

На правах рукописи

Спиридонов Виктор Альбертович

**Компьютерная технология создания полотна
геологической карты на основе разномасштабных
геолого-картографических материалов**

Специальность 25.00.35 – Геоинформатика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 2005г.

Работа выполнена в Государственном научном центре Российской Федерации – Всероссийском научно-исследовательском институте геологических, геофизических и геохимических систем (ВНИИГеосистем) Министерства природных ресурсов Российской Федерации.

Научный руководитель: Черемисина Евгения Наумовна, доктор технических наук, профессор (ВНИИГеосистем, г. Москва)

Официальные оппоненты: Баранов Юрий Борисович, доктор геолого-минералогических наук (ООО «ВНИИгаз», г. Москва)
Ванюшин Валерий Анатольевич, доктор технических наук (ВНИИГеосистем, г. Москва)

Ведущая организация: Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ, г. Москва).

Защита состоится «29» сентября 2005г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д.216.011.01 при Всероссийском научно-исследовательском институте геологических, геофизических и геохимических систем в конференц-зале ВНИИГеосистем по адресу Варшавское шоссе, д.8, Москва, 117105.

Автореферат разослан «26» августа 2005г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВНИИГеосистем.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор геолого-минералогических наук



Муравьев В.В.

2006-4
10004

2158102

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Геологические карты масштабов 1:200000 и 1:1000000 являются основным источником фундаментальной информации, обеспечивающим рациональное недропользование, развитие геологических знаний о строении территорий, динамике природных процессов и явлений. Необходимость планового обновления мелко- и среднемасштабных карт обусловлена многими факторами, к важнейшим из которых относятся их «старение» и постоянно возрастающая потребность в более полной геологической информации для решения природопользовательских и природоохранных задач. Острый дефицит ряда полезных ископаемых, изменение инфраструктуры минерально-сырьевой базы страны и ориентировка на устойчивое развитие регионов определяют актуальность комплексных разномасштабных прогнозно-поисковых исследований, основой которых является геологическая карта.

Ключом к обновлению мелко- и среднемасштабных карт служит обобщение результатов проводимых ранее разномасштабных работ, их критическая оценка, создание на базе ретроспективной информации рабочих макетов геологических карт и их комплексирование с результатами интерпретации геофизических, геохимических и дистанционных данных. Систематизировать, обобщить и эффективно задействовать в процессе построения карты накопленный картографический потенциал возможно только с применением новейших методик и автоматизированных технологий геологического картопостроения на основе геоинформационных систем (ГИС). Научные исследования и методические разработки в области геологического картирования проводятся рядом ведущих институтов (ВСЕГЕИ, ГНПП «Аэрогеология», ВНИИОкеангеология, ВНИИЗарубежгеология, СНИИГГиМС, ВНИИгеосистем и др.) и к настоящему времени позволили создать научно-методическую основу для регламентации и формализации этих работ.

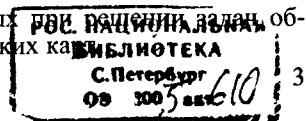
Вместе с тем существует ряд проблем, которые тормозят автоматизацию процесса обновления геологических карт. К ним относятся разобщенность программно-технологических решений отдельных этапов картосоставления, фрагментарность и «геометричность» автоматизированной технологии пространственной генерализации карт, отсутствие удобных средств редактирования цифровой информации, позволяющих в полной мере задействовать потенциал эксперта-геолога. Большой объем картографической информации и трудоемкость создания векторных цифровых моделей часто становятся препятствием для целенаправленного использования компьютерных технологий геологического картопостроения. Это делает актуальным поиски новых эффективных технологических решений для ввода и обработки ретроспективной пространственной информации.

В этой связи актуальным является создание методики и технологии автоматизированного построения полотна геологической карты и разработка программно-технологических средств для работы с пространственной информацией, ориентированных на специалиста-предметника, позволяющих ему проводить работу в привычных условиях.

Целью работы является разработка методики и технологии обновления полотна геологической карты по ретроспективным разномасштабным материалам и ее алгоритмическая и программная реализация.

Основные задачи работы.

1. Анализ компьютерных технологий, используемых для обновления мелко- и среднемасштабных геологических карт.



2. Разработка методики и технологии автоматизированного создания полотно геологической карты по ретроспективным разномасштабным материалам и результатам интерпретации специализированных основ.
3. Создание программно-технологических средств, обеспечивающих автоматизацию основных этапов создания полотно геологической карты:
 - построение цифровых векторных моделей,
 - пространственную генерализацию геолого-картографической информации,
 - экспертное редактирование результирующих векторных карт.
4. Апробация компьютерной технологии при создании цифровых геологических карт для районов с различным геологическим строением.

Научная новизна.

1. Впервые разработана методика и компьютерная технология автоматизированного создания векторных цифровых моделей геологических карт методом объектной векторизации.
2. Предложена новая технология автоматизированного построения полотно мелко- и среднемасштабных геологических карт по ретроспективным данным более крупного масштаба методом последовательной дифференцированной генерализации картографических объектов с учетом особенностей геологического строения территории.
3. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение объектной векторизации, пространственной генерализации полотно карты, объектного векторного редактирования.

Практическая значимость.

Практическая значимость исследований заключается в разработке программно-технологических средств обновления геологических карт, что позволяет в полной мере использовать огромные массивы ретроспективной информации и обеспечить построение геологических карт масштабного ряда 1:200000 - 1:1000000 - 1:250000 на единой технологической основе.

Использование технологии объектной векторизации, основанной на распознавании картографических объектов по растровым изображениям, снижает трудозатраты при создании векторных цифровых моделей карт и расширяет возможности ее применения в производственных организациях.

Созданная технология объектного редактирования векторных карт максимально приближена к традиционному редактированию на бумаге, что позволяет более полно задействовать потенциал геолога при компьютерном создании геологической карты.

На основе разработанной технологии проведено создание геологических карт листов R-51, 52 (Тикси), L-42-II (Центральный Казахстан, Джезказган), R-48-XI, XII, XVI, XVII, XXII (Анабарский шит).

Защищаемые положения.

1. Предложенная методико-технологическая схема автоматизированного обновления геологических карт обеспечивает создание согласованных векторных моделей исходных карт, обобщение разномасштабных данных путем последовательной дифференцированной генерализации векторных моделей карт масштабного ряда, увязку с результатами интерпретации специализированных основ и окончательное редактирование карты.
2. Разработанная компьютерная технология создания векторных моделей карт методом объектной векторизации, основанная на распознавании картографических объектов по растровой карте и их отождествлении с одним из об-

разов легенды, позволяет повысить уровень автоматизации при создании цифровой геологической карты и обеспечивает оперативность ее построения за счет отсутствия стадии ввода геометрии и атрибутов картографических объектов.

3. Автоматизированная технология пространственной генерализации крупномасштабных карт, реализующая последовательный дифференцированный подход к генерализации картографических объектов с учетом их геологических свойств и пространственных взаимоотношений, является эффективным средством систематизации, картографического обобщения и использования информационного потенциала ретроспективных материалов.
4. Разработанное программно-технологическое обеспечение объектного редактирования векторных карт представляет геологу удобный многофункциональный инструмент для формирования полотна результирующей карты благодаря использованию объектной модели данных, поддержке топологических отношений внутри и между слоями цифровой модели, реализации возможности редактирования в традиционном стилевом оформлении, многооконности и синхронизации изображения.

Реализация и апробация работы.

Основные результаты работы докладывались на VI Международном симпозиуме по применению математических методов в геологии, горном деле и металлургии (Прага, 1997), XXIX и XXX-ой Международных конференциях «Информационные технологии в науке, образовании и бизнесе» (Гурзуф, 2002, 2003), конференциях пользователей программных продуктов ESRI & ERDAS в России и странах СНГ (Голицыно, 2001 – 2003), Международных конференциях «Геоинформационные системы в геологии» (Москва, 2002, 2004), XXXII Международном геологическом конгрессе (Флоренция, 2004), рабочем совещании по проблемам создания комплектов Гогсеолкарт Российской Федерации масштаба 1:1000000 третьего поколения (Санкт-Петербург, 2005).

Публикации и личный вклад в решение проблемы.

Диссертация основана на методических, алгоритмических и технологических исследованиях, выполненных автором в период с 1998 по 2005 г. Основные теоретические, алгоритмические и технологические результаты получены непосредственно диссертантом. Автором разработаны методические, технологические и алгоритмические аспекты построения векторных цифровых моделей геологических карт, пространственной генерализации полотна геологической карты с учетом локальных особенностей геологического строения и свойств картографических объектов, экспертного редактирования.

По результатам выполненных исследований опубликовано 9 печатных работ.

Объем и структура работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, содержит 105 страниц текста, 35 иллюстраций. Список литературы содержит 63 наименования.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю д.т.н. проф. Е.Н.Черемисиной, искренне благодарит к.г.-м.н. В.С.Андреева, д.т.н. М.Я.Финкельштейна, к.т.н. Л.Е.Чесалова, к.т.н. В.И.Галуева, к.т.н. О.В.Митракову, А.С.Киреева, к.т.н. А.В.Любимову за консультации и помощь в работе; К.В.Деева и А.С.Попова за помощь в написании программ; В.С.Ваксина, И.А.Халявкину за помощь в подготовке презентационных материалов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Методики и технологии обновления мелко- и среднемасштабных геологических карт. Современное состояние.

В первой главе диссертации рассмотрены вопросы автоматизированного обновления мелко- и среднемасштабных геологических карт, проанализировано современное состояние программно-технологического обеспечения.

В течение последних лет резко сократились темпы проведения геологосъемочных работ. Вместе с тем за многие годы планомерных государственных съемок накоплен огромный объем разномасштабной геолого-картографической информации. Поэтому на современном этапе основной методический подход при обновлении мелко- и среднемасштабных карт состоит в активном вовлечении крупномасштабных ретроспективных данных и их комплексировании с результатами интерпретации специализированных основ (дистанционной, геофизической, геохимической).

Вопросы создания и обновления геологической карты регламентируются рядом инструктивных материалов, акцентирующих внимание на ее цифровом представлении и предусматривающих активное использование компьютерных технологий. При создании цифровой геологической карты по крупномасштабным ретроспективным источникам выделяется три основных направления:

- создание банка цифровой информации,
- создание новой легенды карты,
- создание полотна геологической карты.

Созданию банка цифровой информации посвящен целый ряд работ (С.И.Стрельников, З.Д.Москаленко, Г.И.Давидан, В.В.Старченко). В них определяется структура и состав основных баз данных. Банк цифровой информации составляют базы: фактического материала, специализированных основ (дистанционной, геофизической, геохимической, топографической), цифровых моделей (ЦМ) ретроспективных карт, легенд ретроспективных карт, серийных легенд и другие.

Вопросы организации базы первичной фактографической информации и других специализированных баз освещены в требованиях и рекомендациях по созданию Государственной геологической карты (ГГК) масштаба 1:200000 (З.Д.Москаленко, Л.К.Дьяконова, Б.Л.Арсеньев, А.И.Бурдэ, В.В.Старченко).

База картографических материалов содержит цифровые модели ретроспективных разномасштабных карт и схем. В главе рассмотрены основные формы, модели и способы организации цифровых данных, а также вопросы корректности цифровых моделей (ЦМ). В базу помещают отсканированные растры ретроспективных карт и векторные модели, полученные из разных источников (специализированных баз векторной геологической информации). Отсутствующие векторные ЦМ создаются путем векторизации (оцифровки) по растровым изображениям карт.

Легенда геологической карты – это сложная теоретическая конструкция, раскрывающая глубинную структуру карты и обладающая знаковым, классификационным и структурным аспектами (А.И.Бурдэ). Созданию легенды карты, в том числе электронной, посвящены работы Н.В.Межеловского, С.П.Шокальского, Е.И.Котельникова, Н.У.Карпузовой и других. При создании цифровой легенды карты проводится: 1) выбор фрагмента серийной легенды, отвечающего территории карты; 2) анализ соответствия базы легенд ретроспективных карт и фрагмента серийной легенды; 3) построение новой легенды карты; 4) построение схем перехода от ретроспективных разномасштабных легенд к новой легенде карты; 5) передача легенды карты и схем перехода в системы обработки пространственной информации.

В основе построения полотна геологической карты лежит генерализация картографического изображения. Общие вопросы картографической генерализации рассмотрены в работах К.А.Салищева, А.Ф.Асланикашвили, Ю.В.Свентека, А.М.Берлянта. Автоматизация при проведении генерализации топографических и тематических карт рассмотрены в работах О.Р.Мусина, Т.К.Собчука, Е.И.Лаврова.

Вопросы составления полотна геологической карты с применением крупномасштабных картографических материалов и теоретические вопросы генерализации геологических объектов нашли отражение в работах Е.В.Соловицкого, Н.В.Красильниковой, А.И.Бурдэ, Е.М.Заболоцкого, С.И.Стрельникова. В этих работах этап составления сводной карты определяется как сложный творческий процесс, включающий три взаимосвязанных элемента: содержательный анализ, генерализацию первичной информации и построение генерализованного изображения геологической карты. В самой генерализации выделяется два взаимосвязанных аспекта: генерализация легенды и пространства карты (т.н. пространственная генерализация). Вопросы автоматизации при проведении пространственной генерализации геологической карты (ее геометрический аспект) освещены в работах автора совместно с Е.Н.Черемисиной, М.Я.Финкельштейном, В.С.Андреевым, Л.Е.Чесаловым.

Особая роль в процессе автоматизированного картосоставления отводится экспертному редактированию. Экспертная оценка и редактирование сопровождает все этапы автоматизированного создания геологической карты. При редактировании картографической информации необходимо решить два основных вопроса: сохранение корректности цифровой модели и сближение компьютерного (на экране) и традиционного (на бумажной карте) редактирования. Первое условие возможно выполнить только для цифровых моделей, поддерживающих топологические отношения между объектами в явном или неявном виде. Второе – с применением объектной или объектно-ориентированной модели данных.

Анализ используемых при обновлении геологической карты компьютерных технологий позволяет выделить системы двух типов. Первый составляют компьютерные технологии, реализованные на основе зарубежных и отечественных инструментальных ГИС: ArcGIS, ArcInfo/ArcView (ESRI, США), MapInfo (MapInfo Corporation, США), ГеоГраф (ИГ РАН, Москва), ГИС Карта 2003 (КБ Панорама, Москва). Эти технологии, как правило, используют функционал ГИС и некоторые расширения, написанные на собственном макроязыке (Avenue – ArcView, AML – ArcInfo, MapBasic – MapInfo) или на объектно-ориентированном языке программирования (Visual Basic – ArcGis). ГИС обеспечивает сбор, хранение, доступ, обработку и отображение пространственных данных, а расширения – содержательные функции технологии. Существует несколько крупных геологических расширений стандартных ГИС: ENCOM DISCOVER (MapInfo), SynArc (ArcInfo). Также в геологической отрасли широкое применение получили специализированные ГИС (ГИС ИНТЕГРО (ВНИИгеосистем), ГИС ПАРК (ЛАНЭКО)), разработанные с учетом специфики геологических задач и данных, обладающие хорошо развитыми средствами обработки и пространственного анализа геологической информации для решения задач интерпретации, прогноза и оценки геологических продуктивных объектов.

Второй тип программного обеспечения – специализированные средства, созданные в отрасли за последние годы и реализующие крупные технологические блоки: создание и ведение базы первичной информации АДК (СпецИКЦ РГ), создание серийных легенд ЛЕГЕНДА-2 (ФГУГП ЗабСибГеолсьемка), ЛЕГЕНДА-2000 (ЗабСибГеолсьемка, ВНИИгеосистем) и GETERA (ВНИИЗарубежгеология), база условных обозначений геологических карт ЭБЗ (СпецИКЦ РГ, ВСЕГЕИ), блок геометрической генерализации на базе ГИС ИНТЕГРО (ВНИИгеосистем).

Построение векторных ЦМ ретроспективных карт выполняется в рамках специализированных модулей ГИС (ArcScan, модуль ArcInfo) или программами-векторизаторами (Easy Trace, MapEdit и другими) в ручном или полуавтоматическом режимах. Наибольшее распространение получили полуавтоматические алгоритмы векторизации, основанные на автоматическом прослеживании растровой линии определенного цвета (яркости) на изображении и принятии решения оператором в узловых точках. Ввод и создание векторных ЦМ карт для хорошо изученных территорий (например, Урала) требует больших затрат времени и ресурсов. Это делает актуальным поиск новых подходов к векторизации, повышающих эффективность ввода информации и снижающих трудозатраты на создание векторных ЦМ.

Редактирование векторных ЦМ выполняется в среде ГИС и ориентировано на технического специалиста. Чаще всего редактирование в ГИС зависит от модели векторного представления и проводится на уровне геометрических составляющих векторных объектов (узлов, дуг, меток для узло-дуговых моделей; точек, линий, полигонов для объектных моделей). Другое существенное ограничение – количество слоев, доступных для одновременного редактирования. Некоторые редакторы (MapInfo) позволяют одновременно редактировать несколько векторных слоев, не сохраняя при этом корректность ЦМ. Наиболее развитыми средствами редактирования обладают ГИС, поддерживающие объектно-ориентированную модель данных, например, ArcGIS. Однако полный спектр функций доступен только при создании корректной базы геоданных, что не всегда целесообразно в задачах картопостроения.

Отдельные функции геометрической генерализации (сглаживание, упрощение, объединение объектов, удаление) выполняются редакторами ГИС. При этом не учитываются свойства геолого-картографических объектов, их пространственные взаимоотношения и локальные особенности геологического строения территории. Функции геометрической генерализации применяются в ручном режиме.

Таким образом, на основе анализа современного состояния программно-технологического обеспечения всех этапов составления геологических карт по разномасштабным ретроспективным материалам можно сделать следующие выводы:

- в связи с большим объемом используемой ретроспективной картографической информации требуется поиск новых подходов, обеспечивающих построение векторных моделей с минимальными время- и трудозатратами;
- слабо разработана технология пространственной генерализации, учитывающая особенности геологического строения территории и свойства самих объектов;
- имеющиеся программно-технологические средства редактирования ориентированы на технического специалиста и не позволяют в полной мере задействовать потенциал эксперта-геолога при его проведении;
- основой разрабатываемой технологии должна служить ГИС, обеспечивающая хранение, доступ, обработку и отображение пространственных данных, а также обмен данными со специализированными приложениями, реализующими крупные технологические блоки.

Глава 2. Методико-технологическое обеспечение автоматизированного построения полотна мелко- и среднемасштабных геологических карт.

Во второй главе рассмотрены основные методические аспекты и принципы предметно-ориентированного подхода к обработке и анализу картографической информации при построении полотна геологической карты. Обосновывается целесообразность выделения в единую технологию всех этапов ее обработки.

2.1. Первый раздел главы посвящен описанию предложенной автором общей методико-технологической схеме создания полотна геологической карты на основе разномасштабных геолого-картографических материалов (рис. 1).

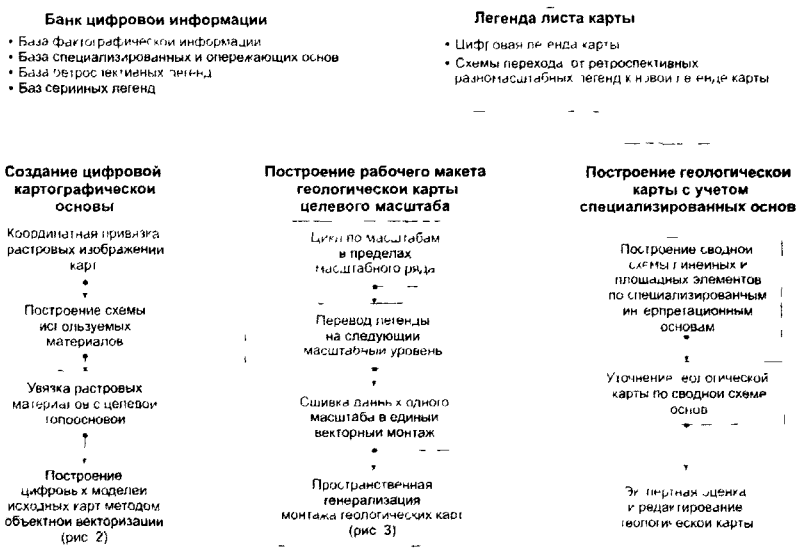


Рис. 1. Общая методико-технологическая схема создания полотна мелко- и среднемасштабных геологических карт на основе разномасштабной геолого-картографической информации.

В процессе создания полотна геологической карты выделяются три крупных этапа:

- создание рабочей цифровой картографической основы,
- построение рабочего макета карты по цифровым разномасштабным геолого-картографическим материалам,
- построение карты с учетом результатов обработки специализированных данных (геофизических, дистанционных, геохимических).

Создание цифровой картографической основы выполняется по растровым изображениям карт разных масштабов и ретроспективным векторным моделям, входящим в банк цифровой информации. Этап обеспечивает построение согласованных векторных цифровых моделей, взаимоувязанных с остальными пространственными данными, используемыми при создании полотна геологической карты. Этап включает: привязку растровых материалов в систему координат картографической проекции, построение схемы используемых материалов, трансформацию растровых изображений к целевой топооснове, построение векторных цифровых моделей по растровым материалам.

В результате привязки растровых материалов осуществляется их перевод в систему координат картографической проекции. Технологическим обеспечением является расчет коэффициентов перехода из системы координат расгра в систему координат картографической проекции.

Схема используемых картматериалов строится на основе анализа качества ретроспективных данных. В результате анализа осуществляется отбор картматериала-

лов (или их фрагментов) для последующего решения задачи построения новой геологической карты. Анализ качества картматериалов выполняется экспертом путем совмещения растровых изображений карт (или объединенных в пределах одного масштаба растровых монтажей) с дистанционной основой и данными фактического материала. Технологическим обеспечением являются функции визуализации и оперирования разнородной цифровой информации (растровой и векторной), а также функции связи с базой фактографической информации.

Цифровая топооснова целевого масштаба предоставляется специализированными организациями (Росгеолфондом, Роскартографией) и считается единой для всех создаваемых тематических карт, в том числе и геологической. Анализ взаимоотношений между рельефом и геологическими границами на карте позволяет судить о структуре геологических объектов (поверхность и залегание геологических тел) и может служить важным минерагеническим фактором при проведении прогнозно-поисковых исследований. Для сохранения этих взаимоотношений выполняется трансформация растровых изображений карт к целевой топооснове по опорным точкам (места слияния рек, впадения притоков, характерные изгибы гидросети и береговой линии). Опорная сеть точек равномерно распределяется по всему изображению. Плотность опорной сети зависит от степени искажений карты. Для трансформации растровых данных используются кусочно-аффинные преобразования на основе триангуляции Делоне по опорным точкам.

Привязка в координаты картографической проекции, трансформация растров и сшивка их в растровые монтажи выполняется с помощью специального программного обеспечения, например, RECTIFY, разработанного во ВНИИгеосистем при непосредственном участии автора.

Построение векторных моделей карт – самый трудоемкий этап всей технологии. Векторные модели карт создаются путем векторизации по их растровым изображениям, привязанным к системе координат проекции и совмещенным с рельефом целевого масштаба. Система кодирования атрибутивной составляющей цифровой модели при ее построении определяется базой ретроспективных легенд. Используемое программно-технологическое обеспечение (векторизаторы) и технология построения векторной модели зависят от качества растровых изображений и способа издания аналоговых карт (полиграфический, ручной). Автором предложен метод объектной векторизации геологических карт, изданных типографским способом (раздел 2.2).

Этап построения рабочего макета геологической карты целевого масштаба по разномасштабным геолого-картографическим материалам позволяет обобщить данные геологических исследований разных лет и масштабов, актуализировать и систематизировать информацию в соответствии с современными представлениями о геологическом строении территории. На этапе создания рабочего макета выполняется последовательная генерализация ВЦМ геологических карт от самого крупного из имеющихся масштабов до целевого масштаба. Уровни генерализации определяются стандартным масштабным рядом геологических карт: 1:50000 – 1:200000 – 1:1000000 – 1:2500000. На каждом шаге в построениях принимают участие уже генерализованные данные более крупных масштабов и данные соответствующего масштабного уровня. Результатом этапа являются рабочие макеты геологической карты в пределах масштабного ряда и макет карты целевого масштаба, увязанные между собой на основе общих принципов построения легенды и полотно карты.

На каждом масштабном уровне выполняются следующие операции: переход к легенде следующего масштаба, сшивка векторных данных в единый монтаж, пространственная генерализация монтажа карт.

Перевод ретроспективных карт в легенду следующего масштабного уровня осуществляется с помощью схем перехода от авторских легенд к целевой легенде, созданных в специализированном приложении построения легенды. Операция выполняет генерализацию легенды при построении полотна карты. Технологическая поддержка осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения базы легенд и функций ГИС для работы с атрибутивными данными.

На стадии сшивки векторных данных подготавливаются объединенные монтажи каждого масштабного уровня. Операция заключается в построении единой векторной модели, включающей в себя все листы одного масштаба и листы, приведенные к масштабу в результате генерализации. В случае перекрытия цифровых моделей друг другом, приоритет при сшивке отдается генерализованным данным. После построения сборного монтажа выполняется экспертное редактирование по границам сшивки. Оно обеспечивает стыковку атрибутивных данных линейных и полигональных объектов, удаление «паразитных» внутренних областей, связанных с недостаточным допуском сшивки листов.

Методика пространственной генерализации, разработанная автором, подробно описана в разделе 2.3. В силу сложности и слабой формализации процесса пространственной генерализации предполагается активное участие эксперта-геолога в ее проведении. Результатом пространственной генерализации является рабочий макет геологической карты следующего масштабного уровня.

На этапе построения геологической карты с учетом специализированных основ выполняется увязка рабочего макета геологической карты целевого масштаба с результатами пометодной обработки специализированных основ: геофизической, дистанционной, геохимической. Интерпретационная составляющая специализированных основ определяется соответствующими инструкциями. Для учета этих данных выполняется ряд последовательных операций: совмещение результатов интерпретации основ и построение по ним сводной схемы совпадающих линейных и площадных элементов, уточнение геологической карты с использованием сводной схемы основ, экспертная оценка и окончательное редактирование карты.

Построение сводной схемы линейных и площадных элементов выполняет эксперт. Для ее построения совмещаются рабочий макет геологической карты и интерпретационные схемы основ. На совмещенных схемах выделяются близко расположенные параллельные линейные объекты и объекты, дополняющие друг друга по просиранию и вытягивающиеся в линию. Проводится ранжирование линейных объектов по масштабу и углу падения. Экспертом сопоставляются блоки и отдельные аномалии, выделенные в результате интерпретации, определяется их совпадение с геологическими объектами рабочего макета карты. На сводную схему также выносятся объекты с четкой геологической интерпретацией. Технологическая поддержка обеспечивается функциями пространственного анализа ГИС.

При увязке геологической карты и специализированных основ учитывается полученная на предыдущем шаге сводная схема линейных и площадных элементов. В соответствии с ней уточняется положение разломной тектоники на карте, в том числе для территорий, перекрытых четвертичными отложениями. Карта дополняется разломами, не попавшими на результирующую карту, но совпадающими с линейными элементами сводной схемы основ. По границам локальных геофизических аномалий, пространственно отвечающих аномалиям дистанционной основы, уточняются границы геологических объектов на карте.

На заключительном этапе проводится экспертная оценка новой геологической карты с позиций соответствия фактическому материалу, структурности кар-

ты, сохранения ее основных особенностей, проработки отдельных контуров геологических объектов, их генетической узнаваемости и соотношения с рельефом. По результатам оценки выполняется окончательное экспертное редактирование полотна карты, а также увязка карты с листами соседних геологических карт.

2.2. Во втором разделе рассматриваются методические и технологические аспекты объектной векторизации.

Построение ВЦМ основано на векторизации растровых изображений карт и является одним из самых ресурсо- и трудоемких этапов всей технологии, особенно для хорошо изученных территорий. Преобладающий в настоящее время подход к векторизации состоит в следующем: по растру в ручном или полуавтоматическом режиме обводятся границы объектов, на основе введенных границ выполняется построение площадных объектов карты, последние классифицируются в ручном режиме согласно легенде. Дальнейшая автоматизация при таком подходе возможна за счет оптимизации алгоритмов полуавтоматической векторизации и процедур подготовки растра (например, разделение растра на слои путем задания цветовых диапазонов, соответствующих некоторым тематическим слоям карты).

В развитие и дополнение традиционного подхода автором предложен объектный подход к векторизации, основанный на выделении картографических объектов по растровому изображению и их сопоставлении с набором эталонных объектов легенды по комплексу цветовых и текстурных характеристик.

В процессе объектной векторизации отсутствует стадия ввода геометрических частей объекта (узлов и дуг). Все тематические объекты, включая геологические границы, выделяются в результате анализа и обработки растрового изображения карты. Необходимо различать растровое изображение карты и растровую модель карты. На растровом изображении элементарная ячейка (пиксель) несет информацию о цвете или яркости изображения, а на растровой карте – о картографическом объекте. Основу схемы объектной векторизации составляет переход от растрового изображения к растровой модели, а потом к векторной цифровой модели карты (рис. 2).

Методические аспекты объектной векторизации разработаны для геологических карт, изданных типографским способом. Это связано со строгим соответствием таких карт инструкциям по оформлению и изданию, а также с особенностями формирования цветовой фоновой полиграфической раскраски на геологических картах.

Для изображения геологических объектов и их характеристик применяются картографические изобразительные средства: цвет, штриховка, крап, толщина и стиль (для линий), условные знаки, подписи. На основе этих средств составляется система условных обозначений карты (легенда). Цвет обладает высокой способностью зрительного восприятия, поэтому он используется для отображения наиболее важных характеристик геологических объектов: возраст, состав интрузий. Штриховка отображает дополнительные характеристики: вторичные изменения, мощность четвертичных отложений и другие. Крап часто применяют для показа состава, структуры и текстуры геологических тел. Цветовая шкала является основой классификации при построении ВЦМ.

В дальнейшем под геолого-картографическими объектами (ГКО) будем понимать объекты, задаваемые цветовой шкалой легенды. Штриховку и крап будем считать дополнительными характеристиками этих объектов. ГКО в зависимости от своих пространственных свойств делятся по типу геометрического представления на площадные, линейные и точечные.



Рис. 2. Общая методико-технологическая схема объектной векторизации.

В объектной векторизации автор выделяет несколько основных этапов:

- подготовительный этап векторизации,
- выделение площадных и линейных объектов карты,
- классификация площадных объектов,
- построение векторной цифровой модели карты.

На подготовительном этапе осуществляется: создание цифровой растровой основы объектной векторизации, выделение маски линейного и точечного «шума» по изображению карты.

Цифровая основа векторизации строится по изображениям легенды и карты. Она включает в себя слои цветовых составляющих изображения (R, G, B) и слой полутонового изображения (в шкале яркости) в формате регулярной прямоугольной сети.

Кроме тематических (геологических) слоев на карте обязательно присутствуют слои топоосновы и надписи. Так как за основу классификации площадных объектов карты взята цветовая шкала легенды, вся остальная нагрузка, включая дополнительную геологическую (штриховка, крап), выделяется в маску линейных и точечных элементов изображения карты. Под маской будем понимать слой изображения, принимающий значение 0 (нет свойства) или 1 (есть свойство). Маска не должна включать линейные элементы цветовой полиграфической раскраски.

Выделение площадных и линейных объектов карты. Геолого-картографический объект на растровом изображении представлен множеством пикселей разного цвета (яркости). Граница ГКО – обязательный элемент геологической карты, несущий дополнительную информацию о достоверности картирования, условиях формирования, видимости и др. Граница между объектами может проходить по линейным ГКО (т.н. границеобразующим объектам): разломам, надвигам, дайкам и другим.

Границы и границеобразующие объекты выделяются на основе их изобразительных свойств: цвета и толщины линии. Геологические границы, показываемые на карте, имеют цвет, близкий к черному. Другие линейные объекты могут быть разного цвета (красные, синие, зеленые). Для выделения границ выполняется расслоение растров по цветовому диапазону. Диапазон задается интервалами цветовых составляющих R, G, B. Площадные объекты карты, попавшие в указанный диапазон, фильтруются по маске линейных и точечных элементов карты. Суммарная маска границ создается объединением результатов цветового расслоения всех линейных слоев карты. Корректировка маски границ позволяет удалить некоторые объекты, не имеющие отношения к границам (геологический крап, надписи), а также выделить пунктирные границы и провести их объединение. Обработка выполняется по маске границ, область принадлежит границе, если по разные стороны имеет разные цветовые и/или текстурные характеристики.

Растровая карта строится на основе маски границ. Объекты карты представляют связанные между собой области ячеек, не принадлежащие границе. Выделенные растровые объекты могут не совпадать с ГКО. При этом встречаются две ситуации: 1) ГКО разбит дополнительными границами на части и представлен несколькими растровыми объектами; 2) один растровый объект объединяет части разных ГКО, например, если граница между ГКО предполагаемая (пунктирная) и не выявлена в результате коррекции маски границ. Возникшие проблемы решаются на следующем этапе путем анализа характеристик, вычисляемых внутри растровых объектов для их классификации.

Классификация выделенных площадных объектов. Целью этапа является автоматическое присвоение семантических атрибутов объектам карты. Решение задач классификации выделенных растровых площадных объектов зависит от их размера и опирается на эвристическую классификацию по эталонам.

Для описания объектов применяются их цветовые характеристики и текстурные особенности фоновой полиграфической раскраски, рассчитанные по растровому изображению. Цветовая полиграфическая раскраска подразделений геологической карты редко бывает одноцветной. Ее формирование достигается путем смешивания разных цветов, наложенных друг на друга с помощью крапа или штриховки. Вследствие этого цветовая раскраска обладает текстурными признаками, описывающими пространственную упорядоченность ее цветовых элементов. Текстура цветовой раскраски подчеркивается фильтрацией по направлениям (вертикальная, горизонтальная, диагональная) и дифференцированием изображения (градиентные фильтры, фильтр Лапласа). Для некоторых заливок, сложных в текстовом плане, выполняется сравнение текстур карты и элемента легенды (путем расчета корреляционной зависимости в скользящем окне).

В качестве эталонов (обучающей выборки) для классификации используются элементы легенды карты, а в качестве объектов экзамена выступают растровые объекты, выделенные на предыдущем этапе.

Цветовые характеристики раstra внутри растровых объектов будут сильно зависеть от дополнительной нагрузки карты. Поэтому перед вычислением этих характеристик необходимо вычесть маску линейных и точечных элементов из изображения каждого цветового канала R, G, B.

Пространство характеристик растрового объекта, создаваемое для классификации, определяется его пространственными параметрами. Перед классификацией выполняется разделение объектов по площади на три класса: малые (площадь объекта за вычетом маски линейных элементов менее 5 кв. мм. карты), средние (менее 1 кв. см) и

крупные (более 1 кв. см). Пространство характеристик крупных объектов составляют статистические цветовые характеристики (средний цвет для каждого отдельного канала, его дисперсия, цветовые моды) и характеристики, описывающие текстуру фоновой заливки (тип и площадь преобладающей цветовой штриховки, корреляция с текстурой эталонного элемента легенды). Для средних объектов применяются только цветовые характеристики. Малые объекты в классификации не участвуют.

Задача эталонной классификации решается внутри каждого множества объектов по сформированному пространству характеристик. Правильность классификации множества средних объектов подтверждается анализом их пространственного окружения. Решение о принадлежности анализируемого объекта к эталонному классу принимается на основании соседства с ним крупного объекта такого же класса или хорошего совпадения с эталонным объектом.

На этапе построения векторной цифровой модели карты проводится постобработка растровой карты, перевод ее в векторное представление с отслеживанием топологической корректности модели и окончательное редактирование.

При постобработке растровой карты выполняется ряд операций: удаление малых объектов; удаление деталей объектов, не связанных с границами и полученных в результате неточности маски границ (элементы координатной сетки, гидросети, изолиний рельефа); полное удаление областей, принадлежащих границам; объединение смежных объектов, принадлежащих одному классу.

Растровая модель карты состоит из слоя площадных объектов и нескольких слоев линейных объектов. Перевод площадных объектов в векторное представление выполняется с помощью автоматической векторизации. Построению линейных объектов предшествует скелетизация объектов. Операции векторизации и rasterization являются стандартными для многих ГИС.

Построение векторной модели завершает редактирование геометрии объектов и их атрибутивных данных.

2.3. В третьем разделе рассматриваются методические и технологические аспекты проведения пространственной генерализации при автоматизированном построении геологической карты.

Согласно ГОСТ 21557-76-85 (картография, термины и определения, 1985), генерализация – это отбор и обобщение изображаемых на карте объектов соответственно масштабу, назначению карты и особенностям картографируемой территории.

В генерализации тематических карт выделяются две взаимосвязанные стороны: семантическая и пространственная (у Ю.В.Свентека – синтаксическая). Семантическая генерализация выполняется в пространстве семантических свойств объектов и заключается в построении новой классификации объектов на основе обобщения их качественных и количественных характеристик (генерализация легенды карты). Пространственная генерализация сводится к уменьшению детальности карты при переходе к более мелкому масштабу, выявлению и сохранению при этом характерных особенностей объектов и картографируемой территории в целом, получению качественно новой информации об этих объектах. Методической основой пространственной генерализации карты является последовательная дифференцированная генерализация картографических объектов с учетом их геологических свойств и пространственных взаимоотношений.

Основными факторами, определяющими процесс пространственной генерализации геологической карты, являются: масштаб, особенности геологического строения территории и рельеф целевого масштаба.

Масштаб карты определяет степень генерализации и задает пространственный ценз объектов: минимальные размеры (площадь, длина, ширина), степень изре-

занности границ объектов. Соответствие объектов карты или их частей пространственному цензу служит проверкой качества генерализации.

Особенности геологического строения территории определяют набор, последовательность и параметры процедур генерализации для объектов и локальных участков карты. Объекты геологической карты описываются тремя группами свойств: вещественными, пространственными и временными. Их сочетание создает большое разнообразие геологических обстановок с определенным типом и составом пород, возрастом, характером залегания, направлением и плотностью дизъюнктивной тектоники.

Взаимоотношения геологической границы и рельефа дают представление о характере поверхности и залегания геологических тел. Цифровая модель топоосновы целевого масштаба, предоставляемая специализированными организациями, имеет другое сечение и степень генерализации по сравнению с топоосновой крупномасштабных геологических источников. Поэтому при пространственной генерализации необходимо отслеживать сохранение общих взаимоотношений геологических границ и рельефа.

К основным группам операций пространственной генерализации относятся операции упрощения, утрирования, объединения и исключения. Упрощение (структурно-морфологическая схематизация) касается объектов и их границ. Упрощению подлежат: границы площадных объектов; линейные объекты, состоящие из нескольких частей; геометрический тип объекта (например, перевод площадного объекта или его части в соответствующий линейный объект); выделенные структуры (например, зоны разломов).

Операция утрирования позволяет привести в соответствие с масштабным цензом важные с геологической точки зрения объекты карты. При утрировании могут быть укрупнены: объекты, важные с точки зрения понимания геологической ситуации или прогнозно-поисковых исследований и не проходящие по пространственному цензу; узкие части структур; объекты, подчеркивающие важные свойства других объектов (например, возрастные взаимоотношения).

Объединение объектов карты включает в себя укрупнение геологических подразделений в результате генерализации легенды, обобщение контуров нескольких объектов, объединение линейных тектонических элементов по простиранию.

Исключение сводится к удалению площадных объектов, не соответствующих масштабному цензу (малые объекты, не подлежащие объединению, упрощению или утрированию) или их узких частей, не подлежащих переводу в другой геометрический тип; линейных объектов, не прошедших стадию отбора при генерализации.

Любая из операций при генерализации затрагивает топологическую структуру карты. В связи с этим поддержка корректности векторных моделей требует больших усилий и постоянного перестроения топологии. Изменения растровой (сеточной) модели не модифицируют топологическую структуру карты, так как она фиксирована на прямоугольной сетке растра. На основании этого для проведения генерализации была выбрана растровая модель. При таком подходе коррекция топологии производится лишь на заключительном этапе генерализации при переходе к векторной модели. Параметры модели (размер ячейки сети) определяются масштабом исходных данных и минимальными размерами площадных объектов.

При проведении пространственной генерализации можно выделить несколько этапов: 1) формализацию априорных представлений эксперта о территории карты; 2) генерализацию линейных объектов карты; 3) генерализацию площадных объектов карты; 4) оценку качества пространственной генерализации и экспертное редактирование (рис. 3).

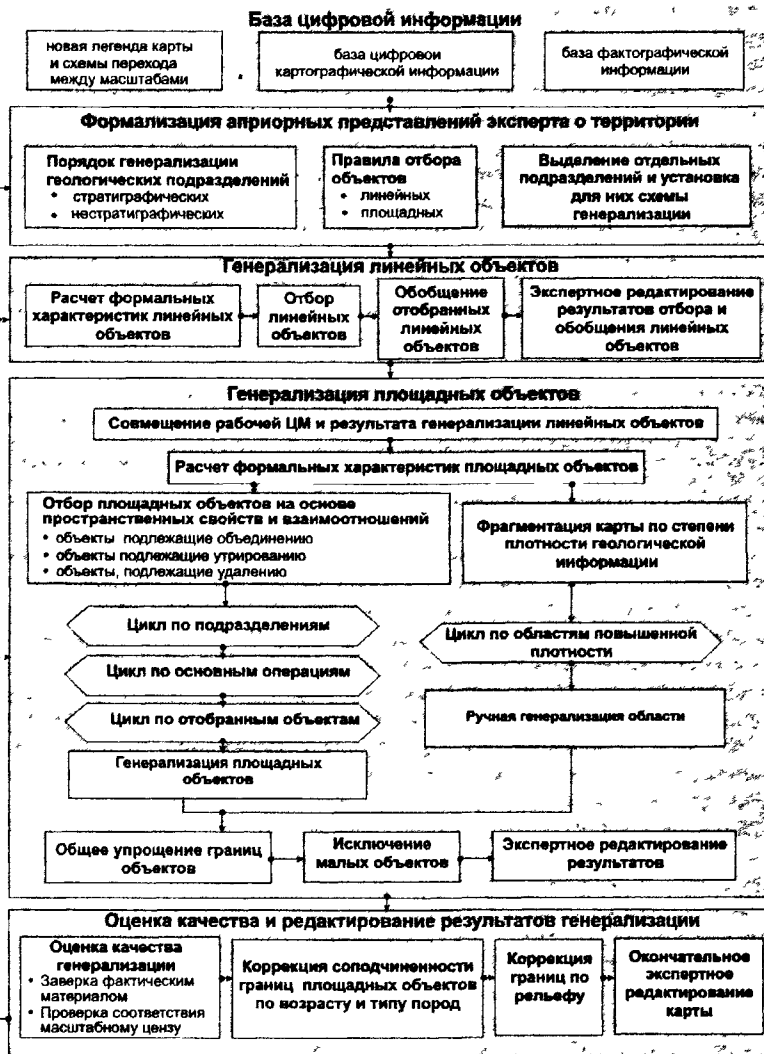


Рис. 3. Методико-технологическая схема пространственной генерализации геологической карты.

На этапе формализации априорных представлений эксперта о территории устанавливается порядок генерализации геологических подразделений и их группирования, определяются дополнительные правила отбора линейных и площадных объектов и схемы генерализации отдельных подразделений карты. Отбор объектов осуществляется на основе введения формальных правил, учитывающих геологические (вещественные, временные) и геометрические свойства объектов, пространственные взаимоотношения свойств разных объектов, распределение значений характеристик в пространстве карты.

Общая схема второго и третьего этапов включает: расчет характеристик объектов и карты, отбор объектов на основе рассчитанных характеристик и обобщение объектов. Перед этапом генерализации линейных объектов карты проводится объединение объектов по простиранию. Для отбора линейных объектов используются следующие характеристики: общая длина линейного объекта; генетический тип объекта; вертикальная и горизонтальная амплитуда; длина объекта, проходящая по границе геологических подразделений, и перепад возраста у этих подразделений; относительный возраст линейных объектов; зоны однонаправленных линейных объектов.

При обобщении отобранных линейных объектов выполняется упрощение многосвязных линейных объектов по простиранию и упрощение зон линейных объектов. Завершает этап генерализации линейных объектов экспертное редактирование.

Этап генерализации площадных объектов предваряет расчет характеристик площадных объектов и их распределения в пространстве карты. Для площадных объектов вычисляются: геометрические характеристики (площадь, изрезанность границ), тип и состав горных пород, амплитуда возраста по границе объекта, контроль границы линейным объектом, близость объектов в пределах подразделений и выделенных групп. Отбор площадных объектов проводится с применением основных операций генерализации. Генерализация площадных объектов выполняется по системе вложенных циклов для отобранных объектов в рамках групп подразделений и основных операций генерализации.

Места сгущения геологической информации, соответствующие зонам дробления, зонам региональных разломов, складок, разновозрастных интрузивных комплексов, требуют особого внимания при генерализации. Наиболее часто для этих областей применяются операции утрирования группы связанных объектов (расширение), перевод объектов в другой геометрический тип и др. В тех случаях, когда не удастся подобрать параметры процедур генерализации в автоматизированном режиме, выполняется ручное редактирование выделенной области. Для выделения областей сгущения в скользящем окне рассчитываются следующие характеристики: общее количество объектов в окне; количество объектов в окне, принадлежащих разным геологическим подразделениям; энтропия.

При оценке качества и редактировании результатов генерализации выполняется: заверка результата генерализации фактографическим материалом, проверка соответствия объектов масштабному цензу, реконструкция взаимоотношений границ объектов, реконструкция объектов после снятия разломов, увязка границ геологических подразделений с рельефом; проверка целостности структуры карты.

2.4. В четвертом разделе рассматриваются методические аспекты организации для эксперта-геолога привычной среды при проведении компьютерного редактирования.

Экспертное редактирование выполняется на всех этапах построения карты. Преобладающий в настоящее время подход к компьютерному редактированию цифровых моделей существенно отличается от традиционного ручного редактирования. Редактирование цифровой модели карты выполняется техником, эксперт осуществляет контроль (выполняя правки традиционным способом) или руководит процессом редактирования.

Активное вовлечение эксперта в процесс компьютерного редактирования, использование его потенциала возможно только при создании условий, близких к традиционному редактированию на бумаге.

Обязательным условием проведения компьютерного редактирования является сохранение топологии цифровой модели на различных топологических уровнях: внутриобъектном, межобъектном и межслойном.

Для реализации технологии экспертного редактирования выбирается многослойная объектная геореляционная модель. Каждый слой содержит объекты одного геометрического типа. Внутриобъектный уровень такой модели задается внутренними стандартами объектной ГИС, межобъектный и межслойный уровни – таблицами связей и правил, которые должны быть установлены перед началом редактирования. Поддержка топологии внутри объектной модели выполняется процедурно в пределах локальной области редактирования.

При компьютерном редактировании реализуется «ручная» стратегия: проведение новых границ объекта и стирание старой границы. Выделяются следующие основные операции над объектами: 1) разделение объектов, 2) объединение объектов, 3) перемещение объекта, 4) удаление объектов, 5) создание нового объекта врезанием в слой, 6) создание нового объекта добавлением на свободное пространство внутри слоя. Каждая из перечисленных операций проводится с учетом установленных топологических отношений на всех уровнях.

Обеспечение визуального восприятия объектов при редактировании достигается отображением карты в соответствии с ее легендой (цветовая раскраска, штриховка, крап). Задача сближения традиционного и компьютерного редактирования устанавливает определенные требования к интерфейсу редактора: многооконность, синхронизация курсоров и картографических проекций.

Глава 3. Алгоритмическое и программно-технологическое обеспечение автоматизированного построения полотна геологической карты по крупномасштабным источникам.

В третьей главе описывается разработанная компьютерная технология построения полотна геологической карты на основе разномасштабных геолого-картографических материалов. Основные функциональные блоки реализованы по модульному принципу и могут быть использованы как внешние расширения к ГИС. В качестве базовых геоинформационных систем выбраны ГИС ИНТЕГРО и ГИС ArcView. ГИС обеспечивает хранение, доступ, отображение пространственных данных, основные функции пространственного анализа и обмен данными между специализированными приложениями в рамках общей технологии создания и обновления геологических карт. Функциональные блоки реализуют основные этапы построения полотна карты: объектную векторизацию, пространственную генерализацию и экспертное редактирование. Пользовательский интерфейс разработанных модулей выполнен в виде поэтапного, немодального мастера операций, что обеспечивает доступ к изобразительным средствам ГИС на всех стадиях обработки.

Аналитическое обеспечение технологии построения полотна геологической карты опирается на средства пространственного анализа, существующие в большинстве инструментальных и специализированных ГИС. Для оптимизации вычислительных ресурсов при проведении пространственного анализа в качестве основного представления данных на этапах объектной векторизации и пространственной генерализации выбрана растровая (сеточная) модель. При создании технологии использовались следующие аналитические функции ГИС: фильтрация в скользящем и блоковом окне (сумма, количество уникальных значений, статистические характеристики), морфологическая фильтрация (расширение, сжатие), ранговая фильтрация (преобладающее, максимальное и минимальное значение в окне), построение буфера, построение зоны влияния объекта (диаграмма Воронова), преоб-

разования данных «растр – вектор» и «вектор – растр», операции переклассификации значений и другие операции. В дополнение к стандартному набору средств ГИС-анализа автором разработаны аналитические процедуры, обеспечивающие выполнение операций над векторными объектами, реализованы специализированные функции обработки изображений (фильтрация Лапласа, градиентная фильтрация, анизотропная фильтрация) и классификации (эталонная классификация).

Блок объектной векторизации.

Блок реализует последовательность автоматизированных операций, приведенную на рис. 2. Технология предполагает активное участие эксперта на всех этапах объектной векторизации. Эксперт определяет параметры отдельных операций (размеры и форма окон фильтрации, пороги выделения различных масок, цветовые диапазоны расслоения), оценивает качество результата и может выполнить его редактирование. В главе подробно описываются основные технологические этапы объектной векторизации.

Разработанное автором аналитическое обеспечение блока объектной векторизации включает процедуры для выделения маски линейных и точечных элементов изображения, расчета текстурных характеристик, корректировки маски границ, постобработки объектов растровой карты, построения векторной объектной модели по растровой карте.

Процедура выделения линейных и точечных объектов по растровому полутонному изображению карты предназначена для снятия с изображения лишней картографической нагрузки, мешающей расчету формальных классификационных характеристик. Процедура должна обеспечить полное выделение всей линейной и знаковой нагрузки карты (границы, надписи, топооснова, геологический крап и другие), кроме линий штриховки и крапа фоновой раскраски карты. Процедура основана на вычислении моды в скользящем окне при разных параметрах самого окна. Размер окна выбирается в зависимости от текстурных особенностей фоновой раскраски и от максимальной толщины линий на карте. Максимум отношения рассчитанных изображений приходится на линейные объекты карты. В результате отсечения по порогу и переклассификации изображения (выше порога – 1, ниже – 0) создается маска линейных и точечных элементов изображения.

Процедура выделения заданного направления фоновой штриховки по растровому изображению карты выполняется в рамках расчета формальных классификационных характеристик. Процедура применяется для построения маски штриховки фоновой раскраски по четырем направлениям (горизонтальному, вертикальному и двум диагональным) и базируется на применении фильтра определенного направления в скользящем окне. Предварительно из изображения карты вычитается маска линейных и точечных элементов, и выполняется осреднение изображения в окне с фильтром направления и без него. На следующем этапе берется абсолютная разность двух осредненных изображений. Результат дополнительно усредняется в скользящем окне большего размера. По заданному порогу в результате переклассификации (выше порога – 1, ниже – 0) создается маска штриховки заданного направления.

Процедура отбора растровых линейных объектов, принадлежащих маске границ, входит в группу процедур, осуществляющих корректировку маски границ. Ее целью является определение принадлежности растровых объектов маски, имеющих малый размер, к границам между геологическими подразделениями. Это касается частей предполагаемых границ (пунктирные линии), границ малых геологических объектов и частей линейных объектов карты (разломов, даек), проходящих по границам. Анализируемые объекты представляют собой растровый слой, полученный в

результате обработки маски границ и классифицированный по уникальному значению объектов. На первом этапе из множества отбираются спрямленные или замкнутые объекты. Спрямленные объекты определяются следующим образом: для каждого растрового объекта вычисляется линия регрессии. Прямым считается объект, для которого отклонение от линии регрессии лежит в пределах максимальной ширины линейного объекта, определяемой по легенде карты. Для вычисления линии регрессии каждый растровый объект представляется набором составляющих его точек (ячеек) с растровыми координатами (строка, столбец). На втором этапе отобранные растровые объекты анализируются на принадлежность к геологической границе. Отнесение к границе выполняется на основании разных цветовых и/или текстурных характеристик справа и слева от объекта. Цветовые характеристики (мода) определяются по цветовым составляющим изображения с исключенной маской линейных и точечных картографических элементов, текстурные (направления штриховки) – по маскам штриховок. Для спрямленных объектов характеристики вычисляются в окне, перпендикулярном линии регрессии, для замкнутых – внутри объекта и в пределах внешнего буфера. Объект считается принадлежащим границе, если интервал между модами больше установленного значения, или имеет справа и слева разное преобладающее направление фоновой штриховки.

Блок пространственной генерализации.

В разделе описываются основные технологические этапы пространственной генерализации геологической карты, представленные на рис. 3.

В рамках блока автором разработаны следующие группы процедур: процедуры подготовки векторных данных к генерализации; расчета свойств, характеризующих взаимоположение объектов на карте; процедуры основных операций генерализации для объектов и карты в целом.

Процедура разбиения объектов на дуги выполняется над одним или несколькими векторными слоями объектной модели и относится к группе служебных процедур. В ней могут принимать участие как полигональные, так и линейные слои. Каждый объект представляется набором отрезков, проведенных между двумя соседними вершинами. Из отрезков всех объектов формируется общий список записей с дополнительной информацией об объекте. Список упорядочивается по возрастанию относительно самой левой и нижней координаты отрезка таким образом, чтобы совпадающие отрезки разных объектов были рядом. Кратностью отрезка называется количество объектов, в которые он входит (количество вхождений отрезка в список). По списку находится первый отрезок кратности больше 1 и отстраивается дуга. В частном случае дуга может состоять из одного отрезка. Для каждой дуги определены полигональные объекты, в которые она входит, и направление. Операция выполняется до полного исчерпания списка.

Процедура объединения линейных элементов карты. Процедура объединяет линейные объекты с одинаковыми атрибутами (например, надвиги, разломы; для надвигов дополнительно может учитываться направление, а для разломов – достоверность выделения) в маршруты (многосвязные объекты) в зависимости от угла и расстояния между ними. Для этого по координатам упорядочиваются концевые точки линейных объектов, отбираются объекты, расстояние между концами которыми меньше некоторого предельного значения, и рассчитывается угол между ними. Угол между объектами определяется следующим образом: от концевых точек двух отобранных объектов или их частей (если объекты многосвязные) откладывается минимально установленная длина (задается пользователем) в направлении вторых концов этих объектов, и определяются дополнительные точки. Если длина объекта меньше минимально установленной, то в качестве дополнительной

точки выбирается его вторая концевая точка. Тогда угол между объектами будет считаться по углу между двумя векторами, задаваемыми концевой и дополнительной точками объектов. При наличии нескольких объектов, отвечающих требованиям объединения, приоритет отдается тому объекту, расстояние до которого минимально. При одинаковом расстоянии до нескольких объектов, критерием объединения служит минимальный угол. Если концевые точки объектов совпадают, то они объединяются в единый объект, если нет – результирующий объект становится многосвязным. Объединение выполняется до тех пор, пока не останется объектов, удовлетворяющих условию объединения.

Процедура выделения линейных объектов, проходящих по границе площадных объектов. Процедура выполняется в рамках расчета формальных характеристик объектов для их последующего отбора при генерализации. Растровая карта площадных объектов, классифицированная по подразделениям легенды, обрабатывается скользящим окном, в котором вычисляется число уникальных значений. Ячейка принадлежит границе между объектами, если число уникальных значений в ней больше 1. В полученной маске граничным точкам присваивается значение 1, а остальные ячейки заполняются пропусками (значение не определено). Результат пересечения маски границ и растрового слоя линейных объектов карты, построенного по полю уникального значения, позволяет выделить те линейные объекты карты, части которых принадлежат границам объектов, и определить длину этих частей. Изменяя размер скользящего окна, можно выделить линейные объекты, не проходящие по границам, а находящиеся в непосредственной близости от них (ошибки ввода, отсутствие межслойной топологии).

Процедура упрощения площадного объекта с переводом его внемасштабных частей в линейные объекты. Процедура применяется для объектов, внемасштабные части которых подчеркивают структурные особенности отдельных геологических тел и карты в целом. Процедура выполняется на растре. На первом этапе в результате определенной последовательности морфологических операций (расширение сжатие) объединяются близко расположенные внешние части объекта и поглощаются его внутренние части (дырки), ширина которых меньше удвоенного параметра расширения. Повторная морфологическая операция, но уже в обратной последовательности, удаляет части объекта, ширина которых не соответствует масштабному цензу. На втором этапе из исходного объекта исключается результат морфологических операций. По остатку делается выборка пространственно-связанных внемасштабных частей объекта, размер которых больше заданного порога. Отобранные области уменьшаются (скелетизируются) до 4-х связных линий и добавляются в линейный растровый слой.

Процедура построения 4-х связной растровой карты. Процедура выполняется для площадного слоя перед переходом из растровой в векторную модель карты. Это позволяет избежать получения в векторной модели малых объектов, размер которых будет соответствовать размеру ячейки. По растровой карте выполняется проход скользящим окном 3×3 . Для центральной ячейки в пределах 4-х связного объекта определяется наличие ячейки с таким же значением. Если такая ячейка есть – окно смещается, иначе ячейке присваивается значение большинства в 4-связной области, если нет, то большинство определяется по 8-ми связной области.

Процедура построения векторной цифровой модели. Процедура осуществляет переход от растровой к векторной объектной модели карты. Растровая модель карты (ее геометрическая составляющая) состоит из набора площадных и линейных растровых слоев (слой рамки карты, площадной слой основного разбиения, слой или слои

линейных объектов карты и другие). Линейные объекты представляются 4-х связными растровыми объектами. Так как эти объекты являются ограничивающим фактором для многих операций генерализации, то они отображаются как в линейном растровом слое, так и в виде пропусков в площадном. Процедура использует стандартные для большинства ГИС преобразования «растр – вектор» и «вектор – растр». Предварительно из растрового площадного слоя исключаются все пропуски с помощью морфологической операции сжатия. На следующем шаге применяется преобразование «растр – вектор», переводящее растровый площадной слой в объектный полигональный векторный слой. Алгоритм перевода обеспечивает топологичность полигонального слоя. Для создания полностью корректной векторной модели необходимо построить топологию между полигональным и линейным векторными слоями модели карты. Для увязки площадного и линейного слоев полигональный слой разбирается на дуги, которые затем переводятся обратно в растровый слой дуг (преобразование «вектор – растр»). Растровый слой линий с учетом слоя дуг делится на две части. В первую попадают части линейных объектов, находящиеся от дуг не далее, чем в одной ячейке, во вторую – все остальные части линейных объектов. По первому растру после отбраковки частей объектов, соответствующих простому пересечению с дугами (по площади частей), определяются дуги, одновременно принадлежащие двум слоям. Если дуга не полностью принадлежит части (или частям) линейного объекта, то на ней определяются координаты концевых точек. Номер дуги и координаты точки пересечения заносятся в специальный список, который потом используется при построении линейных объектов. По второму растру создается векторный линейный слой (преобразование «растр – вектор»), в который добавляются отображенные элементы дуг. Над объединенным векторным слоем линий проводится процедура объединения линейных элементов, только критерием совпадения концевых точек двух линий будет расстояние, меньше удвоенного размера ячейки.

Блок экспертного редактирования.

В разделе описывается программно-технологическая реализация блока. Редактирование проводится в пределах отдельной сцены (вида), содержащей все слои векторной цифровой модели карты. Уровень внутриобъектной топологии система поддерживает автоматически. Выделяются следующие базовые элементы цифровой модели: точка, линия, полигон, многосвязная линия, многосвязный полигон. Для каждого базового элемента устанавливается свой набор топологических отношений. Например, для полигонов такой набор будет включать следующие правила: 1) объект состоит из внешних и внутренних контуров; 2) контур всегда замкнут; 3) минимальное количество вершин в контуре – четыре; 4) контура ориентированы (внешний по часовой стрелке, внутренний – против); 5) отдельный контур не имеет самопересечений; 6) контуры, принадлежащие одному объекту, не пересекаются; 7) внешний и внутренний контур могут касаться в точке и не могут на отрезке.

Настройка межобъектных и межслойных пространственных связей выполняется на этапе формирования общей модели карты. Для объектов полигонального слоя определены топологические отношения соседства, для линейного – пересечения. Между векторными слоями карты, имеющими разный геометрический тип, определены отношения соседства и пересечения. Межобъектная топология устанавливается по атрибутивному запросу к таблице слоя. Межслойные топологические связи определяются как для целых слоев, так и для отдельных объектов разных слоев на основании атрибутивных запросов.

Редактирование объектов выполняется в соответствии с топологическими отношениями между ними. Связи между объектами не являются жесткими, что позволяет осуществлять такие операции, как перенос и удаление объектов. Отно-

шение соседства внутри и между слоями в соответствии с установленными топологическими связями обеспечиваются операцией примыкания.

В отличие от традиционного поточечного подхода к изменению и вводу границ объектов разработанная технология редактирования базируется на использовании операций картографического оверлея словес цифровой модели: пересечения множества объектов карты новым линейным или полигональным объектом, его дополнения и объединения полученных частей объектов в соответствии с установленными топологическими отношениями и унаследованными атрибутами.

Многооконность позволяет отображать редактируемую карту сразу в нескольких масштабах (обзорном и детальном), а также визуализировать слои дополнительной растровой или векторной информации. Во всех окнах синхронизируется положение курсора. Также выполняется позиционирование для данных, представленных в другой картографической проекции.

Глава 4. Апробация компьютерной технологии при создании геологических карт разных районов.

Разработанная технология апробирована в ходе создания геологических карт масштабов 1:200000, 1:1000000 для районов различного геологического строения, включая рифейско-юрский чехол Сибирской платформы, архейско-нижнепротерозойский кристаллический фундамент Анабарского щита и Оленекского поднятия, а также мезозойскую складчатую область Северного Верхоянья и герцинскую складчатую область Центрального Казахстана.

Создание макета ГГК масштаба 1:1000000 третьего поколения листов R-51, 52 (Тикси). Работа проводилась в рамках разработки технологии автоматизированного создания ГГК-1000/3 совместно с ФГУНПП «Аэрогеология». Территория листов относится к Якутской алмазонасной провинции и Западно-Верхоянской золотоносной металлогенической зоне и, в связи с этим, сравнительно хорошо изучена. Для построения карты было использовано 36 двоянных листов геологических карт (ГК) масштаба 1:200000 и 135 двоянных листов масштаба 1:50000, выполненных в разные годы ФГУНПП «Аэрогеология» и ПГО «Якутскгеология». Карты были переведены в новую легенду Нижнеленской серии.

Для построения результирующей карты были векторизованы исходные материалы масштабов 1:50000 и 1:200000. Применение блока объектной векторизации позволило значительно сократить время, затраченное на создание векторных цифровых моделей карт. Для построения полотно карты целевого масштаба (1:1000000) была проведена последовательная генерализация от 1:50000 к 1:200000 и от 1:200000 к 1:1000000. Территория листов расположена на стыке Сибирской платформы и Верхоянской складчатой области. Особый подход при генерализации этих листов применялся для: зоны интенсивной блоковой тектоники в пределах Оленекского поднятия; напряженной складчатости фронтальной зоны складчатой области, надвинутой на платформу; сложных разновозрастных комплексов габбро-долеритов Хараулакского выступа платформенного основания

Актуализация геологической основы территории листов R-48-XI, XII, XV, XVI, XVII, XVIII, XXI, XXII. Создание обновленной геологической основы западной части Анабарского щита связано с проведением геолого-минералогического картирования масштаба 1:200000 на уран и золото и поисковых работ на платину. Работы проводятся совместно с ФГУНПП «Аэрогеология». Применение разработанной компьютерной технологии позволило оперативно построить векторные цифровые модели и актуализировать 6 листов масштаба 1:200000. Лист карты R-48-XVII обновлен с использованием 8 двоянных листов ГК 1:50000 (рис. 4).

Анализ и обобщение минерагенической информации на базе актуализированных карт позволил выделить Западно-Анабарскую золото-ураноносную минерагеническую зону и наметить перспективные участки для прогнозирования и поисков месторождений золота и урана.

Обновление геологической карты масштаба 1:200000 листа L-42-II (центральный Казахстан) выполнялось по материалам Комитета геологии и недропользования Республики Казахстан. Работа проводилась в рамках доизучения территории Джезказганского района, перспективного на поиски месторождений меди. Выполнен ввод 6 листов карт масштаба 1:50000 и 1 листа масштаба 1:200000. По полученным цифровым моделям проведено обновление карты дочетвертичных отложений масштаба 1:200000. Анализ и картографирование минерагенических факторов и поисковых признаков, нашедших отражение на обновленной карте, позволил дополнительно к существующим спрогнозировать потенциальные рудные узлы медистых песчаников.

Результаты апробации компьютерной технологии показали, что выполненные исследования являются эффективным средством картографического обобщения, позволяют снизить трудозатраты, повысить объективность, качество и достоверность полученной геологической карты, полностью задействовать информационный потенциал для обеспечения обоснованности и эффективности прогнозно-поисковых исследований в районах различного геологического строения.

Заключение.

В результате исследований разработана компьютерная технология создания полотна геологической карты на основе ретроспективных разномасштабных геолого-картографических материалов, при этом получены следующие основные результаты:

1. Проанализировано современное состояние компьютерных технологий картопостроения и отмечены актуальные направления их совершенствования.
2. Разработана методико-технологическая схема создания полотна мелко- и среднемасштабных геологических карт на основе разномасштабной геолого-картографической информации.
3. Создана геоинформационная технология построения полотна цифровой геологической карты по материалам предшествующих разномасштабных работ и результатам интерпретации специализированных основ.
4. Разработано функциональное и алгоритмическое обеспечение основных этапов технологии создания полотна геологической карты:
 - построения цифровых векторных моделей,
 - пространственной генерализации геолого-картографической информации,
 - экспертного редактирования результирующих векторных карт.
5. Выполнена программная реализация основных блоков геоинформационной технологии построения полотна цифровой геологической карты, в том числе: объектной векторизации, пространственной генерализации и экспертного редактирования карт.
6. Разработанная геоинформационная технология апробирована в ходе создания и актуализации геологических карт в различных регионах и геологических обстановках: Сибирской платформе и Верхоянской складчатой области (Макет Государственной геологической карты масштаба 1:1000000 третьего поколения, листы R-51,52 – Тикси); Центрального Казахстана (обновленная геологическая карта Джезказганского рудного района масштаба 1:200000, лист L-42-II); Анабарского щита и рифейского платформенного чехла (актуализированная геологическая карта масштаба 1:200000, листы R-48-XI, XII, XVI, XVII, XXII).

Основные положения диссертационной работы изложены в опубликованных работах:

1. Электронная картография и геоэкологические исследования. – Труды Международной научной конференции «Геофизика и современный мир», М., 1993 г. (Соавторы: Л.Е.Чесалов, М.Г.Суханов).
2. Технологический подход к созданию нового поколения геологических карт на основе генерализации. – Сб. докладов «The Mining Pribram Symposium. International Section Mathematical Methods in Geology», vol. MC: Other Problems, Prague, 1999. (Соавтор К.В.Деев).
3. Инструкция по представлению, вводу и преобразованию цифровых моделей карт в среде ГИС INTEGRО. М.: ВНИИГеосистем, 1999 г. (Соавторы: К.В.Деев, Л.Д.Эпштейн, М.Я.Финкельштейн, А.А.Блискивицкий).
4. Решение задачи комплексного прогноза золоторудных узлов по территории Восточного Верхоянья. – «Геоинформатика», № 3, М., 1999 г. (Соавторы: В.С.Андреев, М.Я.Финкельштейн).
5. Создание Государственных геологических карт на базе ГИС INTEGRО. Методические рекомендации. – М.: МПР, ГНЦ ВНИИГеосистем, 2001 г. (Соавторы: Е.Н.Черемисина, В.С.Андреев, А.А.Блискивицкий, К.В.Деев, В.И.Галуев, А.С.Киреев, А.В.Любимова, О.В.Митракова, Н.Н.Пиманова, М.Я.Финкельштейн, Л.Е.Чесалов, С.П.Шокальский).
6. Компьютерное обеспечение для создания и редактирования тематических карт в задачах природопользования. – Тезисы докладов XXX Международной конференции «Информационные технологии в науке, образовании и бизнесе», весенняя сессия, Украина, Крым, Ялта-Гурзуф, 2001 г.
7. Совершенствование технологии создания геологических карт на основе ГИС INTEGRО. – «Геоинформатика», № 2, М., 2003 г. (Соавтор В.С.Андреев).
8. Методы и аналитические средства построения векторных моделей карт в среде ГИС. – «Геоинформатика», № 3, М., 2004 г.
9. Экспертное редактирование при автоматизированном создании геологических карт. – «Геоинформатика», № 1, М., 2005 г.

№ 15242

РНБ Русский фонд

2006-4

10004