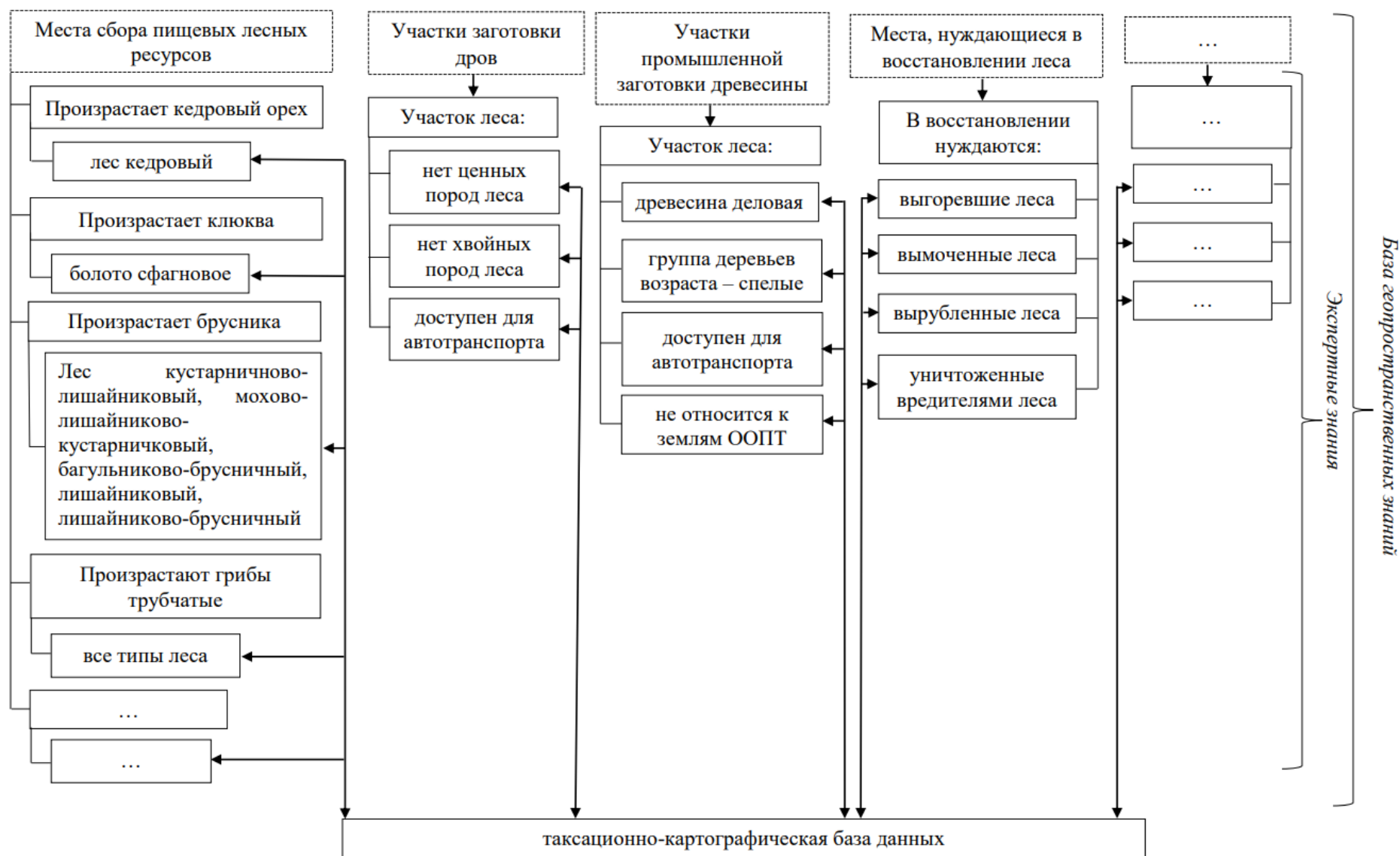


Рисунок 15 – Структура базы геопрограммированных знаний

3.3 Апробация результатов исследования

Апробация предложенной методики и технологических решений проводилась в процессе лесоустроительных работ, проводимых ООО НПО «Экологическая безопасность», на территорию городских лесов г. Новосибирска в 2020 г.

По причине того, что техническое задание на проведение лесоустроительных работ предусматривает их выполнение по определенной заранее методике, апробация предложенной методики выполнялась на отдельном участке, как традиционным методом, так и предложенным. В процессе исследования был выбран участок, имеющий типичные таксационные характеристики для данного типа лесов. Площадь участка, на котором проводилась апробация методики, – 245 га. Таким образом, впоследствии можно будет наиболее корректно оценить эффективность результатов диссертационного исследования.

Так как на территории лесоустроительных работ расположены городские леса, то нормативными актами предусмотрено проведение лесоустройства 1-го разряда.

Выбор исходных материалов был определен техническим заданием на выполнение лесоустроительных работ, а также нормативно-правовыми актами. В качестве общегеографической основы были использованы топографические карты масштаба 1 : 25 000. Обновление элементов общегеографической основы проводилось на основании космоснимков высокого разрешения. Лесоустроительные работы на данную территорию выполнялись повторно, поэтому в качестве одного из источников тематической информации была использована совмещенная таксационно-картографическая база данных предыдущего лесоустройства.

Сначала были созданы таблицы совмещенной таксационно-картографической базы данных, предусмотренные предложенной методикой, в ГИС MapInfo Professional.

Так как такие исходные планово-картографические материалы как топографические карты и космические снимки представлены в цифровом виде, то этап сканирования был исключен. Исходные планово-картографические материалы были

добавлены в проект и выполнена их геопривязка. В результате было получено исходное геоизображение, включающее в себя слои с топографическими картами, космическими снимками высокого разрешения и совмещенной базой данных предыдущего лесоустройства. Все эти источники будут использоваться при обновлении элементов общегеографической основы и при проведении полевого контурного дешифрирования. На рисунке 16 представлен фрагмент исходного геоизображения.

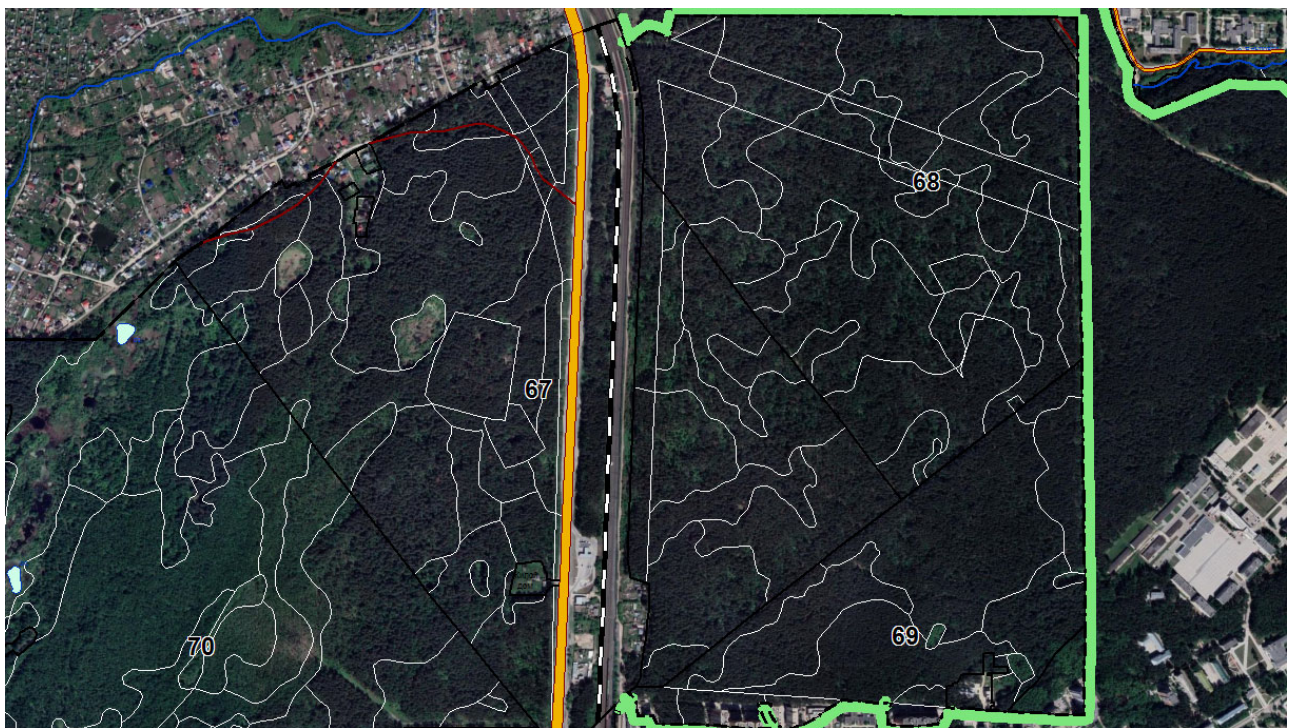


Рисунок 16 – Фрагмент исходного геоизображения

Далее необходимо было подготовить исходные материалы для их применения на этапе полевого контурного дешифрирования. На основе космоснимков и топографических карт была проведена актуализация элементов общегеографического содержания, содержащихся в слоях совмещенной базы данных предыдущего лесоустройства. Выявленные несоответствия были уточнены.

Объекты тематического содержания (выделы, квартальная сеть, просеки и т. п.), были перенесены в проект из совмещенной базы данных предыдущего лесоустройства без изменений. Так как техническим заданием предусмотрено прове-

дение полевого контурного дешифрирования, то все изменения, касающиеся элементов тематического содержания, будут внесены на основе материалов полевого этапа лесоустроительных работ.

Этап полевого контурного дешифрирования начинается с подготовительных работ – установки на выбранное заранее мобильное устройство (планшетный компьютер) программного обеспечения CarryMap Builder, экспорта подготовленных на предыдущем этапе исходных материалов в формат .shape и их загрузки на планшетный компьютер. На рисунке 17 представлен снимок экрана мобильного устройства с открытыми в CarryMap Builder исходными материалами.



Рисунок 17 – Снимок экрана мобильного устройства с загруженными в приложение CarryMap Builder исходными материалами

В ходе полевого этапа лесоустройства, таксатор на основе предложенной методики при помощи устройства ввода (стилуса) уточнял границы объектов тематического содержания и их таксационные характеристики, которые внес в таблицы. На рисунке 18 показан процесс нанесения границ выдела. Таким образом, было проведено полевое контурное дешифрирование всего участка, выбранного для апробации предложенной методики.

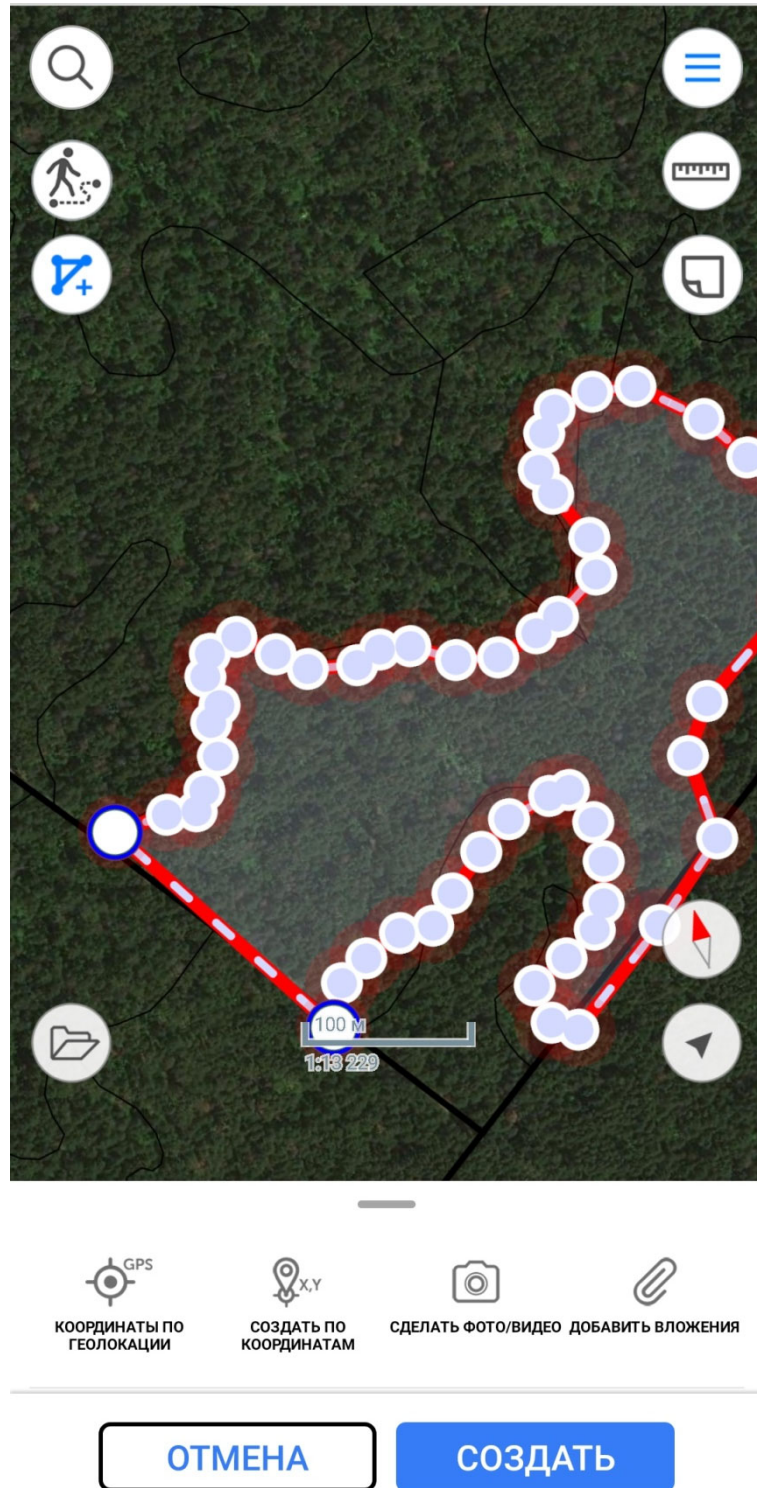


Рисунок 18 – Нанесение границ выдела в приложении CarryMap Builder

На следующем этапе была сформирована совмещенная таксационно-картографическая база данных. Материалы, полученные в ходе полевого этапа лесоустройства, были загружены в ГИС MapInfo Professional. Затем была проведена

корректурa нанесения объектов тематического содержания, контроль площадей, проверки топологии и правильности внесения таксационных характеристик. Также на данном этапе были нанесены условные обозначения в слое «Zп». Был проведен редакторский контроль и корректурa. На данном этапе производилась фиксация всех выявленных ошибок, а также время на их устранение для проведения последующей оценки эффективности предложенной методики, которая будет приведена в 3.4.

Далее были сформированы шаблоны зарамочного оформления лесоустроительных планшетов и планов, содержание и оформление которых регламентировано нормативно-правовыми актами.

Затем была произведена предварительная «разбивка» картографического изображения на лесоустроительные планшеты и листы планов, которая призвана наиболее оптимальным образом расположить участки картографируемой территории на отдельных планшетах и листах планов. На рисунках 19, 20 представлены схемы расположения листов планов и планшетов. С целью неразглашения информации, предназначенной для служебного пользования, все картографические материалы приведены без географических ориентиров. Принцип деления территории на планшеты основан на том, что в один планшет входит как правило один квартал. Участок, на котором проводилась апробация предложенной методики, занимает территорию одного лесного квартала и при формировании лесоустроительных планшетов, соответственно, разместился на одном лесоустроительном планшете.

Далее все слои совмещенной базы данных были разделены на отдельные лесоустроительные планшеты и листы планов при помощи SQL-запросов, границы которых были определены ранее.

Содержание и оформление каждого из лесоустроительных планшетов и листов планов проверялось и корректировалось для достижения наилучшей наглядности и читаемости картографического изображения.

СХЕМА

расположения листов и частей плана

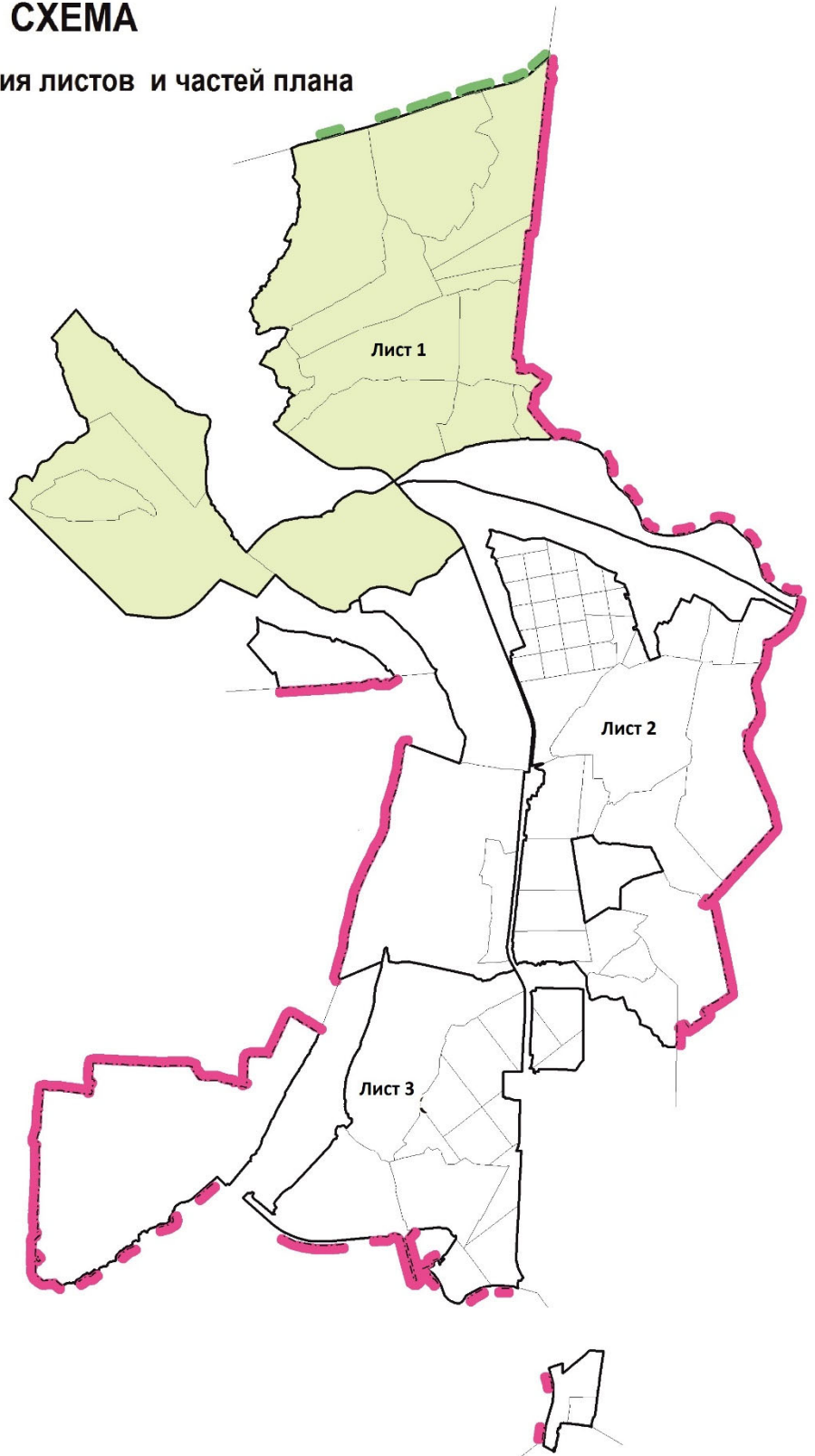


Рисунок 19 – Схема расположения листов планов

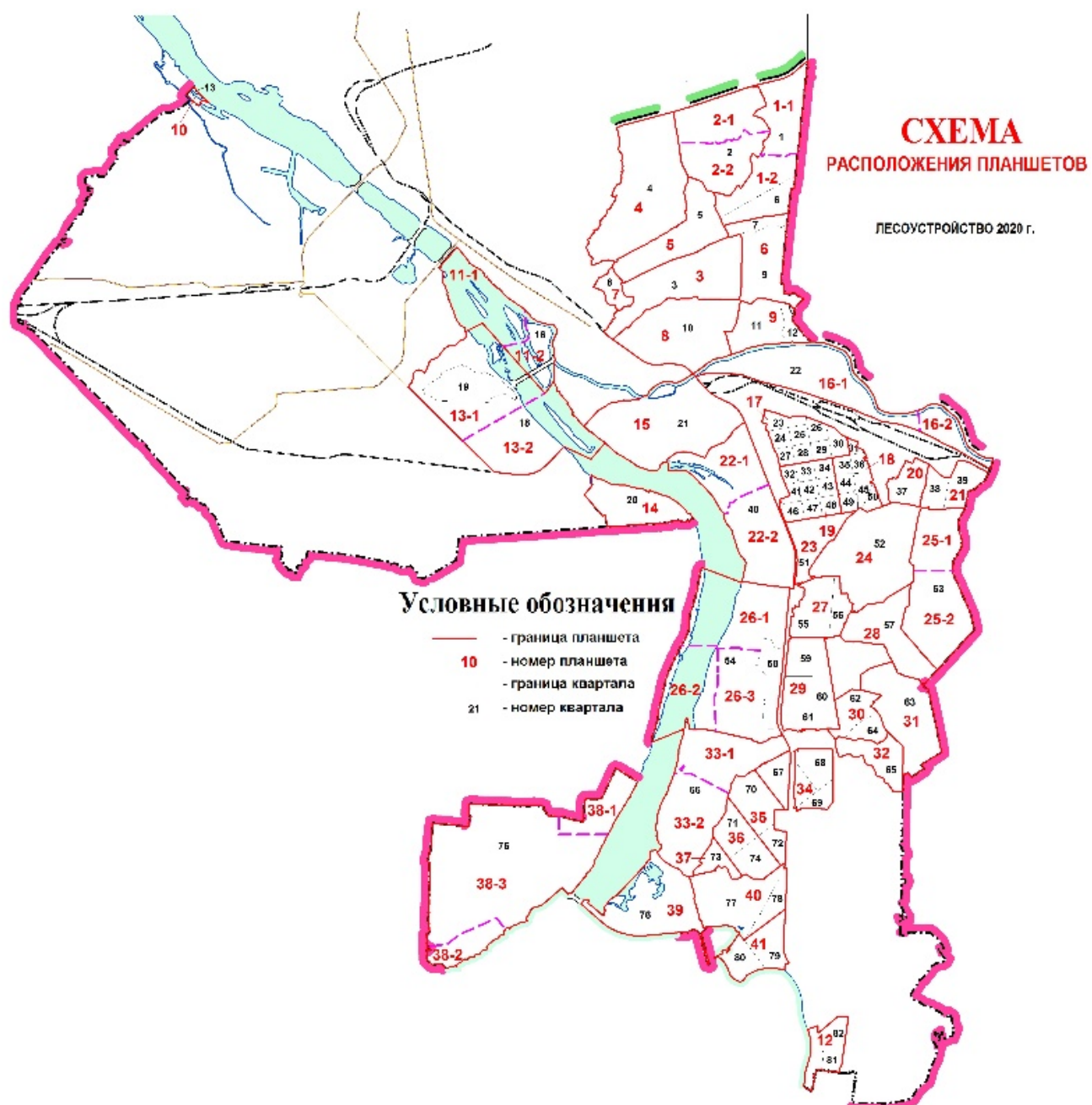


Рисунок 20 – Схема расположения лесоустроительных планшеты

Для проведения редакторского контроля и корректуры на данном этапе все сформированные плано-картографические материалы были экспортированы в растровый формат .jpg для наибольшей наглядности, как показано на рисунке 21.

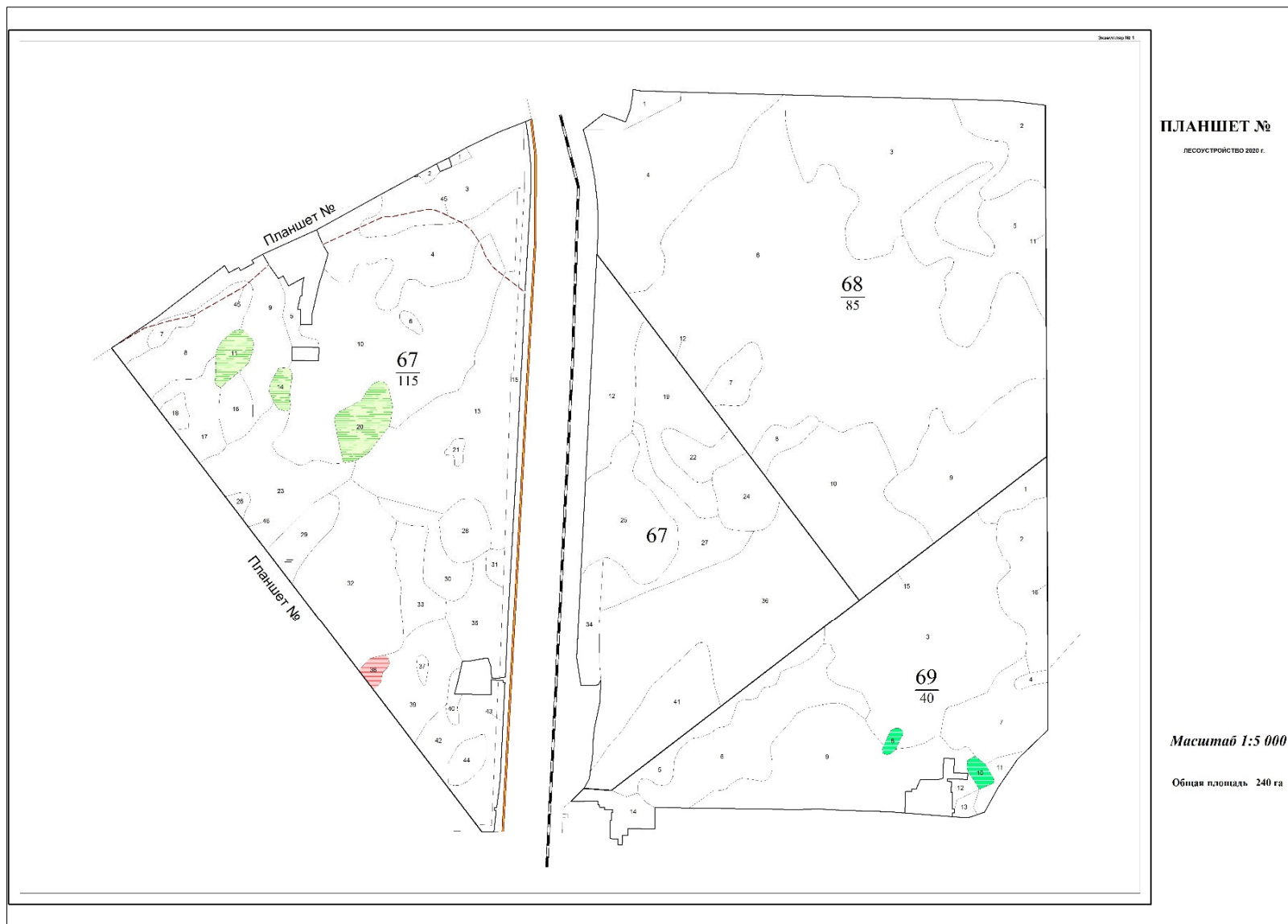


Рисунок 21 – Лесоустроительный планшет

Затем при помощи функционала MapInfo Professional были автоматически составлены предусмотренные техническим заданием тематические карты лесного хозяйства.

Для оценки эффективности применения предложенной методики в различных природных, климатических и инфраструктурных условиях была проведена ее апробация на примере составления планово-картографических материалов лесоустройства на территорию Березовского лесничества Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в 2021 г.

Апробация методики проводилась аналогично выполненной ранее на территории лесов города Новосибирска.

В ходе полевых работ участниками апробации (таксаторами) были выявлены две существенные трудности при применении предложенной методики.

Ввиду удаленности территории проведения апробации от населенных пунктов, большая ее часть находилась вне зоны покрытия сотовой связи, что подтверждает рисунок 22. Это значительно снижало точность определения координат и как следствие точность нанесения контуров выделов на карту.

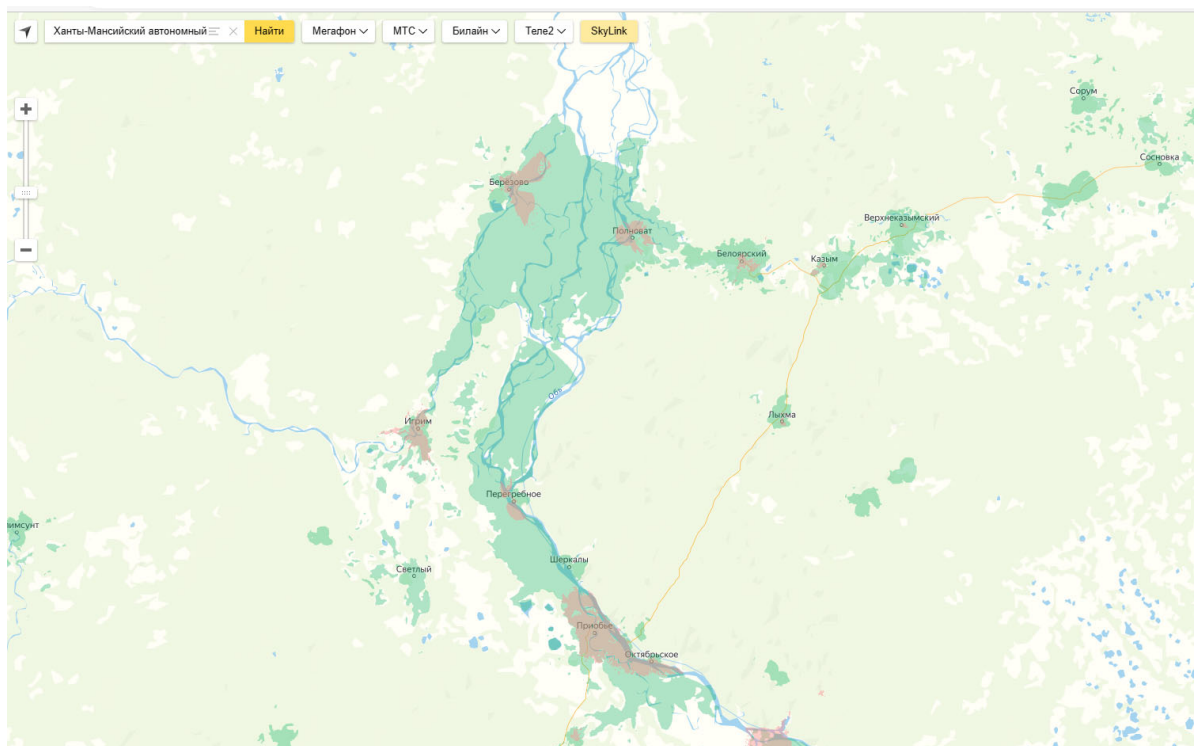


Рисунок 22 – Зоны покрытия операторов сотовой связи

Применение предложенной методики стало практически невозможным при многодневной работе на больших расстояниях от базового лагеря, так как ресурсов аккумуляторов устройства недостаточно для настолько продолжительного времени автономной работы, а емкости портативных зарядных устройств 60 000 мАч хватало не более чем на восемь циклов полного заряда. При этом в условиях базового лагеря заряд аккумуляторов и портативных зарядных устройств производился при помощи мобильных электрогенераторов, работающих на жидком топливе. По этой причине часть материалов апробации была предоставлена для дальнейшей камеральной обработки в бумажном виде, что делает невозможной корректную оценку их точности.

По итогам камеральной обработки материалов полевых работ были составлены карты лесного хозяйства на территорию Березовского лесничества Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, которые представлены на рисунках 23–27.

В процессе исследования было решено провести апробацию предложенной методики путем составления тематической карты хозяйственно-возможного сбора пищевых лесных ресурсов, которая входит в перечень планово-картографических материалов, предусмотренных техническим заданием, но при этом на ней отображены геопространственные знания.

Формирование тематических карт лесного хозяйства, как правило, выполняется автоматически при помощи стандартного или дополнительно разработанного функционала ГИС. При этом характеристики, которые отображаются на тематических картах, вносятся вручную для каждой конкретной территории, таксатором.

Разработанная методика подразумевает создание базы геопространственных знаний при создании тематических карт лесного хозяйства. Предложенный подход позволяет в ряде случаев создавать базу геопространственных знаний, которая будет использоваться при составлении тематических карт, позволяющую отказаться от привлечения таксатора на данном этапе работ.

Кроме того, могут создаваться тематические карты лесного хозяйства, не входящие в обязательный перечень, предназначенные для решения различных задач лесного хозяйства.

СХЕМА расположения листов плана

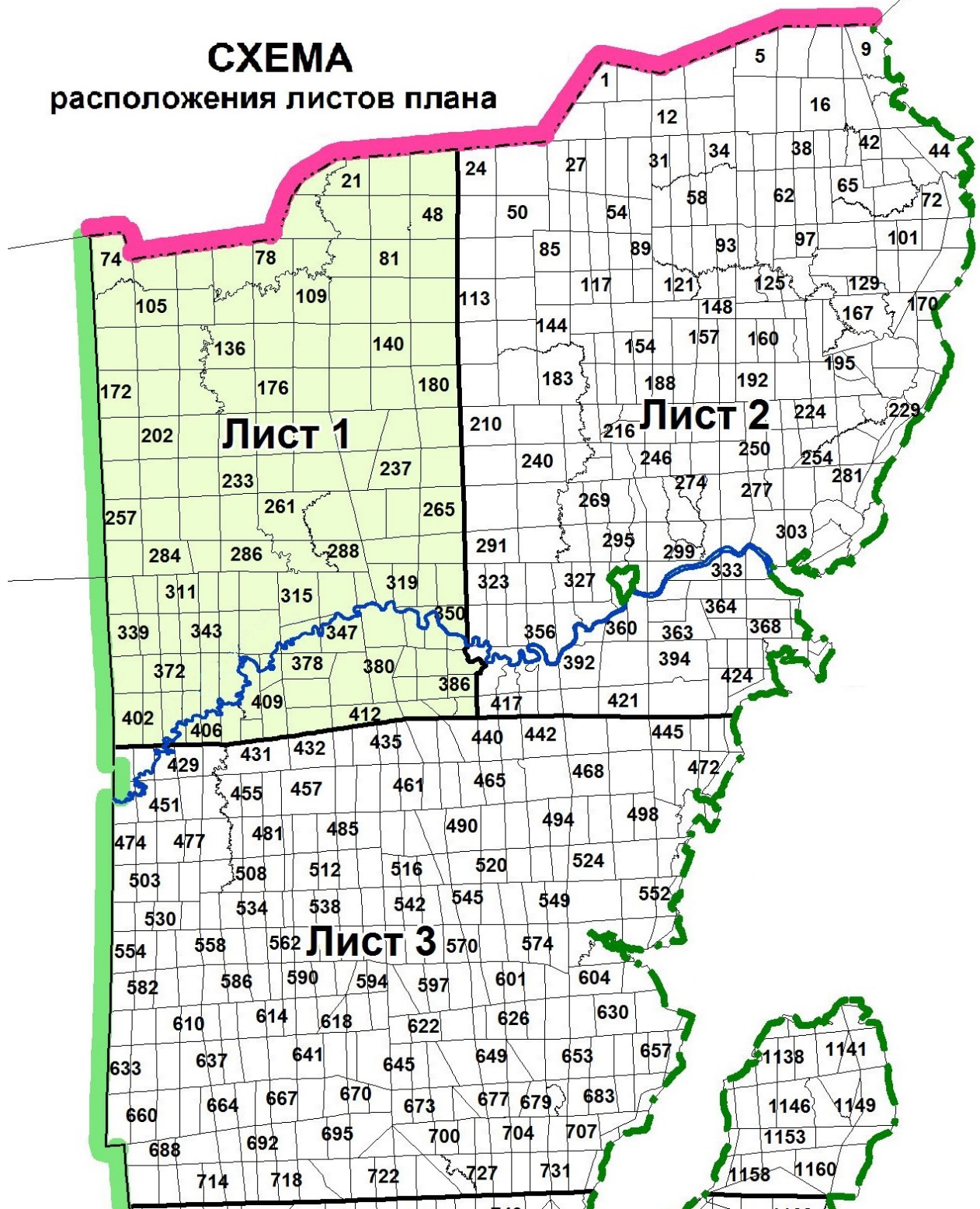


Рисунок 23 – Фрагмент схемы расположения листов плана

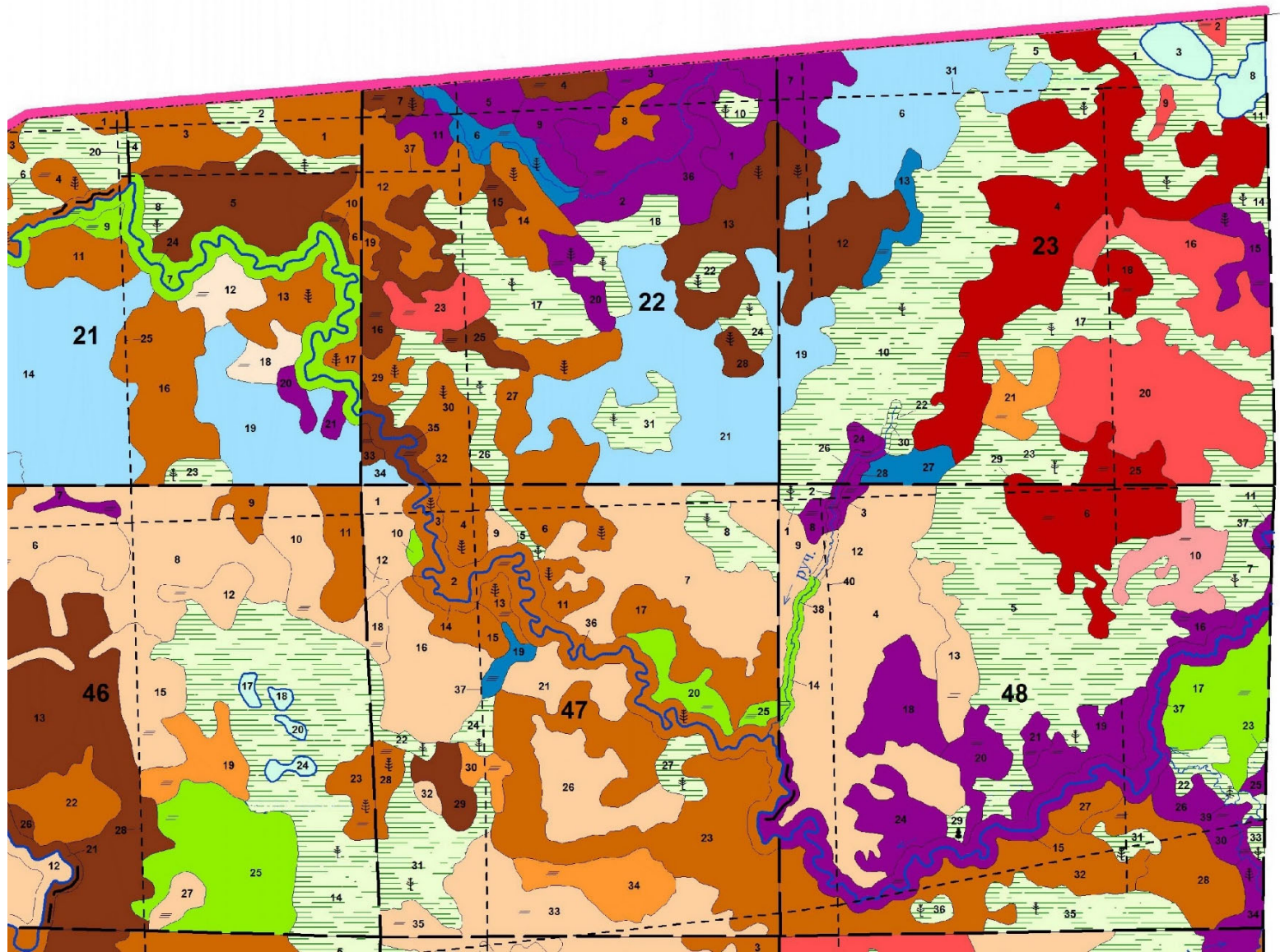


Рисунок 24 – Фрагмент плана лесонасаждений

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ОСНОВНОЙ ЭЛЕМЕНТ ЛЕСА	ГРУППЫ ВОЗРАСТА / СОМКНУВШИЕСЯ КУЛЬТУРЫ				Насаждения по сырым и мокрым местам	Несомкнувшиеся культуры	Культуры, созданные в порядке реконструкции	Подрост под пологом леса. Редины	Второй ярус	
	Молодняки	Средневозрастные	Приспевающие	Спелые и перестойные						
Сосна										
Ель										
Пихта										
Лиственница										
Кедр										
Береза										
Осина										
Ива древовидная										
Ерник										
Ива кустарниковая										
Гари и погибшие насаждения	Вырубки	Тундра	Луга пойменные	Нарушенные земли	Пастбища, выгоны	Сенокосы	Склады лесные	Поселки лесные	Базы производственные	Избушки
Профиль	Коммуникации	ЛЭП	Газопровод	Пробная площадь	Вертолетная площадка	Лесной кордон	Мост	Пески	Болота	Реки, озёра, ручьи
ГРАНИЦЫ						ГРАНИЦЫ КВАРТАЛОВ				
Субъектов РФ	Административных районов	Лесничеств	Участковых лесничеств	Урочищ	Прочих землепользователей	Заказников	По квартальным просекам	Условные и по естеств. рубежам	По профилям	
Заповедников	Лесов зеленых зон	Нерестощахранных полос	Запретных полос	Таксационных выделов	Исключений	Карьеров				
ДОРОГИ				НОМЕРА		Населенные пункты	Контора лесничества			
Асфальтобетонные	Грунтовые	Зимники	Постоянные тропы	Кварталов	Выделов					
				25	17					

Рисунок 25 – Условные обозначения плана лесонасаждений

СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПЛАНШЕТОВ

ЛЕСОУСТРОЙСТВО 2022 г.

Условные обозначения

- граница планшета
- 10 - номер планшета
- граница квартала
- 21 - номер квартала

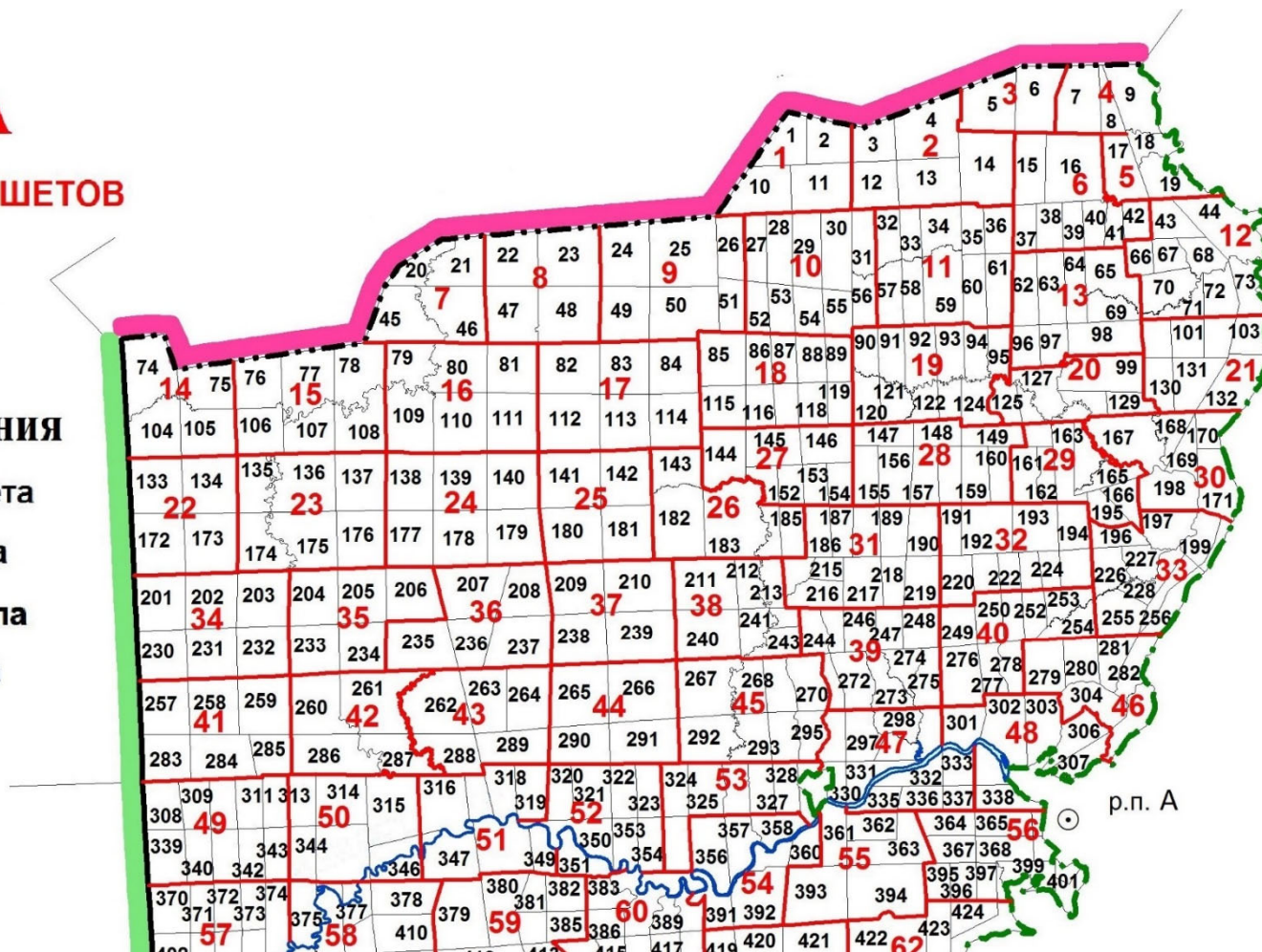
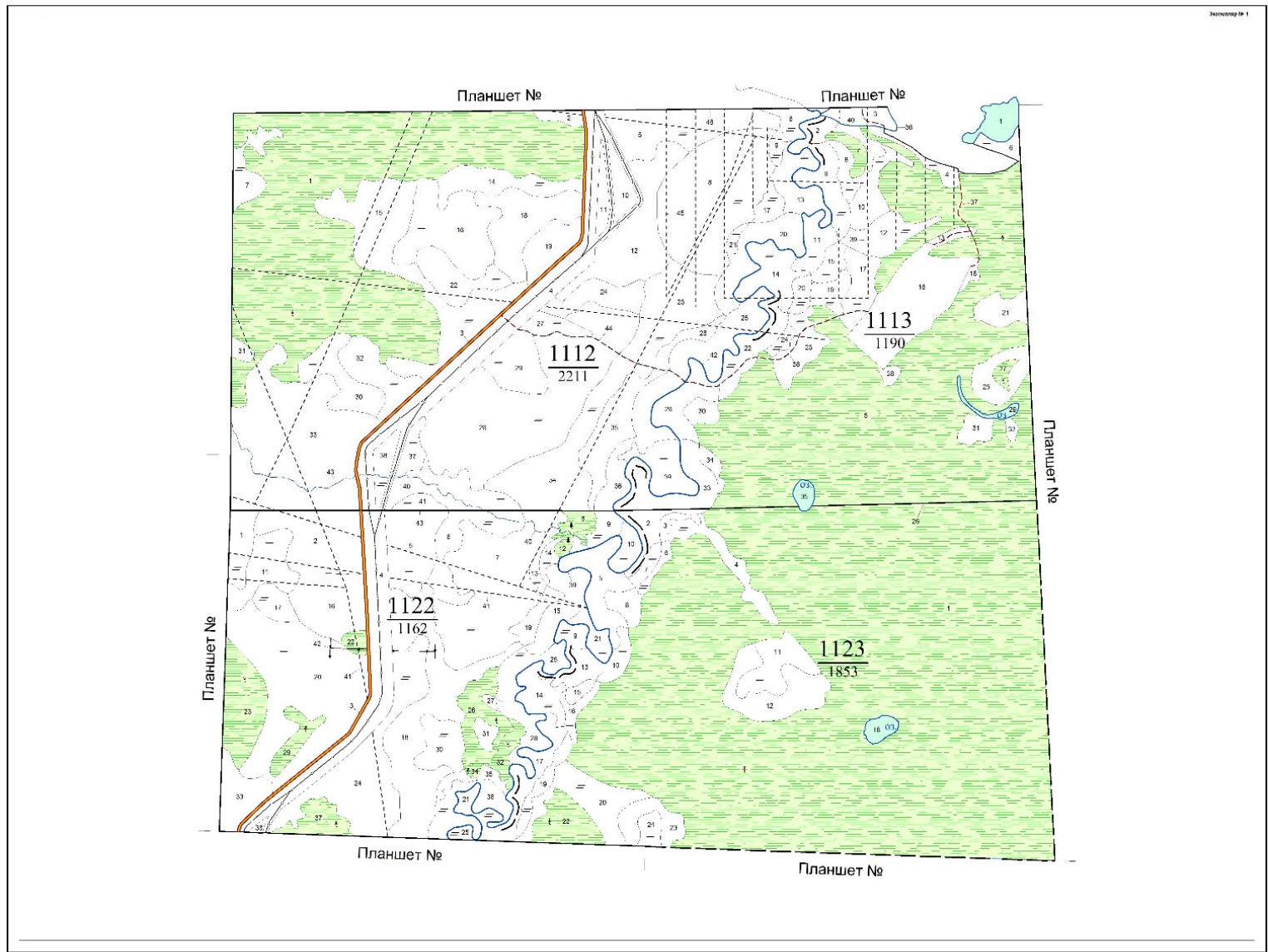


Рисунок 26 – Фрагмент схемы расположения планшето



ПЛАНШЕТ №
 ЛЕСОУСТРОЙСТВО 2022 г.

Масштаб 1:25 000
 Общая площадь 6 416 га

Рисунок 27 – Лесоустроительный планшет

Сначала был проведен анализ задач, которые будут решаться по разрабатываемой карте, – определение запасов дикорастущей промысловой продукции, их видов и возможных мест сбора. На их основе были определены геопространственные знания, которые необходимо отобразить на создаваемой карте, – знания о видах и местах произрастания дикорастущей промысловой продукции. Затем были определены исходные данные и экспертные знания, необходимые для формирования геопространственных знаний, которые будут отображены на карте. Среди них – информация о природных условиях и объектах, расположенных на картографируемой территории, а также экспертные знания о типичных условиях произрастания пищевых лесных ресурсов.

На рисунке 28 и в приложении В представлен фрагмент карты преобладающих пород леса и ее условные обозначения. Эта карта будет служить одним из источников информации о природных условиях и объектах, расположенных на картографируемой территории, совместно с совмещенной таксационной и картографической базой данных.

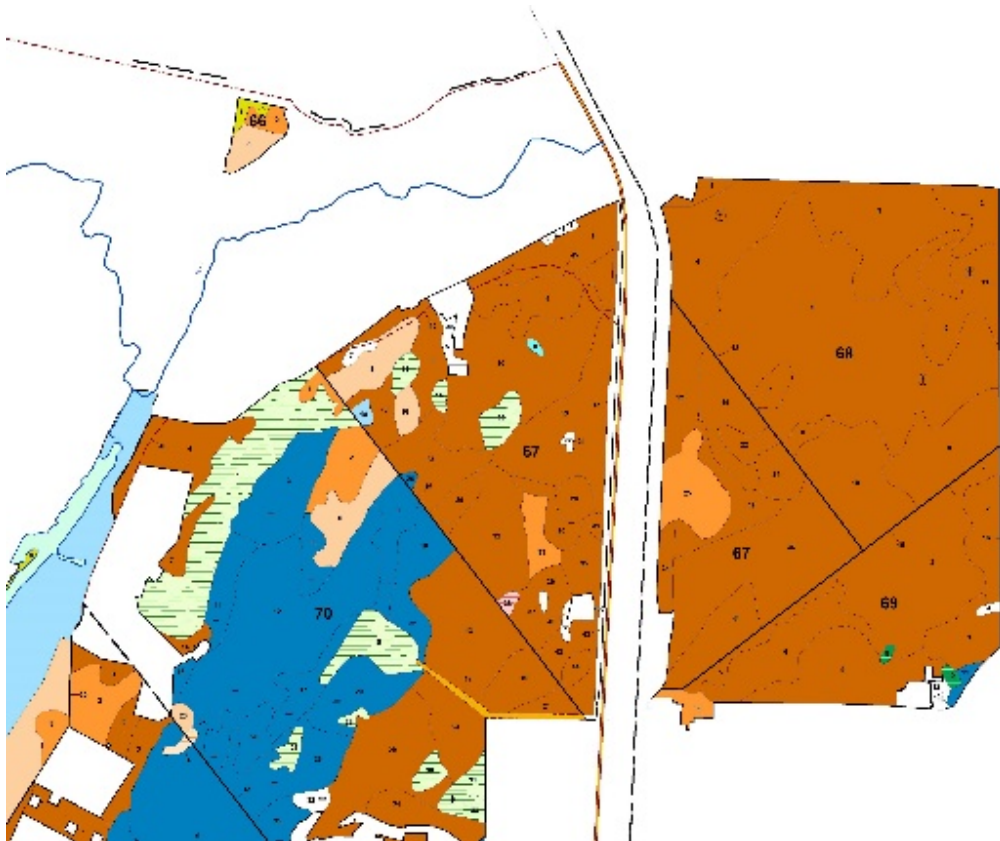


Рисунок 28 – Фрагмент карты преобладающих пород леса

Экспертные знания о типичных условиях произрастания пищевых лесных ресурсов были формализованы и представлены в табличной форме. На основе этого был разработан алгоритм формирования геопространственных знаний, который соотносит информацию о типах растительности и особенностях территории с экспертными знаниями о типичных местах произрастания пищевых лесных ресурсов. Для того чтобы разработанный алгоритм можно было применять в ГИС-среде, он был составлен в форме SQL-запроса, который представлен в таблице 13.

Таблица 13 – 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-багульниково-моховой	Mtip = "СФ" Or Mtip = "БРБГМ"

В таблице 14 представлена расшифровка применяемых для формализации информации и знаний.

Таблица 14 – Шифры, использованные для формализации информации и знаний

Тип леса	Шифр
Лишайниковый	ЛШ
Кустарничко-лишайниковый	КЛШ
Лишайниково-брусничный	ЛШБР
Зеленомошно-ягодниковый	ЗМЯГ
Кустарничково-сфагновый	КСФ
Багульниково-голубико-брусничный	БГТБР
Нагорный	НГ
Багульниково-сфагновый	БСФ
Долгомошно-хвощевый	ДМХВ
Ерниковый	ЕРН
Зеленомошно-мелкотравный	ЗММТ
Бруснично-багульниково-моховой	БРБГМ
Пойменный	П
Мшисто-разнотравный	МШРТ
Логовой	ЛОГ
Осоково-сфагновый	ОССФ
Осоково-сфагновый	ОССФ
Сфагновый	СФ
Брусничный	БР
Ольховниковый	ОЛ
Долгомошно-сфагновый	ДМСФ
Мшистый	МШ
Мохово-лишаниково-кустарничковый	МЛК
Приручейниковый	ПР
Хвоцево-мшистый	ХВМШ
Черничниковый	Ч
Багульниково-брусничный	БГБР
Кустарничково-моховой	КМ
Хвоцевой	ХВ
Долгомошный	ДМ
Травяно-болотный	ТРБ
Лишайниково-брусничный	ЛБР

Особенностью смородины является то, что она, как правило, произрастает по берегам рек. Таким образом, для ее корректного отображения необходимо создать буферные зоны по всем площадным рекам (ширина буфера на каждый объект индивидуальна). Все выделы, целиком входящие в буферную зону, будут типичными местами произрастания смородины.

При помощи запросов были получены геопространственные знания, которые затем были отображены на карте при помощи способа ареалов. Так как на одной территории могут произрастать сразу несколько видов пищевых лесных ресурсов, то была разработана система условных обозначений с несколькими вариантами отображения дикоросов, которая представлена в таблице 15. На рисунке 30 представлен фрагмент тематической карты хозяйственно-возможного сбора пищевых лесных ресурсов.

Следует отметить основную особенность формирования тематических карт при их составлении по предложенной методике. Традиционная методика предполагает внесение геопространственных знаний в таблицы вручную отдельно для каждого объекта лесоустройства, а предложенная методика подразумевает создание одной базы 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.

Таблица 15 – Система условных обозначений карты хозяйственно-возможного сбора пищевых лесных ресурсов

Наименование	Изображение		
	I	II	III
Смородина			
Грибы трубчатые			
Черника			
Брусника			

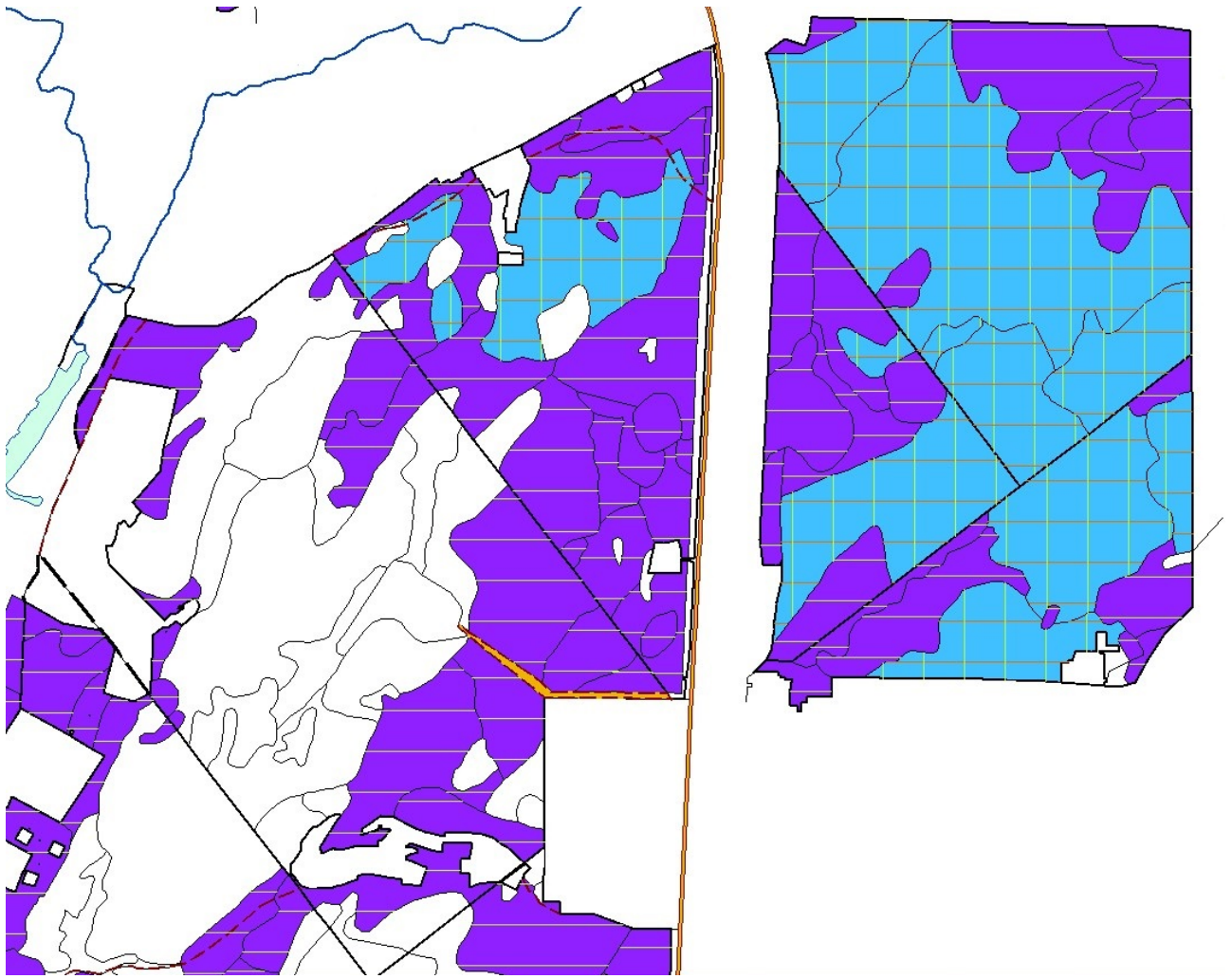


Рисунок 29 – Фрагмент карты лесного хозяйства, содержащей геопространственные знания о местах сбора пищевых лесных ресурсов

3.4 Оценка эффективности разработанной методики

3.4.1 Оценка результатов апробации разработанной методики

В процессе проведения камеральных работ планово-картографические материалы лесоустройства проходят редакторский контроль на нескольких этапах. Для оценки эффективности предложенной методики и результатов ее апробации, при проведении редакторского контроля заполнялась таблица, в которой фиксировались все выявленные ошибки на экспериментальном участке, в материалах, составленных как по предложенной, так и по традиционной методике. В таблицах 16 и 17

представлены ошибки, выявленные в ходе редакторского контроля материалов на территорию лесов города Новосибирска.

Таблица 16 – Ошибки, выявленные при проведении редакторского контроля, плано-картографических материалов, созданных по традиционной методике

№ п/п	Вид ошибки	Квартал	Выдел
1	Семантическая	67	45
2	Семантическая	67	20
3	Графическая	67	11
4	Графическая	67	13
5	Топологическая	67	32
6	Таксационная	67	6
7	Графическая	68	1
8	Графическая	68	5
9	Семантическая	68	11
10	Топологическая	68	7
11	Графическая	69	12
12	Топологическая	69	12
13	Таксационная	69	14

Таблица 17 – Ошибки, выявленные при проведении редакторского контроля, плано-картографических материалов, созданных по предложенной методике

№ п/п	Вид ошибки	Квартал	Выдел
1	Топологическая	67	11
2	Графическая	67	45
3	Топологическая	67	14
4	Топологическая	67	21
5	Топологическая	67	31
6	Графическая	67	18
7	Графическая	67	7
8	Топологическая	67	37
9	Графическая	67	8
10	Топологическая	68	4
11	Графическая	68	5
12	Топологическая	68	7
13	Топологическая	68	2
14	Топологическая	68	10
15	Графическая	68	8
16	Топологическая	68	2
17	Топологическая	69	12
18	Топологическая	69	5
19	Топологическая	69	13
20	Топологическая	69	14

На основании определенного в 2.2 значения весомости для каждого типа ошибок была составлена сводная таблица 18.

По результатам анализа отчетов о выявленных в ходе редакторского контроля ошибках можно сделать вывод о том, что при применении предложенной методики существенно меняется не только количество выявленных ошибок, но и их характер. Так, при редакторском контроле планово-картографических материалов на участок, где проводилась апробация, при применении предложенной методики были полностью исключены семантические и таксационные ошибки.

Помимо количества выявленных ошибок, при оценке эффективности предложенной методики составления карт лесного хозяйства с применением мобильных технологий необходимо учитывать и производительность труда, время, затраченное на каждом этапе лесоустроительных работ, в том числе при устранении выявленных ошибок. В таблице 19 представлен отчет о времени, затраченном на каждом этапе апробации.

Таблица 18 – Выявленные ошибки с учетом показателя значимости

Методика	Таксационные ошибки		Графические ошибки		Семантические ошибки		Топологические ошибки		Всего с учетом показателя значимости
	число	с учетом показателя значимости	число	с учетом показателя значимости	число	с учетом показателя значимости	число	с учетом показателя значимости	
Традиционная (бумажные ортофотопланы)	2	0,9166	5	1,875	3	0,375	3	0,12501	3,29161
Предложенная (мобильная ГИС)	0	0	6	2,25	0	0	14	0,58338	2,83338

Таблица 19 – Отчет о времени, затраченном на каждом этапе апробации

Методика	Время, затраченное на полевой этап, мин	Время, затраченное на камеральный этап, мин	Время, затраченное на устранение ошибок, мин	Всего, мин
Традиционная	300	180	30	510
Предложенная	350	45	15	410

Результаты апробации предложенной методики свидетельствуют о том, что время, затраченное на полевое контурное дешифрирование, увеличивается примерно на 17 %, однако время, затраченное на камеральный этап, включающий 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 высокой эффективности по сравнению с традиционной методикой.

Помимо этого, на этапе полевого контурного дешифрирования таксатор может добавлять фото- и видеоматериалы, треки и прочую информацию прямо в мобильную ГИС CarryMap Builder. Все эти материалы могут быть использованы на камеральном этапе в качестве дополнительной уточняющей информации.

3.4.2 Оценка экономической эффективности предложенной методики

Для того чтобы оценить эффективность применения разработанной методики, была проведена оценка ее экономической эффективности. Для этого были учтены затраты на заработную плату специалистов, приобретение оборудования и прочие дополнительные расходы.

На полевом этапе выполнения лесоустроительных работ задействованы инженеры-таксаторы. В процессе анализа был проведен анализ рынка вакансий, по результатам которого диапазон заработной платы за месяц составил от 50 до 200 тысяч рублей. На рисунке 30 представлены размещенные в сети Интернет вакансии инженера-таксатора с указанием размера заработной платы.

Размер оплаты труда такого специалиста зависит в основном от вида, условий и уровня сложности выполняемых работ. Таким образом, вычисление стоимости часа работы инженера-таксатора не представляется возможным. При этом, в ходе анализа результатов апробации было выявлено, что временные затраты на полевом этапе работ при применении предложенной методики возрастают примерно на 16,7 %, что можно считать погрешностью, проявившейся при первой попытке внедрения методики.

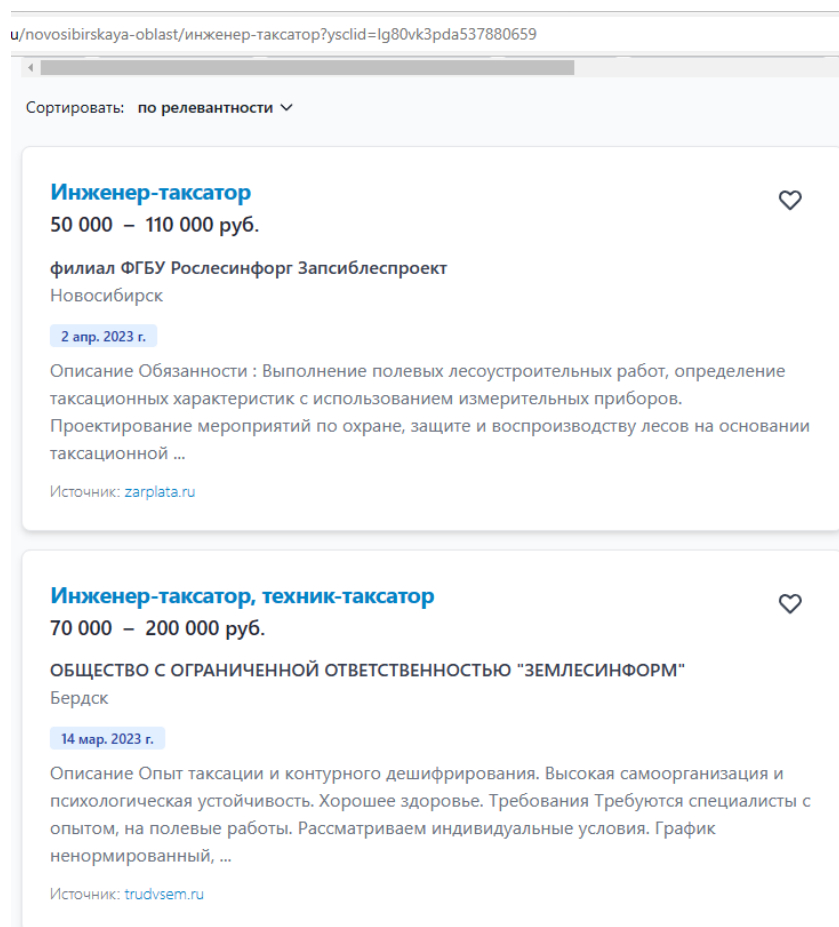


Рисунок 30 – Вакансии инженера-таксатора, размещенные в сети Интернет

На камеральном этапе лесоустройства задействованы в основном инженеры-картографы. Предложения по заработной плате инженера-картографа находятся в диапазоне от 25 до 60 тысяч рублей в месяц, что показано на рисунке 31. Для экономической оценки был взят средний уровень заработной платы – 42,5 тысячи рублей в месяц. При этом час работы инженера-картографа при 8-часовой 5-днев-

ной рабочей неделе стоит порядка 241 рубля. В нашем случае на камеральном этапе к работе были привлечены 4 инженера-картографа, соответственно оплата их труда в месяц составит около 170 тысяч рублей.

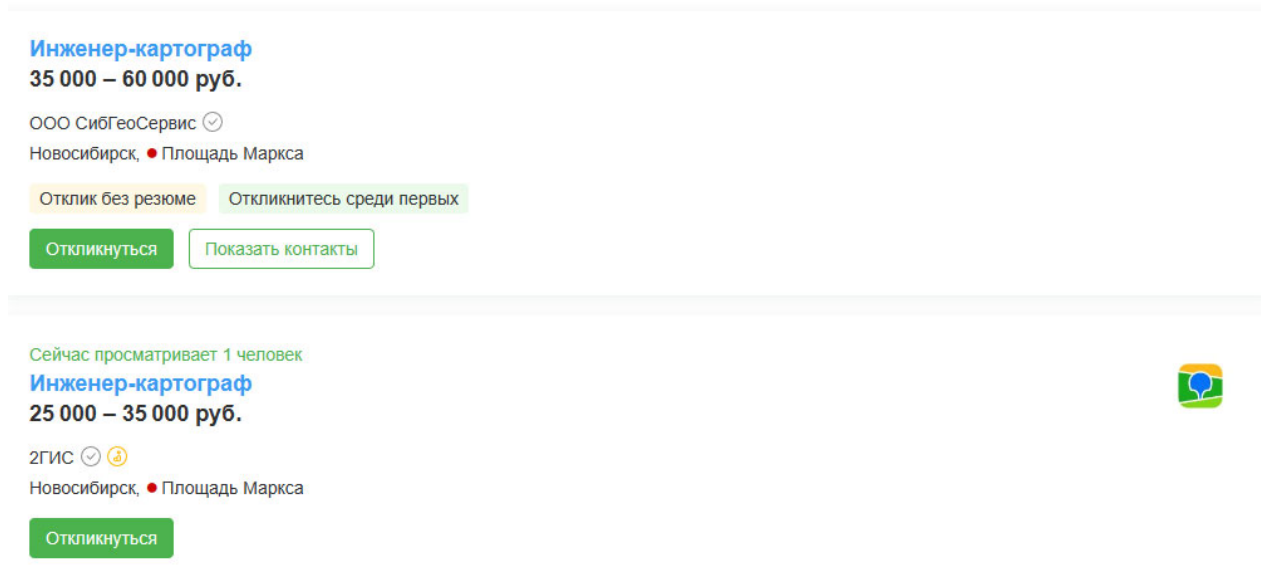


Рисунок 31 – Вакансии инженера-картографа с указанием размера заработной платы, размещенные в сети Интернет

В ходе экспериментальных работ было выявлено, что время, затраченное на камеральный этап с учетом времени, затраченного на устранение ошибок, сократится в 3,5 раза. Соответственно затраты на оплату труда инженеров-картографов сократятся также в 3,5 раза, что позволит сэкономить более 121 тысячи рублей.

Также при внедрении любой новой методики необходимо учесть затраты на приобретение необходимого оборудования. Был составлен перечень необходимого оборудования, который может отличаться как качественно, так и количественно в зависимости от территории, на которую выполняется лесоустройство.

В нашем случае расчеты выполнялись на примере городских лесов г. Новосибирска. Для этого объекта перечень оборудования включает в себя два планшетных компьютера и два портативных зарядных устройства большой емкости.

Сначала необходимо определить наиболее подходящий для поставленных задач планшетный компьютер. В ходе исследования были выявлены несколько

наиболее подходящих планшетных компьютера – DELL Latitude 7212, Getac T800 и Samsung Galaxy Tab Active 3, которые удовлетворяют основные требования:

- диагональ экрана не менее 8 дюймов;
- большой объем аккумулятора;
- наличие слота для сим-карты;
- встроенные системы навигации;
- влагозащищенный и ударопрочный корпус;
- широкий диапазон рабочих температур;
- наличие камеры;
- объем оперативной памяти не менее 4 Гб;
- слот для карты памяти.

Была составлена таблица 20 для проведения сравнительного анализа и выбора наиболее подходящего устройства.

Таблица 20 – Характеристики планшетных компьютеров

Название	ПО	Камера	Встроенная навигация	Объем аккумулятора	Размер экрана	Цена
DELL Latitude 7212	Windows 10	8 МП	GPS	2×34Вт/ч + возможность горячей замены батареи	11.6	205 000
Getac T800	Windows 10	8 МП	GPS, разъемы для подключения внешних антенн GPS и WWAN	4200 mAh	8.1	110 000
Samsung Galaxy Tab Active 3	Android	13 МП	GPS, ГЛОНАСС, Beidou, Galileo	5050 mAh, сменный аккумулятор	8.0	50 000

С учетом анализа основных характеристик планшетных компьютеров, выбор был сделан в пользу самой бюджетной модели – Samsung Galaxy Tab Active 3, так как его характеристики не хуже более дорогих аналогов, а некоторые из них даже превосходят конкурентов.

Затраты на приобретение двух планшетных компьютеров составят 100 000 рублей. Два портативных зарядных устройства большой емкости – Геракл Energy 60 000mAh стоят около 10 000 рублей. Таким образом, весь комплект полевого оборудования, необходимого для внедрения предложенной методики, обойдется в нашем случае в 110 000 рублей.

На основании этого был сделан вывод о достаточной экономической эффективности предложенной 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 расходов на камеральном этапе позволит предприятию выполнять больший объем работы и получать наибольшую прибыль.

Выводы по разделу 3

В ходе исследования была проведена апробация разработанной методики и технологических решений создания карт лесного хозяйства. Было проведено полевое контурное дешифрирование с применением мобильных технологий на отдельных участках лесов двух различных территорий – городских лесов города Новосибирска и Березовского лесничества Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Апробация показала, что применение предложенной методики очень затруднительно в отдаленных районах ввиду отсутствия доступа к электроэнергии и сотовой связи. На основании этого можно сделать вывод, что предложенная методика имеет территориальные ограничения по применению.

По материалам полевого этапа лесоустройства лесов города Новосибирска была сформирована совмещенная таксационная и картографическая база данных, составлены лесоустроительные планшеты и планы лесонасаждений, а также предусмотренные техническим заданием на лесоустроительные работы тематические карты лесного хозяйства, при формировании одной из которых была разработана и применена база геопространственных знаний. Был проведен анализ результатов

апробации. Проанализированы выявленные при редакторском контроле ошибки и производительность труда по сравнению с традиционной методикой для каждого вида картографической продукции и этапа ее составления.

По результатам проведенного исследования были сделаны следующие выводы.

1 Применение мобильных технологий на полевом этапе лесоустроительных работ позволяет при повторном лесоустройстве на эту же территорию исключить подготовительный этап, включающий в себя такие процессы, как сканирование и векторизация исходных материалов.

2 Внедрение предложенной методики позволит сократить временные затраты на камеральном этапе лесоустройства за счет отсутствия необходимости в сканировании бумажных планово-картографических материалов полевого этапа лесоустройства.

3 Процесс обработки материалов полевого контурного дешифрирования упрощается за счет электронной формы представления данных, которая исключает разночтения и ошибки при переносе данных.

4 Создание базы геопространственных знаний позволяет формализовать экспертные знания и впоследствии отказаться от привлечения таксатора на камеральном этапе работ.

5 Сокращение временных и трудовых затрат на камеральном этапе лесоустройства позволяет сократить общее затраченное на лесоустройство время почти на четверть, что свидетельствует о достаточно высокой эффективности предложенной методики.

6 Применение предложенной методики предпочтительно при проведении лесоустройства на территориях, расположенных вблизи населенных пунктов, где есть доступ к сети Интернет.

7 Разработанная методика обладает достаточной экономической эффективностью, что доказано проведенным в ходе исследования анализом.

В итоге можно сделать вывод о том, что с развитием технологий, а также методов сбора и обработки данных картографирование лесного хозяйства и его методы будут совершенствоваться и развиваться. Внедрение новых технологических решений будет способствовать автоматизации многих процессов на разных этапах составления карт лесного хозяйства.

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 формализованные 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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Абдикеев, Н. М. Управление знаниями корпорации и реинжиниринг бизнеса / Н. М. Абдикеев, А. Д. Киселёв. – Москва : ИНФРА-М, 2011. – 382 с. – Текст : непосредственный.

2 Александров, А. В. Интеллектуальное управление / А. В. Александров. – Текст : непосредственный // Славянский форум. – 2016. – № 1 (11). – С. 15–22.

3 Андрейчиков, А. В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – Москва : Финансы и статистика, 2000. – 368 с.

4 Антонов, Е. С. Геокогнитивные карты и технологии – новый этап в картографии / Е. С. Антонов. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 140–150. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-2-140-150.

5 Антонов, Е. С. Теоретико-методологическое представление прямого перехода от геоинформации к геознаниям / Е. С. Антонов, Д. В. Лисицкий, С. С. Янкевич. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 2. – С. 82–90. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-2-82-90.

6 Арбузов, С. А. Автоматизированная идентификация и определение породного состава древесных растений по материалам цифровой многозональной аэро съемки лесных массивов / С. А. Арбузов, Е. П. Хлебникова, В. Н. Никитин. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 68–76. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-4-68-76.

7 Баскин, Э. М. Обработка результатов ускоренных испытаний изделий / Э. М. Баскин. – Текст : непосредственный // Надежность и контроль качества. – 1987. – № 6. – С. 14–18.

8 Белов, В. М. Метод балльной оценки показателей коэффициентов весомости / В. М. Белов. – Текст : непосредственный // Агроинженерия. – 2009. – № 4. – С. 15–19.

9 Блохин, Д. Ю. ГИС-технологии в лесном хозяйстве и лесной промышленности / Д. Ю. Блохин. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2006. – № 13.

10 Букша, И. Ф. Применение мобильной ГИС-технологии Field-Мар в лесном и садово-парковом хозяйстве / И. Ф. Букша, М. И. Букша. – Текст : непосредственный // Науковий вісник НЛТУ України . – 2013. – № 5. – С. 28–34.

11 Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – Москва : Наука, 1969. – 576 с. – Текст : непосредственный.

12 Вступительное слово или зачем нужен «Лесгис». – URL: <https://gigabaza.ru/doc/77722.html>. – Текст : электронный.

13 Географические информационные системы ArcGIS. – URL: <https://www.esri-cis.ru/>. – Текст : электронный.

14 Географические информационные системы и ГИС-технологии в лесном хозяйстве с использованием QGIS : учебно-методическое пособие для обучающихся Института леса и природопользования и заочного факультета УГЛТУ. Ч. 1 / В. В. Фомин [и др.]. – Екатеринбург, 2018. – 16 с. – Текст : непосредственный

15 Геоинформационная система «Лесные ресурсы» на базе Formar 5.4. – URL: https://www.belinvestles.by/GIS_5.html. – Текст : электронный.

16 Геоинформационно-когнитивная репрезентация территориальных ресурсов / А. П. Карпик, Д. В. Лисицкий, А. Г. Осипов, В. Н. Савиных. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 120–129. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-4-120-129.

17 ГИС ТороL-L для работы с информацией о лесном фонде. – URL: <http://zemvest.ru/jurnal/arhiv-jurnala/5-2010/06/>. – Текст : электронный.

18 ГИС сегодня в ЛПК: обзор и тенденции. – URL: <https://lpk-sibiri.ru/forest-management/certification/gis-segodnya-v-lpk-obzor-i-tendentsii/>. – Текст : электронный.

19 Гличев, А. В. Прикладные вопросы квалиметрии : учебно-методическое пособие / А. В. Гличев. – Москва : Издательство стандартов, 1983. – 135 с. – Текст : непосредственный.

20 Голубев, А. С. Применение ГИС в лесном хозяйстве и при планировании лесоводственных исследований / А. С. Голубев, А. В. Любимцев. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2011. – № 28. – С. 34–38.

21 Данелян, Т. Я. Формальные методы экспертных оценок / Т. Я. Данелян. – Текст : непосредственный // Статистика и экономика. – 2015. – № 1. – С. 183–187.

22 Дулин, С. К. Введение в теорию структурной согласованности / С. К. Дулин. – Москва : ВЦ РАН, 2005. – 135 с. – Текст : непосредственный.

23 Дулин, С. К. Об одном подходе к структурной согласованности геоданных / С. К. Дулин, И. Н. Розенберг. – Текст : непосредственный // Мир транспорта. – 2005. – Т. 11. – № 3. – С. 16–29.

24 Дулин, С. К. Структурная согласованность данных и знаний : учебное пособие / С. К. Дулин. – Москва : МЗ-Пресс, 2005. – 143 с. – Текст : непосредственный.

25 Дунин-Барковский, И. В. Краткий курс математической статистики для технических приложений / И. В. Дунин-Барковский, Н. В. Смирнов. – Москва : Физматгиз, 1959. – Текст : непосредственный.

26 Евченко, А. В. Анализ основных программно-стратегических документов в сфере использования цифровых технологий в управлении лесным хозяйством России / А. В. Евченко, Ю. В. Вертакова. – Текст : непосредственный // Естественно-гуманитарные исследования. – 2020. – № 27 (1). – С. 92–98.

27 Жичкина, Ю. А. Предпосылки устойчивого пространственного развития региона / Ю. А. Жичкина. – Текст : непосредственный // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2011. – № 7 (81). – С. 19–23.

28 Заблоцкий, А. М. Разработка мобильного приложения для таксатора / А. М. Заблоцкий, К. В. Шошина, Р. А. Алешко. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2015. – Т. 13. – № 1. – С. 12–15.

29 Заблоцкий, В. Р. Мобильные ГИС – новое направление развития геоинформационных систем / В. Р. Заблоцкий. – Текст : непосредственный // Международ-

ный журнал экспериментального образования. – 2014. – Т. 11. – № 1. – С. 22–23.

30 Захарова, А. А. Нечеткие модели принятия решений о стратегии социально-экономического развития города : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.13.10. – Томск, 2006. – 150 с. – Текст : непосредственный.

31 Знания и пространственные знания / В. А. Малинников, А. А. Майоров, В. П. Савиных, В. Я. Цветков. – Текст : непосредственный // Геопространственные технологии и сфера их применения : материалы 7-й Международной научно-практической конференции. – Москва : Информационное агентство «Гром», 2011. – С. 12–14.

32 Зорин, В. П. Система и методы инвентаризации лесного фонда на основе информационных технологий, обеспечивающих устойчивое управление лесами / В. П. Зорин. – Текст : непосредственный // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2016. – № 1 (183). – С. 5–8.

33 Инструкция о порядке создания и размножения лесных карт. – URL: http://www.libussr.ru/doc_ussr/usr_13663.htm (дата обращения: 28.09.2021). – Текст : электронный

34 Использование географических информационных систем при оценке плотности дорог лесозаготовительных районов / А. П. Мохирев, С. Ю. Резинкин, С. О. Медведев, Н. А. Брагина. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 181–191. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-181-191.

35 Карманова, М. В. Картографическое обеспечение организации оперативных действий в зоне наводнения на основе оперативных донесений региональных органов управления в чрезвычайных ситуациях / М. В. Карманова, Е. В. Комиссарова. – Текст : непосредственный // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий : материалы Междунар. конф. – Москва : Географический факультет МГУ. – 2021. – Т. 27. – Ч. 1. – С. 85–98. – DOI 10.35595/2414-9179-2021-1-27-85-98.

36 Карманова, М. В. Концепция разработки мобильных приложений для картографирования зон чрезвычайных ситуаций и происшествий / М. В. Карманова. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск : сб. материалов 24 в 8 т. Т. 1 : Национальная науч. конф. с международным участием «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – № 2. – С. 68–74. – DOI 10.33764/2618-981X-2020-1-2-68-74.

37 Карманова, М. В. Основные аспекты разработки ГИС для автоматизации принятия решений по тушению природных пожаров на территориях муниципальных образований Алтайского края / М. В. Карманова. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр., 18–22 апреля 2016 г., Новосибирск : 7-я Международная конференция «Раннее предупреждение и управление в кризисных ситуациях в эпоху «Больших данных»» : сб. материалов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – С. 16–21.

38 Карманова, М. В. Разработка научно-методических основ картографического обеспечения региональных органов управления в чрезвычайных ситуациях / М. В. Карманова. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26. – № 6. – С. 66–77. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-6-66-77.

39 Карпик, А. П. Перспективные направления развития геодезической отрасли в условиях постиндустриальной эпохи и цифровой экономики / А. П. Карпик, Д. В. Лисицкий. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80. – № 4. – С. 55–64.

40 Креснов, В. Г. Применение ГИС в лесоустройстве и лесном хозяйстве / В. Г. Креснов. – Текст : непосредственный // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2005. – Т. 3, ч. 1. – С. 10–15.

41 Крянев, А. В. К вопросу о качестве и надежности экспертных оценок при определении технического уровня сложных систем / А. В. Крянев, С. С. Семенов. – Текст : непосредственный // Надежность. – 2013. – № 4 (47). – С. 90–109.

42 Кужелев, П. Д. Пространственные знания для управления транспортом / П. Д. Кужелев. – Текст : непосредственный // Economic Consultant. – 2016. – № 2 (14). – С. 17–20.

43 Кузнецов, В. И. Математическое моделирование эволюции леса для целей управления лесным хозяйством / В. И. Кузнецов, Н. И. Козлов, П. М. Хомяков. – Москва : Ленанд, 2005. – 232 с. – Текст : непосредственный.

44 Кэндэл, М. Ранговые корреляции / М. Кэндэл. – Москва : Статистика, 1975. – 216 с. – Текст : непосредственный.

45 Ларичев, О. И. Анализ процессов принятия человеком решений при альтернативах, имеющих оценки по многим критериям (обзор) / О. И. Ларичев. – Текст : непосредственный // Автоматика и телемеханика. – 1981. – № 8. – С. 131–141.

46 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.

47 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.

48 Лебзак, Е. В. Геопространственные знания в пространственном развитии территорий на примере лесохозяйственной отрасли / Е. В. Лебзак, С. С. Янкелевич. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 3. – С. 123–133. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-3-123-133.

49 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.

50 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.

51 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.

52 Лесной кодекс Российской Федерации : федеральный закон от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 09.03.2021). – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/. – Текст : электронный.

53 «Лесфонд» – ГИС созданная специально для лесного хозяйства. – URL: <https://lpk-sibiri.ru/forest-management/lesoustrojstvo/lesfond-gis-sozdannaya-spetsialno-dlya-lesnogo-hozyajstva/>. – Текст : электронный

54 Литвак, Б. Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б. Г. Литвак. – Москва : Патент, 1996. – 298 с. – Текст : непосредственный.

55 Лурье, И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков : учебник / И. К. Лурье. – Москва : КДУ, 2008. – 422 с. – Текст : непосредственный.

56 Майоров, А. А. Геознание как новая форма знания / А. А. Майоров. – Текст : непосредственный // Международный электронный научный журнал. – 2016. – № 4 (22). – С. 23–31.

57 Малышева, Н. В. Инструментарий ГИС для картографического сопровождения управления лесным хозяйством на федеральном уровне / Н. В. Малышева, Т. А. Золина. – Текст : непосредственный // Лесохозяйственная информация. – 2014. – № 2. – С. 34–42.

58 Малышева, Н. В. Локальный картографический сервис для визуализации статистических данных о лесах России / Н. В. Малышева, Т. А. Золина, Н. А. Владимирова. – Текст : непосредственный // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2014. – № 6. – С. 32–38.

59 Мобильная ГисЛес – что это такое и зачем она нужна?. – URL: <https://npbp.by/about/news/mobilnaya-gisles-chno-eto-takoe-i-zachem-ona-nuzhna/?ysclid=llajuzkaau919498467>. – Текст : электронный.

60 О ГИС Аксиома. – URL: <https://axioma-gis.ru/product/axioma>. – Текст : электронный.

61 О лицензировании деятельности в области геодезии и картографии : постановление Правительства РФ от 21.11.2006 № 705. – Текст : непосредственный.

62 Об утверждении лесоустроительной инструкции : приказ от 12.12.2011 № 516. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902319946>. – Текст : электронный.

63 Об утверждении методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов : приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 10.10.2011 № 472 (в редакции Рослесхоза № 135 от 07.05.2013). – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902325555>. – Текст : электронный.

64 Об утверждении состава лесохозяйственных регламентов, порядка их разработки, сроков их действия и порядка внесения в них изменений : приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 04.04.2012 № 126. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902341885>. – Текст : электронный.

65 Об утверждении состава проекта освоения лесов и порядка его разработки : приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 29.02.2012 № 69. – Текст : непосредственный.

66 Об утверждении состава сведений, содержащихся в лесных картах : проект приказа Министерства природных ресурсов и экологии РФ (подготовлен Минприроды России 24.01.2022). – Текст : непосредственный.

67 Об утверждении типовой формы и состава лесного плана субъекта Российской Федерации, порядка его подготовки : приказ Федерального агентства лесного хозяйства № 423 от 05.11.2011. – Текст : непосредственный.

68 Особенности CarryMap Builder. – URL: <https://builder.carrymap.com/en/features/main/>. – Текст : электронный.

69 Парма-ГИС. – URL: <http://parmagis.ru/>. – Текст : электронный

70 Пахучий, В. В. Ведение лесного хозяйства на базе ГИС : учебное пособие / В. В. Пахучий. – Сыктывкар : СЛИ, 2013. – 56 с. – Текст : непосредственный.

71 Пилипко, Е. Н. Геоинформационные системы в лесном деле : учебно-методическое пособие / Е. Н. Пилипко. – Вологда : ИЦ ВГМХА, 2018. – 104 с.

72 Поздеев, Д. А. Таксация леса. Курс лекций : учебное пособие / Д. А. Поздеев, А. А. Петров. – Ижевск : ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2012. – 161 с. – Текст : непосредственный.

73 Позднякова, Ю. С. Применение ГИС-технологий для анализа состояния лесного хозяйства / Ю. С. Позднякова, Я. Б. Подгорный. – Текст : непосредственный // Актуальные исследования. – 2021. – № 36 (63). – С. 24–26.

74 Проблемы и программы их решения при создании цифровых специализированных топографических карт Сибирской Арктики / Л. А. Пластинин, В. П. Ступин, Б. Н. Олзоев, Н. В. Котельникова, М. Б. Селезнев. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 142–161.

75 Прохорова, Е. А. Социально-экономические карты: учебное пособие, электронное издание сетевого распространения / Е. А. Прохорова. – Москва : КДУ, Добросвет, 2018. – 424 с. – Текст : непосредственный.

76 Пюкяляйнен, Й. Развитие лесного планирования в Финляндии: методы и опыт / Й. Пюкяляйнен, М. Курттила ; пер. с фин. В. Минеева. – Йювяскюля : Научно-исследовательский институт леса Финляндии Йоэнсуу, 2009. – 44 с. – Текст : непосредственный.

77 Пятая всероссийская конференция «Аэрокосмические методы и ГИС-технологии в лесоведении и лесном хозяйстве» / С. В. Князева, С. П. Эйдлинка, Д. В. Ершов, В. М. Жирин. – Текст : непосредственный // Лесоведение. – 2014. – № 5. – С. 91–94.

78 Розенберг, И. Н. Пространственное управление в сфере транспорта / И. Н. Розенберг. – Текст : непосредственный // Славянский форум. – 2015. – № 2 (8). – С. 268–274.

79 Рупосов, В. Л. Методы определения количества экспертов / В. Л. Рупосов. – Текст : непосредственный // Вестник ИрГТУ. – 2015. – № 3 (98).

80 Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати ; пер. с англ. – Москва : Радио и связь, 1993. – 278 с. – Текст : непосредственный.

81 Савиных, В. П. Геознание : монография / В. П. Савиных. – Москва : МАКС Пресс, 2016. – 132 с. – Текст : непосредственный.

82 Современная технология таксации лесов дешифровочным способом «От съемки – к проекту» / В. И. Архипов, Д. М. Черниховский, В. И. Березин, В. А. Белов. – Текст : непосредственный // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2014. – Вып. 208. – С. 22–42.

83 Создание интерактивных карт и электронного атласа для информационной поддержки управления лесным хозяйством России / Н. В. Малышева, Т. А. Золина, Н. А. Владимирова, Н. Э. Райченко. – Текст : непосредственный // Проблемы непрерывного географического образования и картографии. – Вып. 17. – Харьков : ХНУ им. В.Н. Каразина, 2013. – С. 31–34.

84 Создание интерактивных карт лесных участков. – URL: <https://builder.carrymap.com/ru/resources-blog/blog/creating-interactive-maps-forest-area/>. – Текст : электронный.

85 Сравнительный анализ информационных программных продуктов для лесной отрасли / А. С. Оплетаев, А. И. Чермных, Е. В. Жигулин, К. А. Воронцова. – Текст : непосредственный // Леса России и хозяйство в них. – 2020. – № 1 (72). – С. 32–38.

86 Старостенко, Д. А. Геоинформационные технологии в лесной отрасли / Д. А. Старостенко. – Текст : электронный // ГИС-Ассоциация. – URL: <http://www.gisa.ru/489.html?searchstring=mapinfo>.

87 Ступин, В. П. Картографирование морфосистем : монография / В. П. Ступин. – Иркутск : Издательство ИрГТУ, 2009. – 160 с. – Текст : непосредственный.

88 Тарасов, А. В. Классификация лесной растительности методом нейронных сетей / А. В. Тарасов, А. В. Кедров. – Текст : непосредственный // Вестник Перм-

ского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 44–54.

89 Тарасов, А. В. Применение оперативного картографирования при ведении лесохозяйственной деятельности / А. В. Тарасов. – Текст : непосредственный // Географический вестник. – 2019. – № 3 (50). – С. 134–145. – DOI 10.17072/2079-7877-2019-3-134-145.

90 Тарасов, А. В. Современные методы оперативного картографирования нарушений лесного покрова / А. В. Тарасов. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Вып. 3 (25). – С. 201–213. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-201-213.

91 Тихонов, А. Н. Терминологические отношения / А. Н. Тихонов, А. Д. Иванов, В. Я. Цветков. – Текст : непосредственный // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 5. – С. 146–148.

92 Требования к лесным электронным картам, совмещаемым с таксационной базой данных. – Москва, 1999. – URL: http://www.lesis.ru/infot/spr_ins_kart.html. – Текст : электронный.

93 Фомин, В. В. Географические информационные системы и ГИС-технологии в лесном хозяйстве с использованием QGIS : методические рекомендации для обучающихся Института леса и природопользования и заочного факультета УГЛТУ. Ч. II / В. В. Фомин, А. П. Михайлович, М. И. Ушаков. – Екатеринбург, 2019. – 11 с. – Текст : непосредственный.

94 Хеттманспергер, Т. Статистические выводы, основанные на рангах / Т. Хеттманспергер. – Текст : непосредственный – Москва : Финансы и статистика, 1987. – 336 с.

95 Хорошилов, В. С. Применение метода экспертных оценок для обоснования показателя «выходного качества» применяемых геодезических методов измерений при монтаже технологического оборудования / В. С. Хорошилов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Горный журнал / Екатеринбург. – 2006. – № 2. – С. 72–76.

96 Цветков, В. Я. Простраственные знания в науках о земле / В. Я. Цветков. – Текст : непосредственный // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 10-2. – С. 216–219.

97 Цветков, В. Я. Формирование пространственных знаний: монография / В. Я. Цветков. – Москва : МАКС Пресс, 2015. – 68 с. – Текст : непосредственный.

98 Цветков, М. А. Лесные карты и методика их составления / М. А. Цветков. – Москва–Ленинград, 1950. – Текст : непосредственный.

99 Цифровое картографическое обеспечение для управления городскими зелеными насаждениями / О. Н. Николаева, Л. К. Трубина, П. И. Муллаярова, В. И. Татаренко. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ, 2019. – Т. 24. – № 4. – С. 132–141.

100 Чермных, А. И. Информационные технологии в лесном хозяйстве / А. И. Чермных, Г. А. Годовалов. – Текст : непосредственный // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 10. – С. 85–89.

101 Черниховский, Д. М. Создание лесных карт с помощью ГИС-технологий: метод. пособие для студентов техникумов и вузов по специальности 26.04 «Лесное и садово-парковое хозяйство» / Д. М. Черниховский. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия, 2003. – 57 с. – Текст : непосредственный.

102 Чернышева, Т. Ю. Модель многокритериальной оценки экспертов / Т. Ю. Чернышева. – Текст : непосредственный // Альманах современной науки и образования. – 2008. – № 9 (16). – С. 242–245.

103 Чибисова, И. С. Информационные технологии в лесном хозяйстве / И. С. Чибисова. – Текст : непосредственный // Эпоха науки. – 2019. – № 19. – С. 85–86.

104 Шапошникова, Л. А. Изображение леса на картах / Л. А. Шапошникова. – Москва, 1957. – Текст : непосредственный.

105 Энциклопедия агролесомелиорации. – Волгоград : ВНИИАЛМИ, 2004. – 674 с. – Текст : непосредственный.

106 Янкелевич, С. С. Концепция нового вида карт, основанного на знаниях / С. С. Янкелевич, Е. С. Антонов. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 188–196. – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-188-196.

107 A Simple Method for Retrieving Understory NDVI in Sparse Needleleaf Forests in Alaska Using MODIS BRDF Data / W. Yang, H. Kobayashi, R. Suzuki, K. N. Nasa-hara. – Текст : непосредственный // Remote Sensing. – 2014. – № 6 (12). – P. 11936–11955.

108 Abreu Freirea, C. E. Development of a Mobile Mapping Solution for Spatial Data Collection using Open-Source Technologies / C. E. Abreu Freirea, M. Painhoa. – Текст : непосредственный // Procedia Technology. – 2014. – No 16. – P. 481–490.

109 Clarke, S. Using ArcPad / S. Clarke, C. Greenwald, V. Spalding. – USA : ESRI Press, 2002. – P. 75–95, 193–221. – Текст : непосредственный.

110 Digital Mobile Sketch Mapping. – URL: <https://www.fs.fed.us/foresthealth/applied-sciences/mapping-reporting/digital-mobile-sketch-mapping.shtml>. – Текст : электронный.

111 Dushkova, D. Methodology for development of a data and knowledge base for learning from existing nature-based solutions in Europe. The CONNECTING Nature project / D. Dushkova, D. Haase. – Текст : непосредственный // MethodsX. – 2020. – No 7. – P. 1–12.

112 Forest Service U. S. – URL: <https://www.fs.usda.gov/>. – Текст : электронный.

113 Geospatial knowledge-based verification and improvement of GlobeLand / Zh. Weiwei, Ch. Jun, L. AnPing, H. Gang, Ch. Xuehong, Ch. LiJun, P. Shu, W. Hao, Zh. Jun. – Текст : непосредственный // Science China Earth Sciences. – 2016. – No 59. – P. 1709–1719.

114 Geovisualization of Forest Dynamics via Mobile GIS. – URL: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2019/EGU2019-1927.pdf>. – Текст : электронный.

115 Крахнера, F. Mapping certified forests for sustainable management – A global tool for information improvement through participatory and collaborative mapping / F. Крахнера, D. Schepaschenko, S. Fuss. – Текст : непосредственный // Forest Policy and Economics. – 2017. – No 83. – P. 10–18.

116 Kuipers, B. Modeling Spatial Knowledge / B. Kuipers. – Текст : непосредственный // Cognitive Science. – 1978. – No 2. – P. 129–153.

117 New paradigm of geoinformation space in territorial aspect / A. Karpik, D. Lisitsky, A. Osipov, V. Savinykh. – Текст : непосредственный // Caderno Suplementar. – 2020. – No. 1. – 13 p.

118 OFSDS. – URL: <http://ofsds.in/gis/index.php?s=mis>. – Текст : электронный.

119 Plochmann, R. Forest Policy Challenges in Formatting, Management Guidelines in Central Europe / R. Plochmann. – Текст : непосредственный // XIX World Congress Proceedings. Division 4. – Montreal, 1990. – P. 150–158.

120 Protecting Our Planet with Digital Twins // Geospatial World Weekly: geospatial media platform. – 22.11.2021. – URL: <https://mailchi.mp/geospatialworld.net/gw-weekly-22-nov-21-emea-1598298?e=c0c1b57b90>. – Текст : электронный.

121 Rauhakallio, P. 6 reasons why energy transmission & distribution utilities need Digital Twin technology / P. Rauhakallio. – Текст : электронный // Geospatial World Weekly: geospatial media platform. – 20.09.2021. – URL: <https://www.geospatial-world.net/article/6-reasons-why-energy-transmission-distribution-utilities-need-digital-twin-technology/>.

122 S1 MOBILE MAPPER APPLICATION FOR ANDROID. – URL: <https://www.blm.gov/services/geospatial/mobile-GIS/s1mobile>. – Текст : электронный.

123 Solyman, A. A. Investigating Mobile GIS / A. A. Solyman. – Текст : электронный // Department of Geomatics Engineering, Calgary. – 2005. – URL: http://www.directionsmag.com/printer.php?article_id=2009.

124 The ArcGIS Book second edition. – URL: <https://learn.arcgis.com/ru/arcgis-book/chapter7/>. – Текст : электронный.

125 Tomko, M. Spatial Databases for Mobile GIS Applications / M. Tomko. – Текст : непосредственный // Slovak University of Technology Faculty of Civil Engineering Department of Geodesy, Bratislava – 2003. – P. 14–15.

126 Trimble, 2002. Mapping Systems General Reference. – URL: http://gis-geek.pdx.edu/G425FieldGIS/MapSys_Jan2002_GenRef.pdf. – Текст : электронный.

127 Tsvetkov, V. Ya. Spatial Information Models / V. Ya. Tsvetkov. – Текст : непосредственный // European Researcher. – 2013. – Vol. (60), No. 10-1. – P. 2386–2392.

128 Türk, T. Mobile GIS application in urban areas and forest boundaries: a case study / T. Türk, K. Hastaoglu. – URL: https://www.researchgate.net/publication/237744341_MOBILE_GIS_APPLICATION_IN_URBAN_AREAS_AND_FOREST_BOUNDARIES_A_CASE_STUDY. – Текст : электронный.

129 Use of Digital and 3D Visualisation Technology in Planning for Woodland Expansion / C. Wang, A. Gimona, A. B. Compagnucci, Y. Jiang. – Текст : электронный // EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-1243. – 2019. – URL: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-1243>.

130 Yomralioglu, T. Mobile Geographical Information Systems (GIS) and Its Applications (in Turkish) / T. Yomralioglu, F. Doner. – URL: <http://www.gislab.ktu.edu.tr/yayinlar/MobilGIS.pdf>. – Текст : электронный.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)
ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ

База геопространственных знаний – набор формализованных экспертных знаний и алгоритмов их формирования, определенным образом организованных и связанных друг с другом и с внешней средой (базами данных).

Выдел – минимальная хозяйственная единица лесного фонда, часть лесного квартала. В один выдел объединяются участки леса, сходные по породному составу, возрасту, полноте, другим показателям. Точность определения границ выделов, степень их однородности и размеры зависят от точности проводимых лесоустроительных работ, в первую очередь от разряда лесоустройства. Выдел является объектом хозяйственного планирования, т. е. все рубки и другие хозяйственные мероприятия, как правило, проектируются для конкретного выдела или группы выделов. В однородных лесных массивах при назначении рубок границы выделов часто не учитываются.

Защитные леса – лесные насаждения, предназначенные для защиты различных объектов от нежелательных природных (например, атмосферных осадков, ветров, лавин) или антропогенных воздействий. В отличие от относящихся к ним защитных лесных насаждений, могут иметь как искусственное, так и естественное происхождение.

Квартал – часть лесного фонда, выделяемая с хозяйственными целями. Большинство лесов России разделены на кварталы, как правило, прямоугольной формы. Размеры кварталов зависят от степени освоенности территории и интенсивности ведения лесного хозяйства. Кварталы разделены просеками, проходящими, в большинстве случаев, с запада на восток и с севера на юг. На пересечении просек устанавливаются квартальные столбы с указанием номеров кварталов. Нумерация кварталов в пределах одного лесничества ведется, как правило, с запада на восток и с севера на юг. В наименее доступных лесах кварталы выделяются по естественным ориентирам (рекам, водоразделам).

Лесничество – подразделение лесхоза, отвечающее за часть его лесов, непосредственно осуществляющее работы по отводу лесосек, охране лесов и различной хозяйственной деятельности, но не являющееся самостоятельным юридическим лицом. Лесничеством руководит лесничий, а непосредственную охрану лесов и хозяйственные работы выполняют лесники. В настоящее время система лесхозов и лесничеств находится в состоянии перестройки и неизвестно, в каком виде она сохранится. В дореволюционной России лесничества фактически являлись аналогами современных лесхозов, т. е. представляли собой самостоятельные организации.

Лесной фонд – все леса Российской Федерации (кроме расположенных на землях обороны, землях населенных пунктов, землях ООПТ), а также земли, не покрытые лесом, но включенные в установленном порядке в границы лесного фонда. Земли лесного фонда разделяются на лесные и нелесные.

Лесные земли – ведомственная категория земель, включающая в себя земли, покрытые лесной растительностью или не покрытые ею, но предназначенные для ее произрастания (вырубки, гари, погибшие древостои, редины, пустыри, прогалины, лесные питомники, несомкнувшиеся лесные культуры и др.), т. е. все земли лесного фонда, за исключением тех, на которых естественный рост или выращивание леса невозможны.

Лесоустройство – комплекс работ по оценке состояния лесов и проектированию мероприятий по их использованию, воспроизводству, охране и защите. Проще говоря – процесс инвентаризации лесов и планирования хозяйственной деятельности. Лесоустройство разрабатывает обязательный к исполнению план организации и ведения лесного хозяйства на период до следующего лесоустройства (ревизионный период). Проводится специализированными организациями (лесоустроительными предприятиями). В подавляющем большинстве случаев проводится раз в 10 (иногда – 15–20) лет («базовое лесоустройство»). Возможно также проведение непрерывного лесоустройства, при котором все изменения в структуре лесного фонда вносятся в проект ведения лесного хозяйства постоянно. Однако непрерывное лесоустройство пока не вышло за рамки эксперимента.

Насаждение (лесное насаждение) – любой (независимо от происхождения – естественного или искусственного) относительно однородный по внутренней структуре и условиям произрастания участок леса, включающий в себя древостой, подрост, подлесок и живой напочвенный покров. Наиболее обычный термин, которым работники лесного хозяйства обозначают конкретный участок леса. Иными словами, насаждение – принятое в лесном хозяйстве название лесной экосистемы.

Особо защитные участки (ОЗУ) – участки леса, на которых ограничивается режим хозяйственной деятельности с целью сохранения их природных или средообразующих свойств. Для различных категорий ОЗУ может устанавливаться свой режим лесопользования. Лесохозяйственные нормативы выделения ОЗУ и определения их режимов не всегда соответствуют действующему природоохранительному законодательству, что нередко служит причиной возникновения конфликтных ситуаций.

Планшеты – планы (карты) участков лесного фонда (масштаба 1 : 10 000 – 1 : 25 000 в зависимости от разряда лесоустройства), обычно на группу смежных кварталов, черно-белые, с нанесением точных границ лесного фонда, кварталов и выделов, и основных показателей выделов. На планшетах в лесничествах и лесхозах наносятся границы всех (в теории) или большинства (на практике) проведенных за период после последнего лесоустройства мероприятий. Территория одного лесничества может занимать до нескольких десятков планшетов.

Планы лесничеств (схемы территорий лесничеств) – карты лесничеств (обычно масштаба 1 : 100 000 или более мелкого) с указанием расположения кварталов. Объекты, находящиеся вне леса, и леса других ведомств часто отмечаются условно. Общие карты лесничеств обычно дополняются тематическими (окрашенными по преобладающим породам, по классам пожарной опасности и др.).

Планы лесонасаждений – планы (карты) лесных участков земель лесного фонда (масштаба 1 : 25 000–1 : 50 000 в зависимости от разряда лесоустройства), окрашенные по преобладающим породам и группам возраста (повыдельно), обычно на лесничество. Применяются как обзорные карты. Изменения, произошед-

шие в лесном фонде после лесоустройства, на планы насаждений обычно не наносятся. Нередко изготавливаются планы, окрашенные по назначенным мероприятиям, по спелым и перестойным насаждениям либо несущие другую дополнительную информацию.

Совмещенная таксационно-картографическая база данных – база данных, состоящая из двух частей – таксационной и картографической. Таксационная часть базы данных содержит таксационные характеристики лесных объектов. Картографическая часть базы данных содержит графическую информацию, отражающую пространственное размещение объектов лесного хозяйства, представленную на топографической основе в определенной системе координат.

Таксационное дешифрирование – вид работ при котором глазомерно определяются состав насаждения, классы бонитета и возраста насаждения на основании заранее изученных фотометрических (тон и цвет изображения) и морфологических (структура и текстура рисунка изображения) признаков дешифрирования с учетом профессиональных знаний и опыта дешифровщика.

Таксационное описание – часть проекта организации и ведения лесного хозяйства, составляемого при лесоустройстве, в которой содержится характеристика всех выделов лесного фонда данного предприятия по стандартной форме. Представляет собой толстую книгу с таблицами (обычно информация о всех лесах одного лесничества помещается в одном или двух томах таксационных описаний). Основной документ, содержащий хозяйственную информацию о лесах конкретного предприятия.

Тип леса – лесоводственная или биологическая классификационная единица, объединяющая леса с однородными лесорастительными условиями и соответствующим им составом растительности. Существуют и применяются на практике многочисленные различные классификации типов леса, основывающиеся на разных признаках насаждений и (или) лесорастительных условий. Чаще всего тип леса определяется по доминантам древесного яруса и травяно-кустарничкового покрова (например, сосняк черничный, дубрава снытевая и др.) или только по доминантам

травяно-кустарничкового покрова (лишайниковый, брусничный, черничный и др.). Единой системы типов леса, одинаково понимаемой и признаваемой большинством специалистов во всех регионах страны, не существует.

Участковое лесничество – это структурное подразделение системы государственного лесного хозяйства, занимающееся управлением и охраной лесов на определенной территории. Участок состоит из нескольких лесных объектов, каждый из которых имеет свою площадь, вид и состояние продуктивности.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)
ЭКСПЕРТНАЯ АНКЕТА

ФИО эксперта: _____

Должность: _____

Стаж: _____

Дата заполнения анкеты: _____

Заполните таблицу, указав ранг каждого типа ошибок в зависимости от их влияния на достоверность лесных карт от 1 до 4, где 1 – наиболее значимый тип ошибок, а 4 – наименее значимый.

Тип ошибок	Ранг
графические	
таксационные	
топологические	
семантические	

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ОСНОВНОЙ ЭЛЕМЕНТ ЛЕСА	ГРУППЫ ВОЗРАСТА / СОМКНУВШИЕСЯ КУЛЬТУРЫ				Насаждения по сырым и мокрым местам	Несомкнувшиеся культуры	Культуры под пологом леса	Культуры, созданные в порядке реконструкции	Подрост под пологом леса. Редины	Второй ярус	
	Молодняки	Средневозрастные	Приспевающие	Спелые и перестойные							
Сосна											
Ель											
Лиственница											
Кедр											
Клен											
Вяз											
Береза											
Осина											
Липа											
Тополь											
Ива древовидная											
Ива кустарниковая											
Облепиха											
Гари и погибшие насаждения	Пашни	Сенокосы	Прогалины	Луга пойменные	Пастбища (выгоны)	Огороды	Ландшафтные поляны	Кладбища	Памятник	Стоянка транспорта	Мосты
Коммуникации	Линия связи	ЛЭП	Газопровод	Профиль	Овраги	Усадьбы ведомственные	Усадьбы частные	Нарушенные земли	Стадионы, спорт-площадки	Пляжи	Пески
ГРАНИЦЫ					ГРАНИЦЫ КВАРТАЛОВ			Реки, озёра, ручьи	Пропадающие участки рек		
Административных районов	Участковых лесничеств	Городских земель	Прочих землепользователей	Таксационных выделов	По кв. просекам	Условные и по естеств. рубежам					
ДОРОГИ				Населенные пункты	НОМЕРА		Болота				
Автомобильные	Ширококолейные железные	Грунтовые	Постоянные тропы		Кварталов	Выделов					
					25	17					

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(обязательное)
АКТЫ О ВНЕДРЕНИИ



УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО НПО
«Экологическая безопасность»
Сковордин Виталий Юрьевич



08 2023 г.

АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы в
производственный процесс ООО НПО «Экологическая безопасность»

Разработка новой методики геоинформационного картографирования лесного хозяйства, основанной на применении мобильных технологий и отображении на лесных картах геопространственных знаний, выполнена в рамках научно-исследовательской работы «Разработка методики геоинформационного картографирования лесного хозяйства с применением мобильных технологий» в ООО НПО «Экологическая безопасность» (автор Лебзак Е.В.).

Результаты исследования внедрены в производственный процесс ООО НПО «Экологическая безопасность» на этапе полевого контурного дешифрирования в процессе лесоустроительных работ и при составлении картографических материалов лесоустройства.

Полученный эффект от внедрения: методика геоинформационного картографирования лесного хозяйства с применением мобильных технологий позволяет ввести в производственный цикл электронную документацию на этапе проведения полевых работ и тем самым повысить качество материалов полевого контурного дешифрирования, снизить вероятность возникновения систематических ошибок, а также сократить временные и трудовые затраты на камеральную обработку. Кроме того, за счет базы геопространственных знаний появилась возможность составлять новые лесные тематические карты, дополненные геопространственными знаниями, предназначенные для решения различных задач в сфере лесного хозяйства.

11.08.2023 г.

Начальник отдела лесной картографии
Тараненко Елена Викторовна

УТВЕРЖДАЮ
 Ректор ФГУИТ
 Карпик Александр Петрович



2023 г.

АКТ

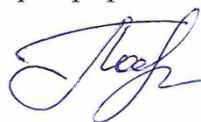
о внедрении результатов НИР в производственный процесс ФГБОУ ВО
 «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»

Методика геоинформационного картографирования лесного хозяйства с применением мобильных технологий, позволяющая ввести в производственный цикл электронную документацию на этапе проведения полевых работ и дополнить содержание лесных карт геопространственными знаниями, разработана в рамках научно-исследовательской работы «Разработка методики геоинформационного картографирования лесного хозяйства с применением мобильных технологий» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (автор Лебзак Е.В.).

Результаты исследования внедрены 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».

Полученный эффект от внедрения: результаты диссертационного исследования служат основой для проведения дальнейших исследований и разработки новых методов и технологий формирования, и отображения геопространственных знаний на тематических картах, предназначенных для решения различных задач в различных сферах деятельности.

Заведующая кафедрой картографии
 и геоинформатики,
 к.т.н., доцент



Пошивайло Ярослава Георгиевна