

УДК 528.92

DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-2-134-148

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ПРОГНОЗНО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ КАРТ ПО ОТКРЫТЫМ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ В ГИС-СРЕДЕ

Дмитрий Сергеевич Логинов

ООО «Целевой Горизонт», 123298, Россия, г. Москва, ул. Народного Ополчения, 54, кандидат технических наук, начальник отдела цифровой картографии и геоинформационных систем, тел. (906)755-04-99, e-mail: loginov@cartlab.ru

Рассмотрены вопросы использования геоинформационных средств для составления и оформления прогнозно-минерагенических карт в соответствии с действующими нормативными документами и опытом отечественной геологической картографии. В среде ArcGIS составлены прогнозно-минерагенические карты масштаба 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000 для Байкало-Амурской группы металлогенических провинций. В качестве основных источников информации использовались открытые и фондовые геолого-геофизические данные – единые цифровые модели комплектов Государственных геологических карт масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение) и 1 : 200 000 (второе поколение), цифровые карты аномального магнитного поля и поля силы тяжести в редукции Буге масштаба 1 : 2 500 000, объекты геолого-геофизической изученности и др. Отмечены особенности использования указанных данных при формировании математической, общегеографической и тематической основ карт. Приведены рекомендации по применению средств ГИС ArcGIS для выполнения картографических работ, представлены примеры подготовленных листов прогнозно-минерагенических карт.

Ключевые слова: Байкало-Амурская группа металлогенических провинций, геоданные, ГИС-проект, Государственные геологические карты, минерагеническое картографирование

Введение

Региональное изучение недр является основополагающей стадией проведения геологоразведочных работ (далее – ГРР). В качестве объекта исследования могут выступать как углеводородные, так и твердые полезные ископаемые. В случае поиска рудных полезных ископаемых на этапе регионального изучения недр важная роль отводится прогнозно-минерагеническим работам. Они направлены на выявление закономерностей возникновения и размещения полезных ископаемых и определение перспективных площадей для проведения дальнейших поисковых работ.

В процессе прогнозно-минерагенических работ осуществляется сбор и анализ различных видов информации, включая геологические, геофизические, дистанционные и другие геоданные. В этой связи качество итогового результата непосредственно зависит от систематизации и обработки информации. Отмеченные действия успешно выполняются в ГИС-среде.

Действующие методики составления Государственных геологических карт масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение) и 1 : 200 000 (второе поколение) [1–4], в комплект которых

входят карты закономерности размещения полезных ископаемых, предусматривают активное использование ГИС в качестве основного средства для составления и публикации карт. В результате для открытого пользования доступны цифровые модели Государственных геологических карт (далее – ЦМ ГГК), что позволяет решать различные задачи, в том числе картографическое обеспечение этапов ГРР [5], выбор наиболее перспективных участков для поиска месторождений [6] и др.

В научно-технической литературе редко освещаются практические вопросы использования ЦМ ГГК, поскольку больший интерес у специалистов-геологов вызывают результаты исследований, полученные на основе этих данных. Тем не менее для картографов и ГИС-специалистов представляется весьма необходимым учитывать в своей работе особенности рассматриваемых открытых геолого-геофизических данных.

Таким образом, целью настоящей статьи является обобщение опыта использования ЦМ ГГК в среде ГИС на примере подготовки комплекта средне-мелкомасштабных прогнозно-минерагенических карт масштабов 1 : 1 000 000, 1 : 200 000.

О прогнозно-минерагеническом картографировании в Российской Федерации

Прогнозно-минерагеническое (или металлогеническое) картографирование как особое направление геологической картографии начало свое развитие с середины XX в., когда геологами Ю. А. Билибиным, К. И. Сат-

паевым, А. И. Семеновым, С. С. Смирновым и др. были заложены первые принципы и подходы к выявлению закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых и их связи с геологическим строением.

Эволюция методов составления и оформления прогнозно-минерагенических карт (далее – ПМК) представлена в таблице.

Эволюция составления и оформления прогнозно-минерагенических карт (по материалам [1, 7])

Годы	Особенности содержания карт (инструкции, карты)
1946–1957	Начало разработки принципов металлогенического районирования и создание первых образцов и макетов карт различных масштабов крупных регионов [8–10]
	<p>Основа карт – геологические образования, разделенные по этапам тектоно-магматического цикла (А. И. Семенов). Осадочные и вулканогенные формации – бледные тона и оттенки. Интрузивные комплексы – темные тона. Используются дополнительные штриховки, крапы, буквенно-цифровые индексы.</p> <p>Месторождения – геометрические знаки различной формы в соответствии с рудной формацией.</p> <p>Структурно-металлогенические зоны разных этапов: начальные и ранние – синий цвет, средние – красный цвет, поздние и конечные – оранжевый цвет</p>
1958–1974	Совершенствование методов районирования. Начало среднемасштабного и крупномасштабного минерагенического картографирования [10–13]
	<p>Тектоно-магматические циклы – основной цвет. Этапы (стадии) циклов с формированием определенных осадочных и вулканогенных формаций и интрузивных комплексов – оттенки основного цвета.</p> <p>Месторождения – традиционные геометрические значки (форма знака – генетический тип, цвет – вид минерального сырья).</p> <p>Оформление структурно-металлогенических зон аналогично первому этапу</p>
1975–1990	Типизация структурно-формационных и структурно-металлогенических зон складчатых областей, чехла платформ и щитов (ВСЕГЕИ) [14–21]
	<p>Цветом показаны типы структурно-металлогенических зон со специфической рудоносностью.</p> <p>Месторождения – аналогично второму этапу.</p> <p>Символом показан главный вид минерализации структурно-металлогенических зон определенного типа. Красным цветом – минерализация, связанная с секущими комплексами, синим – со стратифицированными.</p> <p>На карту нанесены главнейшие рудоконцентрирующие разломы и структуры</p>
1990–настоящее время	Изменение подходов к составлению среднемасштабных карт. Цифровое государственное геологическое картографирование [1–4, 22–25]
	<p>Выделение факторов 1-го и 2-го родов как сочетание парагенетического и генетического подходов. Факторы 1-го рода обозначаются геологическими контурами, цветами и знаками согласно геологической карте. Объекты геологического строения, не имеющие рудоконтролирующего значения (за исключением даек), на карте не раскрашиваются.</p> <p>Факторы 2-го рода обозначаются цветными и черными линиями различной морфологии, крапом, штриховкой и цветным фоном в зависимости от наглядности изображения.</p> <p>В легенде на диаграммах отражается приуроченность полезных ископаемых к стратиграфическим подразделениям, интрузивным комплексам и их частям и т. п.</p> <p>Размещаются все месторождения и проявления полезных ископаемых с делением по размерам, степени освоенности и т. д.</p> <p>Минерагенические подразделения: цвет – вид ведущего полезного ископаемого, толщина контуров и штрихов – иерархический уровень объекта (зона, район, узел)</p>

Сегодня карты закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых представляют собой результат минерагенических исследований, направленных на выявление или уточнение пространственно-временных (парагенетических и генетических) связей полезных ископаемых с определенными комплексами геологических тел, тектонических структур и пород определенного состава.

Состав и содержание ПМК регламентированы нормативными документами, методическими рекомендациями, подготовленными в ФГУП «ВСЕГЕИ» в рамках выполнения работ по созданию ЦМ ГГК [1–4].

На специализированной геологической основе отображаются рудоконтролирующие (минерагенические) факторы 1-го рода (конкретные геологические образования и структуры) и 2-го рода (результаты моделирования объектов, благоприятных для возникновения полезных ископаемых).

ПМК составляются в разных масштабах в зависимости от задач прогнозных исследований, а также от специфики месторождений, влияющих на размеры рудоносных площадей [21]:

- обзорные карты (1 : 1 500 000 – 1 : 1 000 000) – оконтуривание и прогноз металлогенических зон;
- карты средних масштабов (1 : 500 000 – 1 : 200 000) – выделение рудных районов;
- карты крупных масштабов (1 : 100 000 – 1 : 50 000) – оконтуривание и прогноз рудных полей;
- карты детальных масштабов (1 : 50 000 и крупнее) – выделение локальных перспективных участков, сопоставимых по размерам с площадями месторождений либо групп рудных тел.

Таким образом, текущий отечественный опыт прогнозно-минерагенического картографирования способствуют созданию и использованию цифровых геологических карт, в том числе для уточнения конфигурации минерагенических таксонов различного уровня.

Методы и материалы

Экспериментальные работы по использованию средств ГИС ArcGIS выполнялись при

подготовке комплекта средне-мелкомасштабных прогнозно-минерагенических карт на твердые полезные ископаемые (медь, молибден) для Байкало-Амурской группы металлогенических провинций. Основная цель исследования – определение площадей, благоприятных для обнаружения месторождений медно-порфировой формации, и их картографирование.

Минерагенический анализ проводился с помощью технологии многомерной интерпретации геологических, геофизических и геохимических данных, включая цифровые карты аномального магнитного поля и поля силы тяжести в редукции Буге масштаба 1 : 2 500 000. В [26] представлена методика выполнения минерагенического анализа и его геологические результаты. В настоящей статье рассматриваются практические вопросы составления и оформления результатов минерагенического анализа. В процессе работ составлены карты на 13 номенклатурных листов масштаба 1 : 1 000 000 и 14 номенклатурных листов масштаба 1 : 200 000.

Схема размещения подготовленных листов ПМК приведена на рис. 1.

В качестве исходных данных были использованы ЦМ ГГК масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000, а также растровые материалы Геологических карт СССР масштаба 1 : 200 000 первого поколения, находящиеся в свободном доступе на сайте ФГУП «ВСЕГЕИ» [24, 25].

Комплекты ЦМ ГГК представлены по листно и включают в себя структурированные по тематическим папкам пространственные данные в формате *.shp (состав отражен в паспорте комплекта); макеты печати (файлы формата *.cdr, *.pdf); базы данных по полезным ископаемым, поисковым признакам; специализированные шрифты; другая сопроводительная документация. На некоторые листы имелись файлы проектов ArcView (*.apr), ArcGIS (*.mxd), однако для текущей работы их использование не предусматривалось, поскольку предполагалась разработка собственного макета карт.

Цифровая форма исходных данных позволила исключить трудоемкий процесс векторизации объектов с листов карт ранних поколений.

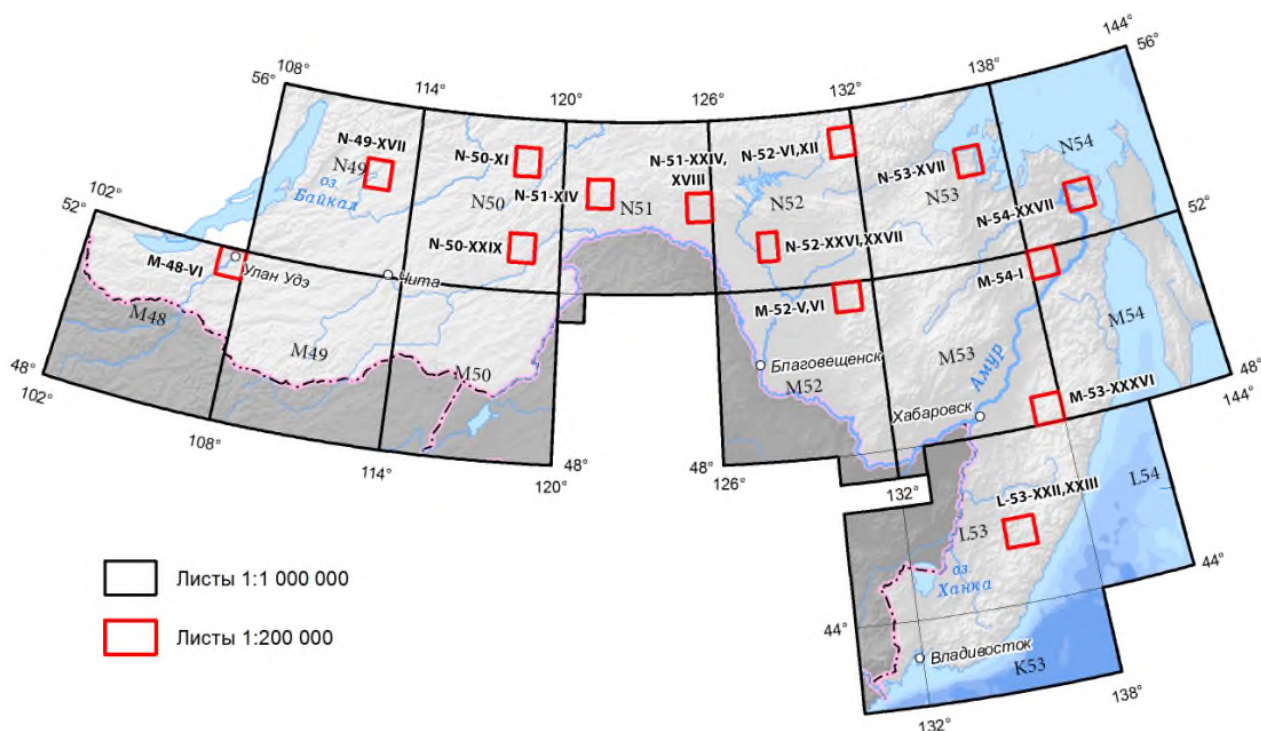


Рис. 1. Схема расположения подготовленных листов прогнозно-минерагенических карт

При этом для будущего содержания использовалось ограниченное количество папок с данными, а именно: геологические подразделения (папка «Base»), коренные месторождения полезных ископаемых (папка «Drud»), минерагенические подразделения (папка «Mran»), геохимические аномалии (папка «Chem»), результаты шлихового опробования (папка «Pann»), топографическая основа (папка «Тор») и некоторые другие данные.

Загрузка геоданных выполнялась полностью в отдельном ГИС-проекте, который впоследствии использовался как рабочее средство для геоинформационного анализа и подготовки макетов карт.

В ходе загрузки была выявлена необходимость в переопределении сведений о системе координат для каждого файла ЦМ ГГК. Для этого применялся инструмент Define Projection группы Data Management Tools / Projections and Transformations. В результате каждый файл был определен в географической системе координат СК-42, действовавшей на момент составления карт в качестве одной из основных систем координат в Российской Федерации.

Также в ходе загрузки данных было выявлено отсутствие атрибутивной информации

в исходных файлах геологических подразделений, минерагенического районирования и др. Недостающая информация была добавлена из соответствующих таблиц базы данных leg.dbf и mt.dbf с помощью операции Join.

Таким образом, первичная обработка исходных данных позволила в дальнейшем использовать информацию из ЦМ ГГК в полном объеме, что существенно уменьшило трудозатраты на составление элементов математической, общегеографической и тематической основы ПМК.

Математическая основа

Проектирование математической основы ПМК осуществлялось с учетом действующих Инструкций [1, 3, 4], целевого назначения итоговых карт и масштаба исследований.

Макет компоновки подготовлен отдельно для масштаба 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000 в ГИС-проектах ArcGIS в режиме Layout view. На листах карт размещаются собственно ПМК, обязательные элементы зарамочного оформления (карты-врезки, условные обозначения) и другие информационные блоки.

Для ПМК масштаба 1 : 1 000 000 было принято использовать коническую равнопро-

межуточную проекцию с двумя главными параллелями, поскольку такая проекция применяется для цифровой географической основы территории Российской Федерации и сопредельных государств масштаба 1 : 2 500 000, подготовленной в ФГБУ «ВСЕГЕИ». Для ПМК масштаба 1 : 200 000 применяется проекция Гаусса-Крюгера. Центральный меридиан изменяется в соответствии с номенклатурой подготавливаемого листа.

Картографическая сетка и рамки листов карт сформированы с помощью программы построения стандартных картографических сеток для Государственных геологических карт масштаба 1 : 200 000 и 1 : 1 000 000 CreateMapBasis.exe [27]. Программа в автоматизированном режиме генерирует файлы формата *.shp, в которых содержатся следующие геоданные: меридианы, параллели, внутренняя и внешняя рамка листа, минутная оформительская рамка, выноски линий меридианов и параллелей и другие объекты. Оформление объектов выполняется по соответствующим значениям атрибутивной части файлов.

Стоит отметить, что в инструкции к программе представлены краткие рекомендации как для ручного оформления рамок, так и для применения специализированных средств автоматизированного оформления карт геологического содержания в среде ArcGIS, использующих информацию из Эталонных баз изобразительных средств.

Общегеографическая основа

Объекты общегеографической основы входят в состав ЦМ ГГК. Уровень генерализации объектов позволяет вывести на первый план тематическое содержание, сохранив при этом определение пространственного положения объектов на местности. Оформление общегеографических объектов (гидрография, населенные пункты, дорожная сеть, политико-административные границы) выполнено приглушенным оливковым цветом аналогично исходным картам. Для лучшего восприятия также были удалены объекты рельефа, за исключением отметок высот. Надписи объектов размещены автоматическим способом с помощью механизма Maplex, реализованного

в ArcGIS, на основе значений из атрибутивных таблиц соответствующих файлов формата *.shp.

Тематическая основа: факторы 1-го рода

Специализированная геологическая основа подготавливается с помощью площадного слоя геологических подразделений из ЦМ ГГК (папка «Geol»). В соответствии с действующими принципами оформления факторов 1-го рода требуется выделить цветовой заливкой только комплексы, специализированные на исследуемые полезные ископаемые, при этом для остальных нерудогенерирующих геологических подразделений необходимо использовать белый цвет. В общем случае реализация в автоматизированном режиме возможна с помощью расширения MapDesigner (ФГУП «ВСЕГЕИ») [27].

Применительно к текущим работам по поиску определенного комплекса полезных ископаемых (молибден, медь, золото, серебро) подготовка специализированной геологической основы по стандартным принципам оказалась нецелесообразной. Причиной тому послужило широкое распространение нерудогенерирующих геологических подразделений, в связи с чем первичный макет карты представлял собой «белое пятно» с небольшими участками цветных объектов. Поэтому в целях повышения информативности подготавливаемых комплексов ПМК было принято решение использовать для неметаллотектных объектов специальные графические знаки – крап. В его основу положен принцип объединения подразделений в зависимости от типа пород и их возраста.

Символ крапа соответствует делению пород на осадочные, интрузивные, эффузивные, метаморфические. Цветом символа обозначается возраст. Например, для архейских и протерозойских комплексов используется светло-розовый фон; для палеозойских – серый и белый в зависимости от локализации объектов; для четвертичных – светло-коричневый фон без крапа. В случае сочетания нескольких типов пород в пределах объединяемых комплексов предусматривалось совмещение символов. Примеры оформления представлены на рис. 2.

ископаемых. Исходный цвет контуров и штрихов минерагенических зон, районов и узлов сохранился только у таксонов, специализируемых на исследуемые полезные ископаемые. Остальные объекты отображались серым цветом.

Таким образом, специализированная геологическая основа была максимально разгружена для нанесения объектов-факторов 2-го рода.

Тематическая основа: факторы 2-го рода

Прогнозно-поисковые предпосылки (факторы) 2-го рода согласно [1] определяются как «модельные объекты (реконструированные или рассчитанные), благоприятные для возникновения полезных ископаемых и их концентрации». Для выявления факторов 2-го рода и последующего их нанесения на ПМК выполнялась многомерная интерпретация геофизических и геохимических данных. Суть интерпретации сводилась к выявлению областей сходства с эталонными рудными объектами, заранее отобранными из базы данных месторождений и рудопроявлений медно-порфировой формации. Области сходства оконтуривались в случае выявления в признаковом пространстве, состоящем из карт геофизических полей и их трансформант, спектральных характеристик аналогичных эталону.

Для полученных областей сходства разработано специальное оформление: объекты показываются системой линий, где цвет внешней линии соответствует рудной специ-

ализации эталонного объекта, а стиль внутренней линии отражает наличие эталонного объекта на текущем листе карты (сплошная линия – эталон находится на текущем листе, штриховая и пунктирная – эталон расположен за пределами данного листа).

Пространственный анализ полученных областей сходства выявил совместную локализацию ряда объектов. Оконтуривание таких комплексных площадей выполнялось непосредственно в ГИС с учетом ранее подготовленной тематической основы факторов 1-го рода (магматических и структурно-тектонических элементов и продуктов рудогенеза, геохимических ореолов, шлиховых ореолов и россыпей). Размеры полученных 282 объектов соответствуют рангу прогнозируемых рудных узлов, т. е. факторам 2-го рода.

Для ранжирования (оценки) рудных узлов по степени выраженности и согласованности с областями сходства с эталонными объектами было разработано специальное штриховое оформление. Для перспективных узлов используется сплошная черная линия, для потенциально перспективных – штриховая, для узлов с неясными перспективами – пунктирная. Рудные узлы пронумерованы в пределах каждого листа ПМК слева направо, начиная с левого верхнего угла листа и продолжая в этом порядке сверху вниз. На рис. 3 представлены примеры фрагментов подготовленных ПМК с комбинациями математической, общегеографической и тематической основы.

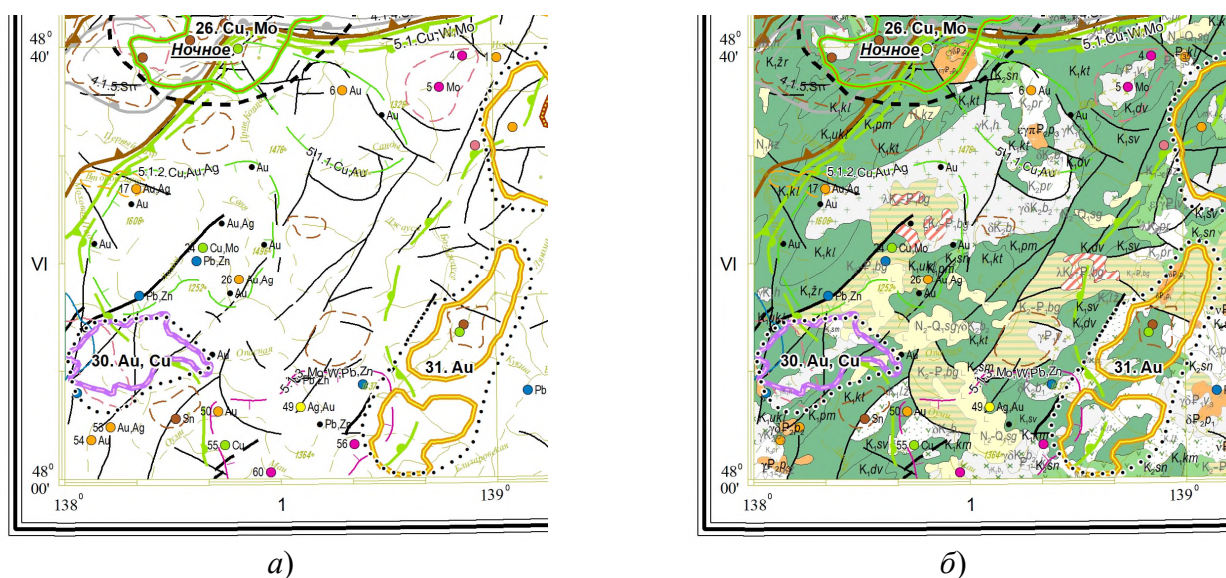


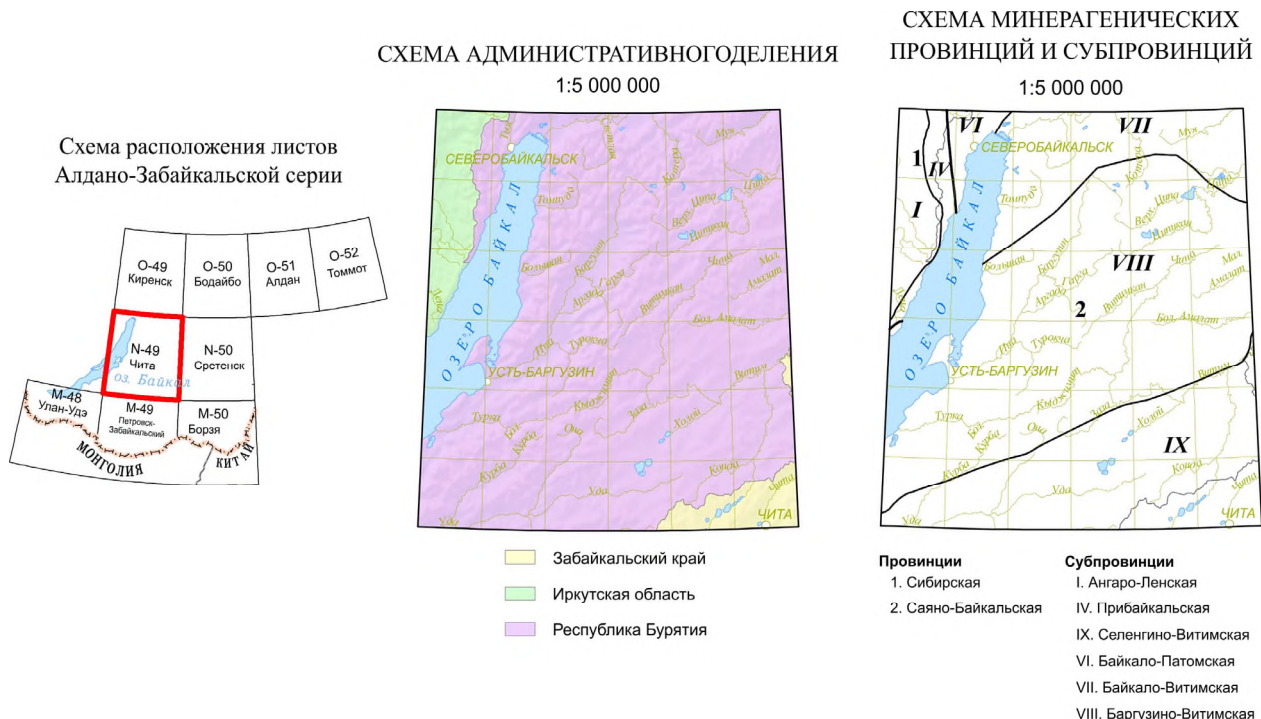
Рис. 3. Совмещение элементов содержания на ПМК масштаба 1 : 1 000 000: а) математическая, общегеографическая основа и факторы 2-го рода; б) все элементы содержания

Карты-врезки

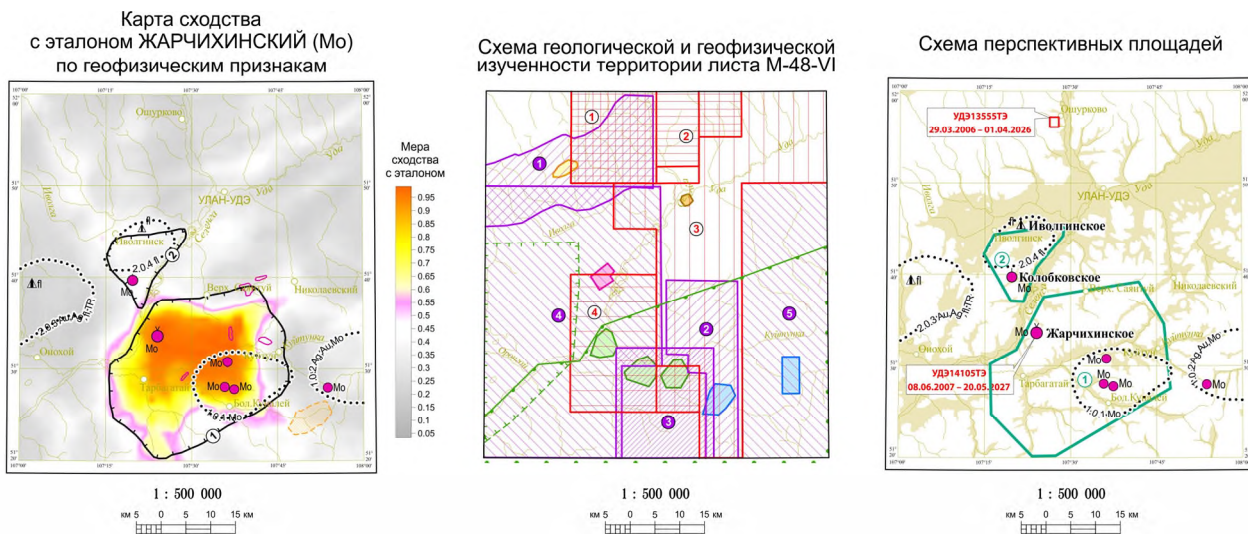
Неотъемлемой частью комплектов ПМК являются карты-врезки, в том числе обязательные схемы административного деления, схемы минерагенических провинций масштаба 1 : 5 000 000, а также схемы расположения листов Алдано-Забайкальской серии (масштаб 1 : 25 000 000). Карты составлялись по данным ЦМ ГГК в виде отдельных Data Frame, что позволяло оперативно обновлять информацию в процессе работ.

В дополнение к обязательным картам для ПМК масштаба 1 : 200 000 были составлены карты-врезки сходства с эталонами, схемы геологической и геофизической изученности, схемы перспективных площадей (рис. 4).

Карты составлялись по данным ЦМ ГГК в виде отдельных Data Frame, что позволяло оперативно обновлять информацию в процессе работ.



а)



б)

Рис. 4. Примеры карт-врезок, подготовленных для карт:
а) масштаба 1 : 1 000 000; б) масштаба 1 : 200 000

Карты сходства с эталонами построены на основе цифровой модели меры сходства с эталоном, рассчитанной в процессе многомерной интерпретации данных. Количественно мера сходства изменяется от -1 до $+1$, где значение « -1 » характеризует полное несходство анализируемых объектов, значение « $+1$ » – их полное совпадение по форме сигнала, а « 0 » – равновероятное сходство либо различие. Области с мерой выше $0,6$ квалифицировались как потенциально перспективные. Цветовая шкала цифровой модели была разработана в программном комплексе Surfer. Для ее перевода в формат ArcGIS использовался авторский инструмент Color Scale from Surfer [28].

Схемы геологической и геофизической изученности отражают пространственное положение рамок отчетов, выполненных по результатам разновременных и разномасштабных геологических, геофизических, геохимических съемок, тематических и поисково-разведочных работ. Исходными данными для их составления служили открытые данные об изученности из [29]. При графическом разделении объектов по масштабу и виду съемки использовались цвет и стиль контура, штриховка, фоновая окраска.

Схемы перспективных площадей демонстрируют положение участков, перспективных на обнаружение рудных объектов и рекомендуемых для проведения последующих работ. Дополнительно на схемах показаны границы лицензионных участков по данным [29].

На основе этой схемы были составлены рекомендации на проведение дальнейших поисковых работ ГРП на выделенных перспективных площадях.

Информационные блоки легенды

Комплект ПМК масштаба $1 : 1\,000\,000$ и $1 : 200\,000$ помимо карт и карт-врезок включает условные обозначения. Информационные блоки легенд создавались в ArcGIS как в виде интерактивно изменяющихся (динамических) объектов, так и в виде статичных объектов, помещающихся в табличные формы (рис. 5).

Таблицы подготовлены в режиме Layout View с помощью инструментов панели Draw. В каждую ячейку помещались графические объекты, сконвертированные из динамически построенных легенд.

Прогнозируемые рудные узлы					
(№ Специализация Название)					
	Перспективные		Потенциально перспективные		С неясными перспективами
6	Cu, Au Малмыжский	2	Cu, Au Среднетемгинский	1	Cu, Au Эбканский
11	Au, Ag Дурминский	4	Au, Ag Сутырь-Гуджалский	3	Au, Ag Кындальский
		7	Au Пони-Мулинский	5	Cu, Au Дуки-Горюнский
		9	Au, Ag Левотормасинский	8	Au, Cu Южный-Толомский
		12	Cu, Mo Верхнечуинский	10	Cu, Au Пихца-Мухенский

Области сходства с эталонными рудными объектами по геофизическим признакам			
С эталонами, расположенными в пределах листа М-53		С эталонами, расположенными за пределами листа М-53	
	Малмыжский, медно-порфировое оруденение		Покровский (лист N-52), золото-серебряное оруденение
	Среднетемгинский, медно-порфировое оруденение		Исиканский (лист М-52), золото-серебряное оруденение
			Белогорский (лист N-54), золото-серебряное оруденение
			Дурминский (лист L-53), золото-серебряное оруденение
			Шелеховский (лист М-54), золото-алунитовое оруденение
			Тырский (лист N-54), медно-порфировое оруденение
			Ночной (лист М-54), молибден-медно-порфировое оруденение

Рис. 5. Пример статичной легенды в табличной форме

Ввиду большого количества объектов на отдельный лист (и, соответственно, в отдельный ГИС-проект) вынесен блок легенды геологических подразделений (масштаб 1 : 1 000 000). Индексы геологических подразделений и описание состава комплексов представляют собой отдельные текстовые объекты. Объекты подготовлены без применения динамических легенд, поскольку в текстовом блоке требуется сочетание специального шрифта ArcIndex для подписи геологического индекса и стандартного шрифта для описания состава пород. Общий вид надписи в текстовом блоке ArcGIS (отме-

чен красным) и результат оформления представлен на рис. 6.

Аналогичный блок на листах ПМК 1 : 200 000 представлен в стандартной пообъектной форме в соответствии с исходными листами ГГК-200. Это связано с тем, что на листах этих карт не было необходимости отображать нерудогенерирующие геологические подразделения с помощью специально подготовленного крапа.

Итоговое оформление листов карт масштаба 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000 представлено на рис. 7, 8.

λK₂gb

Гербинский комплекс: риолиты (λK₂gb), риодациты (λζ)

ыKзgb <_ITA>Гербинский комплекс: риолиты
<FNT name='ArcIndex' size='6,5'>(ыKзgb)</FNT></_ITA>
<_ITA>, риодациты <FNT name='ArcIndex' size='6,5'>(ын)</FNT></_ITA>

Рис. 6. Пример кодирования текстового пояснения с применением разных шрифтов

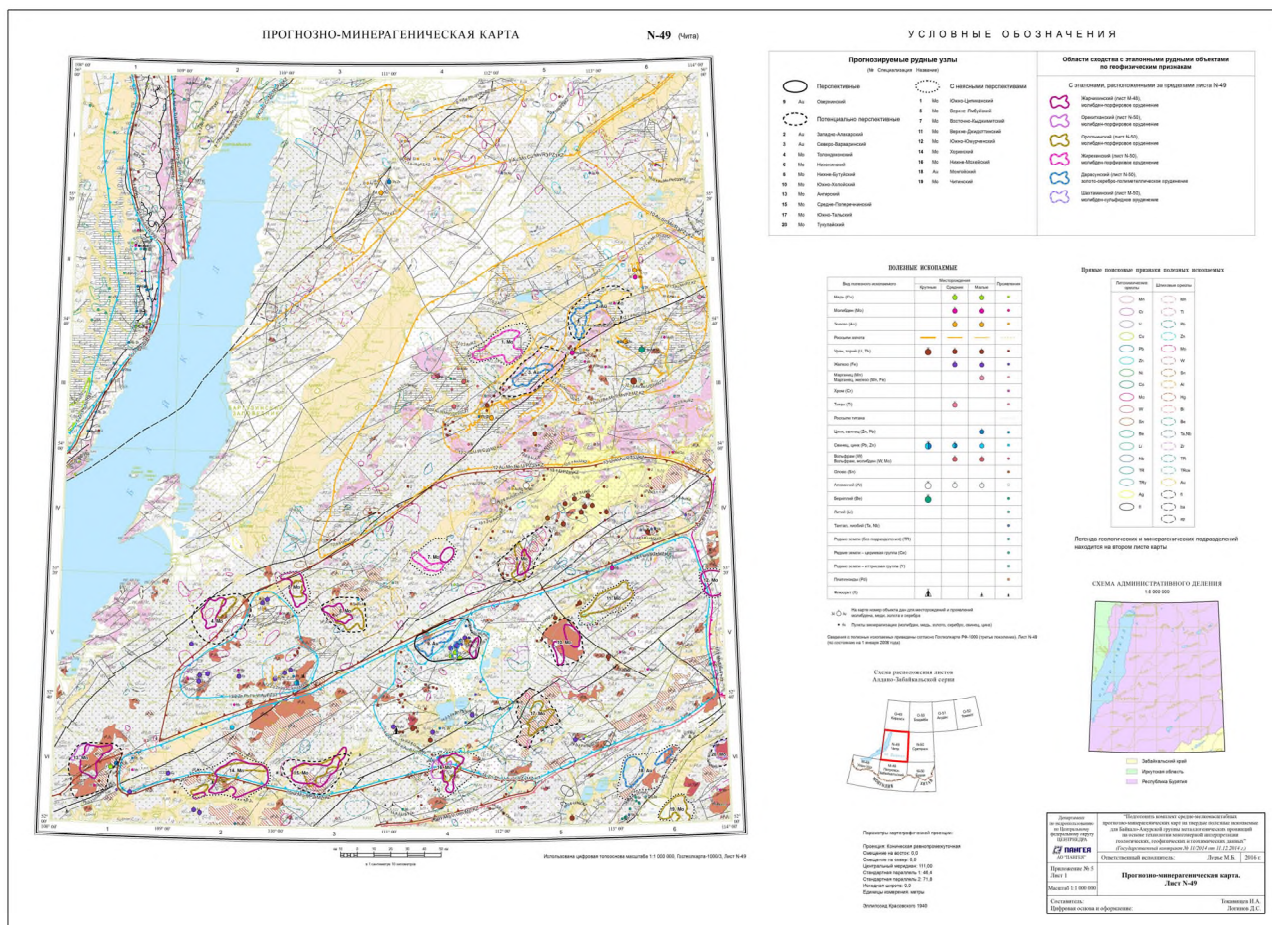


Рис. 7. Примеры подготовленных листов прогнозно-минерагенических карт масштаба 1 : 1 000 000

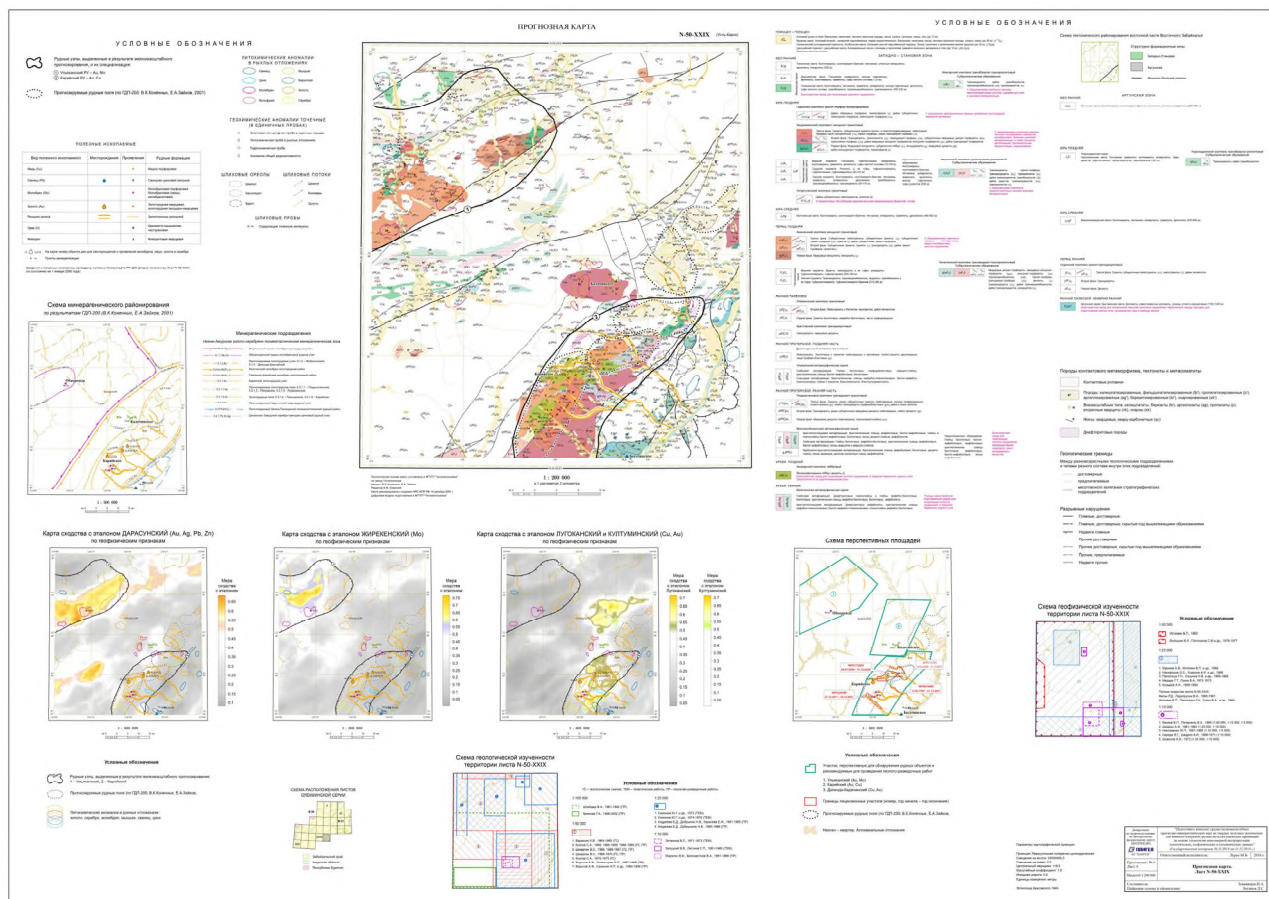


Рис. 8. Примеры подготовленных листов прогнозно-минерагенических карт масштаба 1 : 200 000

Заключение

Подготовленные листы ПМК масштаба 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000 представляют собой полноценные цифровые модели. Использование ЦК ГГК и средств ГИС позволило исключить трудоемкие работы по векторизации изданных ранее карт, применить авторские решения по дизайну карт с учетом методических инструкций и основных задач исследования, оперативно вносить изменения в конфигурацию прогнозируемых площадей, привлекать в полном объеме дополнительные геоданные из открытых источников.

В процессе экспериментальных работ, направленных на использование ЦМ ГГК, выявлены следующие технические проблемы.

1. Ряд файлов формата *.shp ЦК ГГК не содержит полной атрибутивной информации.

Следует подключать сведения из файлов формата *.dbf.

2. Воссоздание индексов геологических подразделений возможно только при использовании специального шрифта ArcIndex, причем предварительно следует переформатировать соответствующее поле с учетом индексации шрифта.

3. Полное воссоздание цветового и штрихового оформления геологических подразделений возможно либо вручную, либо с использованием MapDesigner. Однако использование MapDesigner для неподготовленного пользователя является затруднительным.

4. Содержащиеся в ЦМ ГГК проекты карт содержат фреймы данных, не расположенные в соответствии с издательским оригиналом ГГК-1000 и ГГК-200. В этой связи при использовании оригиналов карт следует использовать геопривязанный растр карты.

В случае необходимости внесения изменений в содержание карт следует сочетать возможности издательских программных продуктов и ГИС, но это влечет за собой трудозатраты.

5. ЦМ ГГК являются важным источником информации о геологическом строении территории при выполнении регионального изучения недр. Представленные решения по использованию ЦМ ГГК позволят картографам и ГИС-специалистам привлекать цифровые данные в полном объеме для картографического обеспечения ГРР. Кроме того, объекты

ГГК-1000 и ГГК-200 могут быть использованы по отдельности для выполнения поискового этапа ГРР на локальных участках.

Благодарности

Автор выражает благодарность начальнику отдела рудных полезных ископаемых и региональной геологии АО «ПАНГЕЯ» Игорю Александровичу Токавищеву и руководителю группы разработки программного обеспечения АО «ПАНГЕЯ» Михаилу Борисовичу Лурье за совместную работу по тематике настоящей статьи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третьего поколения). Версия 1.4. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019. – 169 с.
2. Единые требования к составу, структуре и форматам представления в НРС Роснедра комплектов цифровых материалов листов Государственных геологических карт масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000. Версия 1.6. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019. – 280 с.
3. Примеры оформления графических элементов комплектов ГК-200/2 (1000/3). Версия 1.4. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019. – 118 с.
4. Методические рекомендации по содержанию и оформлению комплектов Госгеолкарты-200/2 и Госгеолкарты-1000/3, издаваемых цифровым способом. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. – 16 с.
5. Логинов Д. С. Картографическое обеспечение геофизических исследований: современное состояние и перспективы // Геодезия и картография. – 2019. – № 8. – С. 32–44. – DOI: 10.22389/0016-7126-2019-950-8-32-44.
6. Читалин А. Ф., Агапитов Д. Д., Штенгелов А. Р., Усенко В. В., Фомичев Е. В. Геологическое таргетирование – инструмент повышения эффективности поисковых работ // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2020. – № 3 (172). – С. 10–18.
7. Бурдэ А. И., Стрельников С. И., Межеловский Н. В. и др. Три века геологической картографии России. – М. – СПб., 2000. – 439 с.
8. Общие принципы регионального металлогенического анализа и методика составления металлогенической карты для складчатых областей. – М. : Госгеолиздат, 1957. – 157 с.
9. Билибин Ю. А. Металлогенические провинции и металлогенические эпохи. – М. : Госгеолтехиздат, 1955. – 87 с.
10. Шаталов Е. Т., Орлова А. В., Яблоков К. В. и др. Основные принципы составления, содержание и условные обозначения металлогенических прогнозных карт рудных районов. – М. : Недра, 1964. – 197 с.
11. Металлогеническая карта СССР масштаба 1 : 2 500 000 / под руковод. К. Б. Ильина; отв. ред. В. Г. Грушевой. – М. : Всесоюз. аэрогеол. трест, 1967. – 16 л.
12. Металлогеническая карта СССР масштаба 1 : 2 500 000. Краткая объяснительная записка. – Л. : ВСЕГЕИ, 1973. – 32 с.
13. Валеев Р. Н., Солонцов Л. Ф., Аверьянов В. И. и др. Основные принципы минерагенического анализа платформенных областей (к составлению карт прогноза неметаллических полезных ископаемых Русской платформы). Экспресс-информация ВИЭМС. – М. : ОЦНТИ ВИЭМС, 1974. – 51 с.
14. Горжевский Д. И., Иванкин П. Ф., Биндемман Н. Н. и др. Методические рекомендации по прогнозированию эндогенных рудных месторождений (на прим. месторождений свинца и цинка). – М. : ЦНИГРИ, 1978. – 44 с.
15. Аксенов Е. М., Валеев Р. Н., Солонцов Л. Ф. Основы минерагенического анализа платформенных и складчатых областей (на примере нерудных полезных ископаемых). – М. : ВИЭМС, 1979. – 62 с.

16. Щеглов А. Д. Основы металлогенического анализа. – М. : Недра, 1980. – 431 с.
17. Рундквист Д. В. Атлас «Металлогения СССР»: объяснительная записка, 1989. – 48 с.
18. Металлогеническая карта региона БАМ. Масштаб 1 : 1 500 000. Объяснительная записка / Науч. ред. Ю. В. Богданов. – Л. : ВСЕГЕИ, 1981. – 140 с.
19. Карта структурно-металлогенических зон территории СССР / сост. Ю. В. Богданов и др., гл. ред. Д. В. Рундквист. – Л. : ВСЕГЕИ, 1982. (Мингео СССР).
20. Вознесенский В. Д., Ненашев Ю. П., Бурдэ А. И. и др. Инструкция по организации и производству геологосъемочных работ и составлению Государственной карты СССР масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000). – Л. : ВСЕГЕИ, 1986. – 243 с. (Мингео СССР).
21. Кривцов А. И., Самонов И. З., Филатов Е. И., Фоминых А. Ф., Шабаршов П. Я. Справочник по поискам и разведке месторождений цветных металлов. – М. : Недра, 1985. – 324 с.
22. Кривцов А. И. Методические основы прогнозно-металлогенических построений // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2010. – № 1. – С. 45–48.
23. Металлогенический кодекс России. – М. : Геокарт-ГЕОС, 2012. – 124 с.
24. Цифровой каталог Государственных геологических карт РФ масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vsegei.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/index.php.
25. Цифровой каталог Государственных геологических карт РФ масштаба 1 : 200 000 (второе поколение), изданных МФ ВСЕГЕИ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://geo.mfvsegei.ru/200k/>.
26. Лурье М. Б., Токавищев И. А., Логинов Д. С., и др. Подготовить комплект средне-мелкомасштабных прогнозно-минерагенических карт на твердые полезные ископаемые для Байкало-Амурской группы металлогенических провинций на основе технологии многомерной интерпретации геологических, геофизических и геохимических данных. Объект 1210-4. Отчет по Гос. контракту № 11/2014 от 11.12.14. – АО «ПАНГЕЯ». – 2016. – 1037 с.
27. Программные средства Госгеолкарты-200 и Госгеолкарты-1000 [Электронный ресурс] / ФГУП «ВСЕГЕИ». – Режим доступа: https://vsegei.ru/ru/info/normdocs/prog_ggk200-ggk1000/index.php.
28. Логинов Д. С. Применение компьютерных технологий и их потенциал для развития геофизического картографирования // Геодезия и картография. – 2021. – № 7. – С. 9–20. – DOI: 10.22389/0016-7126-2021-973-7-9-20.
29. Информационная система СОБР Роснедра [Электронный ресурс] / Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра). – Режим доступа: <https://gis.sobr.geosys.ru/>.

Получено 28.09.2021

© Д. С. Логинов, 2022

AN EXPERIENCE OF CREATING PREDICTIVE-METALLOGENIC MAPS BASED ON OPEN GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL DATA IN GIS ENVIRONMENT

Dmitriy S. Loginov

LLC "Tselevoi Gorizont", 54, Narodnogo Opolcheniya St., Moscow, 123298, Russia, Ph. D., Head of the Department of Digital Cartography and GIS, phone: (906)755-04-99, e-mail: loginov@cartlab.ru

The issues of using GIS tools for the preparation and design of predictive-metallogenic maps in accordance with the current normative documents and the experience of domestic geological cartography are considered. Predictive and mineralogical maps of scale 1 : 1 000 000 and 1 : 200 000 for the Baikal-Amur group of metallogenic provinces were made in the ArcGIS environment. Open and stock geological and geophysical data were used as the main sources of information – unified digital models of the State Geological Maps at a scale of 1 : 1 000 000 (third generation) and 1 : 200 000 (second generation), digital maps of the anomalous magnetic field and the field of gravity in the Bouguer reduction at a scale of 1 : 2 500 000, objects of geological and geophysical study and others. The features of these data use in the formation of mathematical, topographic and thematic basis of maps are noted. Recommendations on application of ArcGIS tools for cartographic works are given, examples of prepared predictive-metallogenic maps sheets are presented.

Keywords: Baikal-Amur group of metallogenic provinces, geodata, GIS project, State Geological maps, metallogenic mapping

REFERENCES

1. Guidelines for the preparation of sheets of the State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1 : 1 000 000 (third generation). Version 1.4. (2019). Saint Petersburg: Cartographic factory VSEGEI, 169 p. [in Russian].
2. Unified requirements for the composition, structure and presentation formats of digital materials of sheets of State Geological Maps at scales of 1 : 1 000 000 and 1 : 200 000. Version 1.6. (2019). Saint Petersburg: Cartographic factory VSEGEI, 280 p. [in Russian].
3. Examples of design of graphic elements of GK-200/2 (1000/3) sets. Version 1.4. (2019). Saint Petersburg: Cartographic factory VSEGEI, 118 p. [in Russian].
4. Methodological recommendations on the content and design of Gosgeol'karta-200/2 and Gosgeol'karta-1000/3, published digitally. (2014). Saint Petersburg: Cartographic factory VSEGEI, 16 p. [in Russian].
5. Loginov, D. S. (2019) Cartographic support of geophysical research: current state and prospects. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 80(8), 32–44. doi: 10.22389/0016-7126-2019-950-8-32-44 [in Russian].
6. Chitalin, A. F., Agapitov, D. D., Shtengelov, A. R., Usenko, V. V., & Fomichyov, Y. V. (2020). Geological targeting – A tool to increase efficiency of prospecting. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie [Mineral Resources of Russia. Economics and Management]*, 3(172), 10–18 [in Russian].
7. Burde, A. I., Strel'nikov, S. I., Mezhelovskiy, N. V., & et al. (2000). *Tri veka geologicheskoi kartografii Rossii [Three centuries of geological cartography of Russia]*. Moscow–Saint-Petersburg, 439 p. [in Russian].
8. *Obshhie principy regional'nogo metallogenicheskogo analiza i metodika sostavleniya metallogenicheskoy karty dlja skladchatykh oblastej [General principles of regional metallogenic analysis and the methodology of the metallogenic map for folded areas]*. (1957). Moscow: Geosgeolizdat, 157 p. [in Russian].
9. Bilibin, Yu. A. (1955). *Metallogenicheskie provincii i metallogenicheskie jepohi [Metallogenic provinces and metallogenic eras]*. Moscow: Geosgeolizdat, 87 p. [in Russian].
10. Shatalov, E. T., Orlova, A. V., Yablokov, K. V., & et al. (1964). *Osnovnye principy sostavleniya, sodержanie i uslovnyye oboznacheniya metallogenicheskikh prognoznykh kart rudnykh rajonov [Main principles of drawing up, content and symbols of metallogenic predictive maps of ore districts]*. Moscow: Nedra Publ., 197 p. [in Russian].
11. Metallogenic map of the USSR at a scale of 1 : 2 500 000 (1967). V. G. Grusheva (Ed.). Moscow: All-Union Aerogeological Trust Publ., 16 sheets [in Russian].
12. Metallogenic map of the USSR at a scale of 1 : 2 500 000. Short explanatory note (1973). Leningrad: VSEGEI Publ., 32 p. [in Russian].
13. Valeev, R. N., Solontsov, L. F., Averyanov, V. I., & et al. (1974). *Osnovnye principy mineragenicheskogo analiza platformennykh oblastej (k sostavleniju kart prognoza nemetallicheskih poleznykh iskopaemykh Russkoj platformy) [Basic principles of the mineralogical analysis of platform areas (to make forecast maps of non-metallic minerals of the Russian platform)]*. Moscow: OTSNTI VIEMS Publ., 51 p. [in Russian].
14. Gorzhevskiy, D. I., Ivankin, P. F., Bindeman, N. N., & et al. (1978). *Metodicheskie rekomendacii po prognozirovaniyu jendogennykh rudnykh mestorozhdenij (na primere Mestorozhdenij svinca i cinka) [Methodical Recommendations for Prognostication of Endogenous Ore Deposits (for example, Lead and Zinc Deposits)]*. Moscow: TSNIGRI Publ., 44 p. [in Russian].
15. Aksenov, E. M., Valeev, R. N., & Solontsov, L. F. (1979). *Osnovy mineragenicheskogo analiza platformennykh i skladchatykh oblastej (na primere nerudnykh poleznykh iskopaemykh) [Fundamentals of mineralogical analysis of platform and folded areas (by the example of non-metallic minerals)]*. Moscow: VIEMS Publ., 62 p. [in Russian].
16. Shcheglov, A. D. (1980). *Osnovy metallogenicheskogo analiza [Fundamentals of metallogenic analysis]*. Moscow, Nedra Publ., 431 p. [in Russian].
17. Rundkvist, D. V. (1989). *Atlas «Metallogenija SSSR» [Atlas "Metallogeny of the USSR"]*, 48 p. [in Russian].
18. Bogdanov, Ju. V. (Ed.). (1981). *Metallogenicheskaja karta regiona BAM. Masshtab 1 : 1 500 000 [Metallogenic map of the BAM region. Scale 1 : 1 500 000]*. Leningrad: VSEGEI Publ., 140 p. [in Russian].
19. Bogdanov, Ju. V., & Rundkvist, D. V. (1982). *Karta strukturno-metallogenicheskikh zon territorii SSSR [Map of the structural-metallogenic zones of the USSR. Ministry of Geology and Mineralogy of the USSR]*. Leningrad: VSEGEI Publ.

20. Voznesensky, V. D., Nenashev, Yu. P., Burde, A. I., & et al. (1986). *Instrukcija po organizacii i proizvodstvu geologos#emochnyh rabot i sostavleniju Gosudarstvennoj karty SSSR masshtaba 1 : 50 000 (1 : 25 000) [Instruction on principal geologic surveying work and execution of the USSR State Maps at 1 : 50 000 (1 : 25 000) scale]*. Leningrad. Mingeo USSR, 243 p. [in Russian].
21. Krivtsov, A. I., Samonov, I. Z., Filatov, E. I., Fominykh, A. F., & Shabarshov, P. Y. (1985). *Spravochnik po poiskam i razvedke mestorozhdenij cvetnyh metallov [Reference book on prospecting and exploration of non-ferrous metal deposits]*. Moscow: Nedra Publ., 324 p. [in Russian].
22. Krivtsov, A. I. (2010). *Methodological bases of predictive-metallogenic constructions. Mineral'nye resursy Rossii. Jekonomika i upravlenie [Mineral Resources of Russia. Economy and Management]*, 1, 45–48 [in Russian].
23. *Metallogenicheskiy kodeks Rossii [Metallogenic Code of Russia]*. (2012). Moscow: Geokart-GEOS Publ., 124 p. [in Russian].
24. Digital catalog of the State Geological Maps of the Russian Federation at 1 : 1 000 000 scale (third generation). VSEGEI. (n. d.). Retrieved from https://vsegei.ru/ru/info/pub_ggk1000-3/index.php (accessed September 26, 2021).
25. Digital catalog of the State Geological Maps of the Russian Federation at 1 : 200 000 scale (second generation). VSEGEI. (n. d.). Retrieved from <http://geo.mfvsegei.ru/200k/> (accessed September 26, 2021).
26. Lurie, M. B., Tokavishchev, I. A., Loginov, D. S., & et al. (2016). To prepare a set of medium-small-scale prognostic-mineralogical maps of solid minerals for the Baikal-Amur group of metallogenic provinces on the basis of multidimensional interpretation of geological, geophysical and geochemical data. Object 1210-4. Report under the State contract No. 11/2014 of December 11, 14. Moscow: PANGEA JSC Publ., 1037 p. [in Russian].
27. Gosgeolkart-200 and Gosgeolkart-1000 software tools. VSEGEI. (n. d.). Retrieved from https://vsegei.ru/ru/info/normdocs/prog_ggk200-ggk1000/index.php (accessed 26.09.2021).
28. Loginov, D. S. (2021). Application of computer technologies and their potential to develop geophysical mapping. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, (7), 9–20. doi: 10.22389/0016-7126-2021-973-7-9-20 [in Russian].
29. SOBR Rosnedra information system. Federal Agency on Subsoil Use (Rosnedra). (n. d.). Retrieved from <https://gis.sobr.geosys.ru/> (accessed 26.09.2021).

Received 28.09.2021

© D. S. Loginov, 2022