

## **ЭКСПЕРТНОЕ РЕДАКТИРОВАНИЕ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ СОЗДАНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ**

Создание и обновление карт геологического содержания – одна из актуальнейших задач в области природопользования и охраны окружающей среды, от своевременного решения которой во многом зависит успешное развитие экономики и производства страны в целом.

«Старение» геологических карт – объективный процесс, связанный с появлением новых геологических идей и взглядов, развитием технической базы, технологических и программных средств, доступностью новых высококачественных пространственных (дистанционных) данных и совершенствованием методик их обработки. Это определяет актуальность целенаправленного обновления геологических карт, в первую очередь для обеспечения разномасштабных прогнозно-поисковых исследований.

При создании или обновлении геологической карты необходимо проанализировать и обработать большое количество ретроспективной геоинформации. Эта информация очень разнородна: геологические карты разных масштабов, геофизические и геохимические поля, данные измерений по скважинам, МАКС, топооснова и другие данные. Подробный анализ всей информации невозможен без активного применения геоинформационных систем (ГИС), обеспечивающих сбор, хранение, доступ, обработку и отображение пространственных данных, и создаваемых на их основе технологий.

Обновление геологической карты – трудоемкий и многоэтапный процесс, технологическая схема которого зависит от масштаба карты и степени изученности территории. Варианты могут быть самыми разными. Так, для хорошо изученных территорий, покрытых крупномасштабными геологическими съемками, один из основных акцентов при картосоставлении делается на анализ этих крупномасштабных материалов и их дальнейшую генерализацию. Другим вариантом является построение геологической карты по первичным данным в рамках проведения новых геологических исследований, геологического доизучения площадей, или при наличии ретроспективной первичной геологической информации. В процессе картосоставления эксперт-геолог опирается на новые технологические возможности, представляемые ГИС и специальными пакетами обработки геологических данных. В любом случае технологией создания и обновления геологической карты предусматривается перевод ретроспективной разномасштабной

картографической информации в цифровую форму, ее анализ и картографическое обобщение.

Лаборатория Геоинформатики ВНИИГеосистем в течение ряда лет ведет создание компьютерной технологии создания и обновления карт геологического содержания, в основу которой положена схема обновления карт с учетом ретроспективных разномасштабных материалов. Фрагмент этой схемы, для территорий, частично покрытых крупномасштабными ретроспективными съемками приводится ниже:

- создание цифрового банка ретроспективных геологических карт, легенд и фактографического материала;
- пространственный анализ качества и кондиционности ретроспективных геологических карт с учетом соответствия фактическому материалу, топографической и дистанционной основам;
- создание единого массива крупномасштабных геологических материалов;
- генерализация массива крупномасштабных карт при переходе к целевому масштабу;
- создание единого картографического массива целевого масштаба;
- экспертное редактирование массива карт с учетом материалов специализированных съемок и результатов их интерпретации.

В настоящее время разработаны основные технологические блоки, реализующие эту схему и позволяющие выполнять большинство операций в единой технологической среде. В данной статье затронуты вопросы экспертного редактирования при обновлении и создании геологических карт и их реализация на базе объектного редактора ГИС INTEGR0.

Несмотря на автоматизацию некоторых технологических этапов, роль эксперта-геолога в процессе картосоставления остается очень большой. Это в первую очередь относится к таким этапам, как отбор, анализ, увязка исходной информации и экспертное редактирование. Экспертная оценка и редактирование сопровождает все этапы автоматизированного создания геологической карты.

На этапе создания цифровых моделей по ретроспективным материалам в задачу экспертного редактирования входит:

- преодоление внутренней концептуальной противоречивости и ошибок крупномасштабных картографических источников;
- устранение противоречий сознательно или неосознанно спрятанных под чехлом четвертичных отложений;

- анализ подробности и достоверности ретроспективных материалов. Учет и корректировка разной степени загруженности карт одного масштаба.

Экспертное редактирование объединенного макета проводится с целью сбивки геологических объектов по границе объединения разных картографических листов. При редактировании устраняются неточности геологического картирования на основе:

- стыковки объектов, имеющих различные атрибутивные характеристики (состав, возраст, наличие вторичных изменений и другие);
- объединения линейных элементов, имеющих смещение по границе листов больше допустимого;
- удаления «паразитных» внутренних областей для объединенных объектов, связанных с недостаточным допуском объединения.

Пространственная генерализация цифровой картографической информации может проводиться: полностью экспертным путем; экспертно, с привлечением процедур, предоставляемых редакторами векторной информации ГИС; или с помощью разработанной во ВНИИГеосистем технологии автоматизированной генерализации. Экспертная генерализация или редактирование результатов автоматизированной генерализации ставит своей целью:

- выявление и устранение противоречий: легенды карты и схем районирования; легенды и самой карты; карты и фактического материала. Обеспечение концептуальной определенности и внутренней непротиворечивости геологической основы. Отказ от второстепенного и случайного для передачи главного в соответствии с авторским пониманием "геологической сущности" объектов картографирования;
- оценку достаточности генерализации геологической основы и обеспечение соответствия генерализации заданному масштабному уровню;
- проверку достоверности генерализованной основы – фактического соответствия ее по форме и содержанию источникам, а через них естественным геологическим объектам;
- соблюдение сохранности структурного каркаса – общих черт структуры каждой части картографируемого района – в процессе генерализации информации источников;
- оценку проработки контуров, сохранение основных особенностей геологических объектов, их генетической узнаваемости;
- соответствие генерализованных геологических контуров и рельефа (в целевом масштабе карты).

Отдельно перед экспертом стоит большая задача согласования предварительного макета геологической карты со схемами автоматизированного и ручного дешифрирования, результатами интерпретации геофизической и геохимической основ.

Даже неполный список задач, выполняемых при экспертном редактировании, убедительно показывает, насколько важно активное участие эксперта-геолога на всех этапах картосоставления, и какой сложный аппарат редактирования ему для этого необходим. При редактировании важно создать эксперту-геологу привычную визуальную среду.

Специфика редактирования цифровой карты до настоящего времени во многом отличается от традиционной. Это связано в первую очередь с формой цифрового представления и моделями данных, их организацией, возможностями ГИС или специального программного обеспечения.

Наибольшее распространение для карт получили векторные модели данных: топологическая и объектная. Векторный объект описывается векторной структурой и массивом атрибутивных данных. Отдельные объекты на основе семантических связей объединяются в слои. Как правило, слой представлен однородным типом пространственных объектов: точек, линий, полигонов. Векторные модели, в отличие от растровых, описывают не все пространство, а только ту его часть, которую занимают сами картографические объекты.

Корректность цифровой векторной модели (отсутствие наложения объектов, принадлежащих одному слою, заполнение полотна карты без пропусков, отсутствие в объектах самопересечений и др.) возможно обеспечить только в моделях, в явном или неявном виде поддерживающих топологию (т.е. описывающих взаимное положение объектов и их частей).

В геологическом картопостроении широко применяются ГИС, поддерживающие топологические модели векторных данных. Наиболее явный представитель этого семейства – ArcInfo (до восьмой версии). Базовыми элементами топологических моделей являются дуга и узел, поэтому топологические модели часто называют узло-дуговыми. Слой данных в узло-дуговом представлении называется покрытием. На основе узло-дугового покрытия строятся линейные, полигональные и более сложные покрытия (региональные, маршрутные и др.). Редактирование любого покрытия выполняется в базовом узло-дуговом покрытии. Это обеспечивает одновременные изменения во всех надстроенных покрытиях (линейном, полигональном и др.), но приводит к обязательному перестроению топологии. Для редактирования в узло-дуговом представлении характерно

постоянное перестроение топологии, даже при минимальных изменениях в одной из дуг. Кроме того, к непривычным для геолога особенностям такого редактирования можно отнести использование в редакторе минимальных средств визуализации и невозможность одновременного редактирования нескольких слоев. Как правило, непосредственно редактирование с использованием узло-дугового представления проводит специалист-техник, хорошо владеющий этими средствами, а эксперт-геолог выполняет правки либо на твердых копиях, либо непосредственно руководит процессом редактирования. Такой подход не всегда эффективен.

При редактировании данных, представленных в объектной модели, не поддерживающих топологические отношения между объектами (типичный представитель ГИС – MapInfo), существует большая вероятность нарушения целостности данных. Для проверки данных после редактирования в этом случае надо запускать специальные приложения, восстанавливающие топологическую корректность модели. К положительным моментам объектного подхода можно отнести то, что объекты представлены в привычной для эксперта-геолога раскраске.

Чтобы в полной мере задействовать потенциал эксперта в процессе картосоставления, необходимо создать ему условия, сходные с традиционным редактированием на аналоговой карте:

- объект на карте и при редактировании воспринимается как единое целое, а не как набор элементов (дуг);
- объекты на карте неразрывно связаны друг с другом в топологическом, семантическом и других аспектах;
- при работе над картой эксперт имеет возможность анализировать одновременно не только тот фрагмент или объект, над которым он работает, но и всю карту целиком, чем достигается одновременная детальность и обзорность редактирования;
- при редактировании используется дополнительная информация (космоснимки, топооснова, различные схемы, и т.д.);
- при изменении границы объекта рисуется новая линия, а старая стирается;
- карта редактируется в соответствующей легенде (цветовая шкала, штриховка, крап, геологические индексы).

Такой постановке экспертного редактирования наилучшим образом отвечает развиваемая в последнее время объектно-ориентированная модель геоданных.

В объектно-ориентированной модели организации данных делается акцент не столько на общие свойства объектов (моделируемые через деление на геометрические

слои), сколько на их положение в какой-либо сложной иерархической схеме классификации, на взаимоотношения между объектами. В основе объектно-ориентированной модели лежит понятие тематического класса – самодостаточного логического набора данных, определенных пользователем. Объектно-ориентированная модель позволяет моделировать одновременно состояние и поведение объектов. Состояние объекта можно характеризовать свойствами или атрибутивными данными объекта, «Поведение» определяется методами или операциями, которые над этим объектом могут быть выполнены. Объект, принадлежащий какому-либо классу, наследует все свойства «родительских» классов, от которых тот был произведен.

Объектно-ориентированная модель позволяет определять любые отношения между пространственными объектами, что дает возможность строить объектные сети любой сложности, определять топологические отношения для разных геометрических типов объектов. Сети в объектно-ориентированной модели состоят из двух частей: геометрической и логической. Геометрическая сеть определяет набор объектов и классов объектов, участвующих в сетевой структуре. Логическая сеть является графом и хранит информацию о связности сети и некоторых ее атрибутах. Для задания связей между объектами реализован гибкий механизм задания правил поведения. Данные об объектах и отношениях между ними хранятся в табличной форме в единой базе геоданных. Топологические операции выводятся на более низкий уровень и определяются заданными отношениями. Поэтому в процессе редактирования не требуется явного перестроения топологии.

Объектно-ориентированная модель данных реализована в продуктах компании ESRI нового поколения. Это в первую очередь продукт ArcGis, базовая цена которого без дополнительных модулей составляет более 20 тыс. \$.

В качестве альтернативы этим программным средствам редактирования в рамках объектно-ориентированной модели можно рассматривать подход, реализованный в редакторе векторной информации ГИС INTEGRO (ВНИИГеосистем). Редактор реализован в рамках векторной объектной модели с неявной топологией. Как и в объектно-ориентированном подходе, топологические отношения выведены на нижний уровень, скрыты от пользователя и определяются системой правил редактирования. При экспертном редактировании наиболее часто устанавливаются следующие правила: «слои редактируются совместно» или «объект ограничивает площадь ввода». Набор устанавливаемых отношений и правил при редактировании может быть легко расширен.

Для правила «слои редактируются совместно», (рис.1) не важен геометрический тип слоя (полигон, линия). При выполнении любого действия и любом изменении объектов, принадлежащих этим слоям, между ними всегда будет поддерживаться топология. Слои карты, не отмеченные для совместного редактирования, в редактировании участвуют пассивно, т.е. объекты этих слоев можно вводить (нетопологичный ввод), использовать в качестве линий примыкания и т.д. Для слоев, редактируемых совместно, осуществляются топологические операции пересечения, объединения, корректировки общей границы.

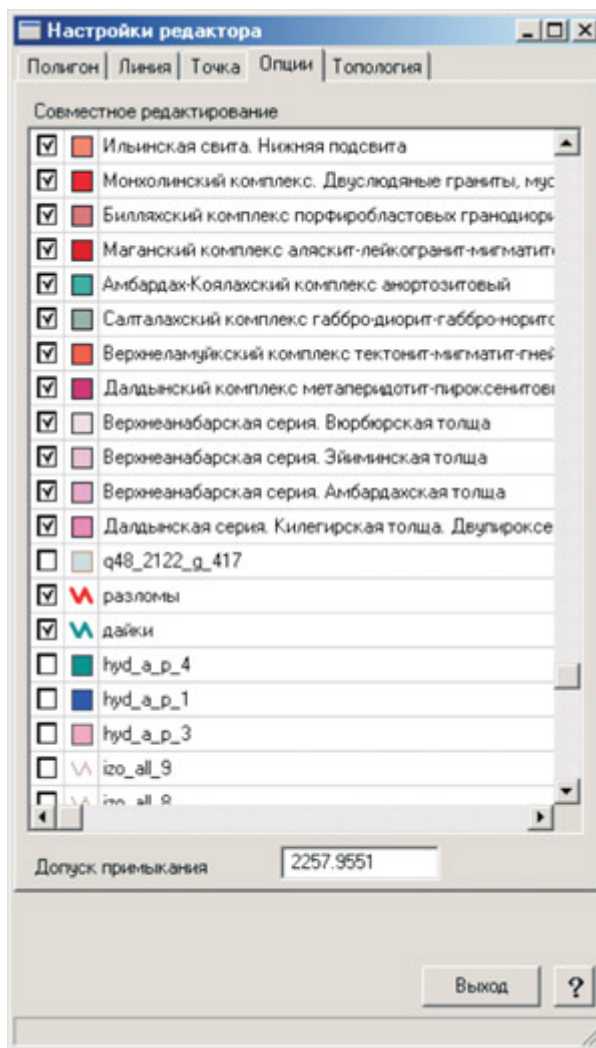


Рис. 1. Определение совместно редактируемых слоев геологической карты

Правило – «объект ограничивает площадь ввода» устанавливает объект, за пределы которого при редактировании или вводе не могут выходить другие объекты карты. Для карты таким объектом, как правило, является рамка. Все объекты или их части, выходящие за границы ограничивающей области, удаляются автоматически.

Основной упор при редактировании границ объекта делается на проведение новой линии (этой линией может быть любой линейный или полигональный объект цифровой

модели, вне зависимости от того, включен он в совместное редактирование, или нет), а не на редактировании точек границы. Операция изменения границы объекта (рис. 2) складывается из следующих этапов:

- ввод новой границы объекта (новая граница должна пересекать объект как минимум в двух местах);
- пересечение слоев объектов заданного геометрического типа и отмеченных для совместного редактирования;
- объединение редактируемого объекта и объекта (или объектов), отсеченного проведенной линией.

Ввод нового полигонального объекта выполняется двумя способами. Первый – это «врезание» объекта поверх всех объектов заданной геометрической локализации и отмеченных для совместного редактирования. Второй – «врезание» объекта на свободное место в пределах рамки карты. Объект, не участвующий ни в каких отношениях с другими объектами или слоями, вводится без «врезания» и перестроения общей топологии.

Создание новых цифровых моделей (ввод карты) по растровой подложке реализовано в объектной идеологии, более близкой геологу-эксперту (рис. 3) и состоит из ряда последовательных действий:

- ввод ограничивающего объекта (рамка карты);
- последовательное «отсечение» («врезание») от рамки объектов карты;
- присвоение атрибутов «отсеченному» объекту.

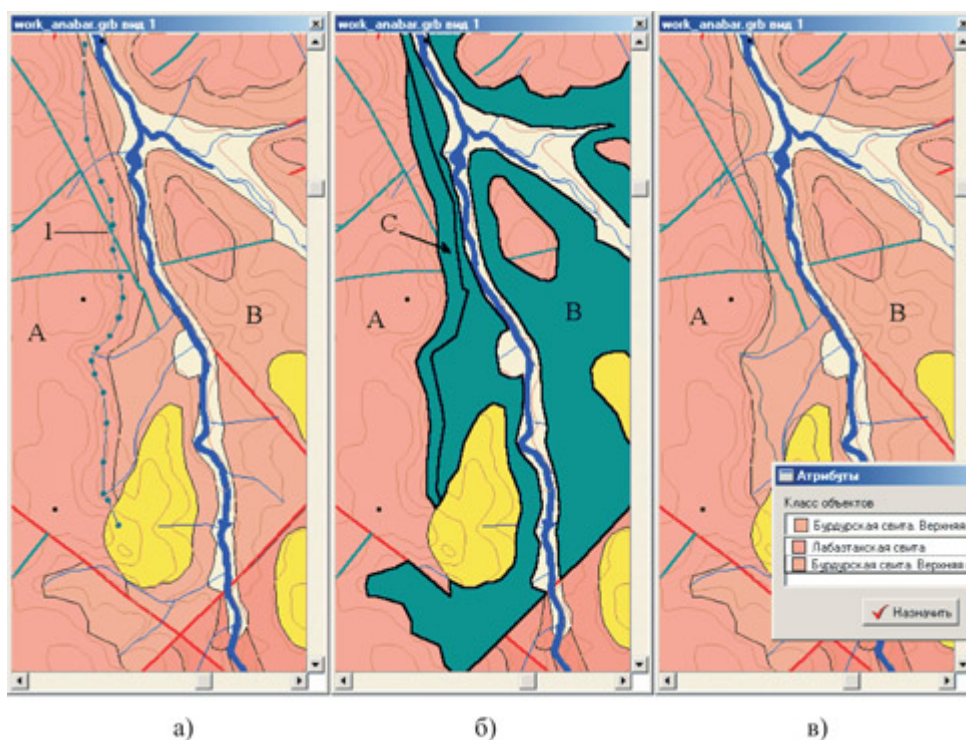
Важным представляется обеспечить эксперта при редактировании удобной визуализацией стиля отрисовки объектов в соответствии с легендой карты. Поэтому цифровая модель редактируется в привычной геологу цветовой и стилевой шкале. Проблема обзорности и детальности карты при редактировании решена за счет многооконности редактора (рис. 4): в одном окне выводится вся карта целиком, в другом – редактируемый фрагмент (или объект). Окна визуализации связаны между собой, положение курсора отслеживается одновременно во всех окнах.

Для более детального редактирования, улучшения восприятия картографической информации, экспертом может активно применяться режим условной визуализации. В этом режиме видимость картографических слоев настраивается в зависимости от масштаба изображения в окне. Например, при редактировании геологической карты (рис. 4), слои топоосновы (рельеф, гидросеть) могут выводиться только в крупном масштабе.



Редактор реализован в качестве отдельного приложения к ГИС INTEGRО и использует все возможности данной системы по работе с электронными картами (трансформации, проекционные преобразования, работу с растровыми, сеточными слоями, возможность включения и выключения слоев в процессе редактирования).

Редактор успешно опробован при создании геологических карт дочетвертичных и четвертичных образований на листы R-51, 52, а также при подготовке геолого-картографической основы прогнозно-поисковых исследований по листу R-48. Апробация на достаточно сложных материалах показала высокую эффективность разработанного программного обеспечения, возможность осуществления экспертом-геологом самостоятельно всего спектра функций редактирования картографических материалов в процессе создания и обновления геологических карт. Следует отметить быстрое обучение экспертов-геологов работе с редактором за счет его приближения к традиционным способам редактирования карт.



**Рис. 2. Редактирование границы между объектами А и В: а) проведение новой границы между объектами А и В; 1 – новая граница б) отсечение части объекта А в объект С; в) объединенный объект С и В**



**Рис. 3. Создание цифровой векторной модели карты по растровой подложке: а) растровая подложка; б) ввод начального объекта, соответствующего рамке карты; в) «разрезание» начального объекта, присвоение атрибутивной информации; г) построенная цифровая модель карты**

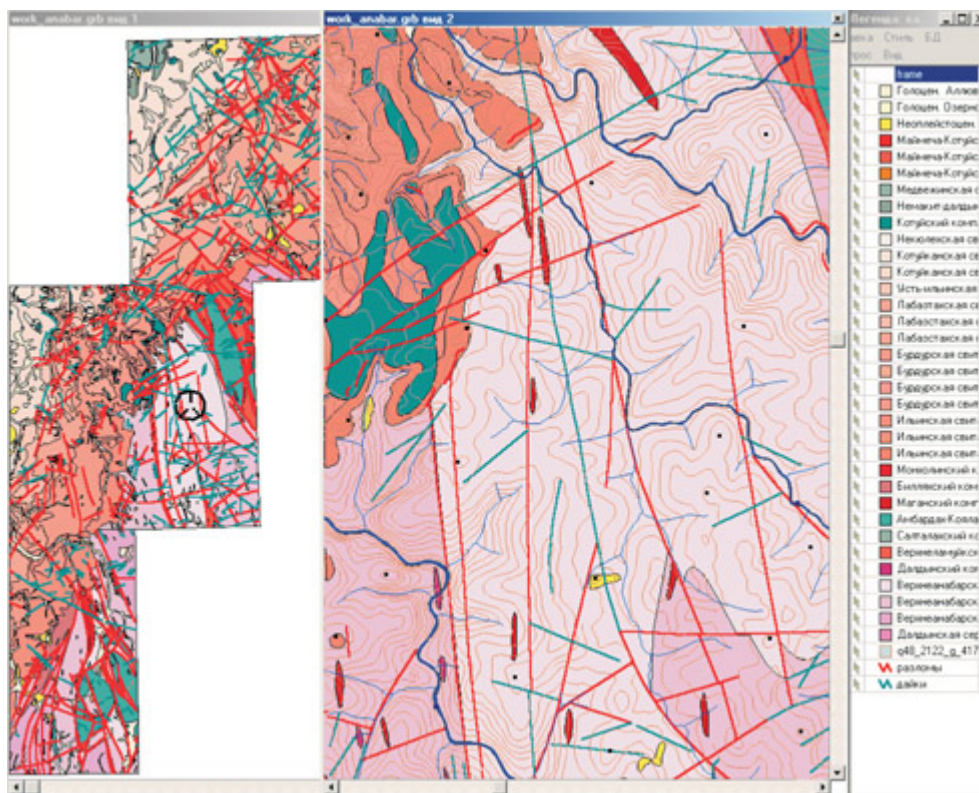


Рис. 4. Одновременная обзорная и детальная визуализация карты в ГИС INTEGRO

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Геоинформатика*. Толковый словарь основных терминов. Баранов Ю.Б., Берлянт А.М. и др. М. ГИС-Ассоциация, 1999.
2. *Создание Госгеолкарты-200 с применением компьютерных технологий*. Методическое руководство (отв. исполнитель Москаленко З.Д. – М., МПР РФ, 1999.
3. *Создание государственных геологических карт на базе ГИС ИНТЕГРО*. Методические рекомендации. Отв. исполнитель Черемисина Е.Н. – М., МПР, 2001.
4. *Бурдэ А.И., Гусев Н.А. и др.* Основы мелкомасштабного картирования: Методические рекомендации. СПб. 1995.
5. *Дэвид М. Теобалда*. Топология и шейп-файлы «ArcReview», № 4, 2001.
6. *Спиридонов В.А., Андреев В.С.* Совершенствование технологии создания геологических карт на основе ГИС INTEGRO. «Геоинформатика», № 2, 2003.