

Научная статья

УДК 550.8.013:528(470+26)

doi:10.52349/0869-7892_2024_100_23-35

Единая геолого-картографическая модель территории Российской Федерации и ее континентального шельфа**В. В. Снежко**✉, **П. В. Химченко**, **М. А. Ткаченко**,
О. Н. Снежко, **Е. А. Коваленко**Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия,
victor_snezhko@karpinskyinstitute.ru✉

Аннотация. В статье представлены результаты первого этапа разработки Единой геолого-картографической модели, предназначенной для технологического обеспечения мониторинга государственных геологических карт масштаба 1 : 1 000 000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа. Модель интегрирует картографические материалы, серийные легенды и объяснительные записки, обеспечивая создание бесшовного геологического покрытия территории страны. В основу разработки Единой геолого-картографической модели положены многоуровневая организация данных, межсерийная корреляция и возможность формализации геологических описаний с использованием иерархических словарей. Разработанная технология включает базы данных структурированных массивов геологической информации, программные модули для их загрузки, анализа и отображения. Важным результатом является интеграция цифровых геологических ресурсов и возможность автоматизированного мониторинга карт в едином пользовательском интерфейсе. Модель данных обеспечивает возможность формирования геологических карт разных масштабных уровней и поддерживает преемственность данных, исключая противоречия и дублирование. Проект призван решить задачи по унификации и актуализации геологической информации с учетом международных стандартов и технологического суверенитета. В перспективе планируется развитие системы для полимасштабного анализа, выделения перспективных участков недр, автоматизированной генерализации карт. Промышленная технология мониторинга комплектов государственных геологических карт в рамках Единой геолого-картографической модели общегосударственного охвата в отечественной и мировой практике разработана впервые. На сегодняшний день в Единую геолого-картографическую модель загружены и переведены в режим мониторинга 19 комплектов Госгеолкарты-1000/3, включающие 16 типов карт и схем, более 3,5 млн геологических объектов и 110 000 объектов полезных ископаемых. Дальнейшее развитие технологии предполагается с учетом накопленного опыта эксплуатации и новых задач, возникающих в процессе мониторинга.

Ключевые слова: Единая геолого-картографическая модель, государственные геологические карты, цифровая геологическая информация, серийные легенды, геологические объекты, мониторинг государственных геологических карт, полимасштабная модель, технологический суверенитет

Для цитирования: Единая геолого-картографическая модель территории Российской Федерации и ее континентального шельфа / В. В. Снежко [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2024. Т. 31, № 4. С. 23–35. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_23-35

Original article

UDC 550.8.013:528(470+26)

doi:10.52349/0869-7892_2024_100_23-35



© В. В. Снежко, П. В. Химченко, М. А. Ткаченко, О. Н. Снежко, Е. А. Коваленко, 2024

Unified geological-cartographic model of the Russian Federation and its continental shelf**V. V. Snezhko**✉, **P. V. Khimchenko**, **M. A. Tkachenko**,
O. N. Snezhko, **E. A. Kovalenko**All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia, victor_snezhko@karpinskyinstitute.ru✉

Abstract. The paper outlines the first stage results of developing the Unified geological-cartographic model to technologically support State Geological Map (scale 1 : 1,000,000) monitoring of the Russian Federation territory and its continental shelf. The model integrates cartographic documents, serial legends, and explanatory notes, which contribute to the seamless coverage of the country's territory. The multi-level data design, interserial correlation, and geological description formalization with hierarchical directory determine the Unified geological-cartographic model development. The technology includes structured arrays of digital geological information databases, plug-ins to download, analyze, and display them. Integration of digital geological resources and computer-assisted map monitoring in a unified user interface is outstanding. The data model allows forming multiscale-level geological maps and supports data succession, excluding conflicts and duplications. The project contributes to standardizing and updating geological information, with international standards and technological sovereignty considered. It is projected to develop the system for multiscale analysis, outlining prospective subsoil areas, computer-assisted map generalization. Domestically and globally, the novel industrial technology to monitor State Geological Map sets therefore corresponds to the nation-wide Unified geological-cartographic model. The model currently has 19 uploaded State Geological Map sets (scale 1 : 1,000,000, third generation) to monitor, which include 16 map types and diagrams, over 3.5 bn geological objects, and 110,000 mineral resource objects. The vast operating experience and new tasks upon monitoring facilitate further technology development.

Keywords: *Unified geological-cartographic model, State Geological Maps, digital geological data, serial legends, geological objects, State Geological Map monitoring, multiscale model, technological sovereignty*

For citation: Unified geological-cartographic model of the Russian Federation and its continental shelf / V. V. Snezhko [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2024; 31 (4): 23–35. https://doi.org/10.52349/0869-78922024_100_23-35

ВВЕДЕНИЕ

Государственное геологическое картографирование — это основной системообразующий метод и приоритетное направление региональных геологических исследований, которое формирует массив фундаментальной геологической информации, обеспечивающей развитие геологической науки, общих знаний о геологическом строении и минералогическом потенциале территории Российской Федерации. Важнейшими характеристиками, определяющими вот уже более 100 лет безусловную эффективность работ геологической службы России, в том числе являются системность и высокая степень унификации геологических знаний, тщательный контроль выходной геологической продукции. Использование цифровых технологий, очевидно расширяет возможности государственного геологического картографирования, открывая широкие перспективы для увеличения информационной насыщенности карт, возможности их анализа, создания бесшовных покрытий.

С момента внедрения геоинформационных систем (далее — ГИС) в геологическую картографию в разных странах стали предприниматься попытки разработки универсальной модели, позволяющей интегрировать в рамках единой системы наборы геологических карт по крупным территориальным фрагментам.

Первой значимой попыткой реализации такой системы стала Северо-Американская модель геологических данных (NADM). Началом разработки можно считать 1996 г., когда по соглашению между Ассоциацией американских государственных геологов (AASG), Федеральной геологической службой США (USGS) и геологической службой Канады (GSC) международная группа приступила к разработке Национальной Базы Данных геологических карт, результатом которой и явилось создание NADM 4.3 [1].

Несмотря на очевидный прорыв и массу, несомненно, полезных наработок, версия NADM 4.3 обладала достаточно серьезными недостатками, которые фактически predetermined неудачу при попытках ее внедрения как универсального решения. Главной проблемой NADM 4.3 стало то, что процесс разработки не включал создания «Концептуальной модели». Такой подход не обеспечивает возможности изначального учета всех потенциальных вариантов реализации «Логической модели» базы данных (далее — БД). Именно поэтому при использовании NADM 4.3 как для территории с различным геологическим строением (Аризона, Канада, Айдахо), так и для различных масштабов картографирования возникали ситуации, в которых требовалось дополнять (редактировать) логическую структуру БД. Поскольку не было объединяющего смыслового начала (концепции), эти изменения впоследствии оказались несопоставимы. Кроме того, NADM 4.3 имела еще целый ряд недостатков, в том числе не предусматривала унифицированной словарной базы, что исключило возможность согласования геологической информации для различных территориальных фрагментов; разрабатывалась как реляционная структура без поддержки объектной модели, что значительно ограничивало ее применение в процессе внедрения.

Поэтому в 2004 г. Управляющим комитетом Северо-Американской модели данных, специально созданным для модернизации NADM 4.3 с целью обеспечения совместного использования геологической информации независимо от ее логической и физической реализации, была разработана NADM-C1 [2], содержащая Концептуальную модель и Рекомендации по стандартизации геологических данных [3–6], включающие следующие компоненты:

— стандартизированный научный язык, предназначенный для описания, классификации и интерпретации геологических материалов и структур;

— программные инструменты для ввода данных в модель через интерфейсную часть и для их последующего извлечения в прикладной части;

— основы методологии и способы обмена цифровыми наборами данных с различной структурой и форматами (прототип спецификации GeoSciML).

Разработка самой базы данных не входила в круг задач комитета, оставаясь в компетенциях геологических служб США и Канады, которые занимались дальнейшей адаптацией и спецификацией под конкретные условия применения.

Успешные результаты NADM-C1 по стандартизации данных и последующий прогресс в подготовке цифровых геологических карт на отдельные регионы США и Канады вызвали закономерный интерес геологических служб многих стран мира. В связи с этим работы по совершенствованию концепции NADM-C1, логических структур баз данных, созданию языка обмена GeoSciML, обеспечивающего взаимодействие цифровых геологических данных через сеть Интернет, были переданы под управление Международного союза геологических наук (International Union of Geological Sciences, IUGS). Ниже приведены основные характеристики базовой модели NADM:

Иерархическая структура. Данные организованы в виде иерархических классов и атрибутов, что позволяет учитывать как общие черты геологических объектов, так и их уникальные свойства.

Стандартизация данных. Модель обеспечивает единые правила для описания любых геологических объектов.

Интеграция с другими моделями. NADM была разработана с учетом необходимости совместимости другими моделями данных и международными стандартами.

NADM-C1 и основанные на ней стандарты нашли широкое применение в создании сводных баз геолого-картографических данных. Они значительно упростили обмен данными между геологическими службами разных стран, послужили основой для множества цифровых платформ, предоставляющих доступ к геологической информации, и обеспечили возможность создания динамических карт, которые позволяют пользователям взаимодействовать с данными в интерактивном режиме.

В России развитие цифровой геологической картографии пошло по пути создания дискретных баз данных — полистных цифровых комплектов государственных геологических карт Российской Федерации (далее — Госгеолкарт). Этот подход сохранил методологические принципы традиционного «аналогового» геологического картографирования, при котором итоговым продуктом являлся изданный комплект Госгеолкарты, фиксирующий состояние геологических знаний по территории на момент публикации, в нем «замораживались» существующая на момент издания геологическая парадигма и состояние изученности. Обновление карт происходило дискретно, примерно раз в 30 лет, что в целом укладывалось в понятие «поколение» Госгеолкарты. Вместе с тем, карты геологического содержания, создаваемые в нашей стране, значительно превосхо-

дят по информационной наполненности подобные карты большинства стран мира, а объединенные в комплект формировали многоаспектную модель геологического строения территории конкретного номенклатурного листа.

Различия в подходах вполне закономерны и обусловлены, в первую очередь, историческими предпосылками и организацией работ. В США, Канаде и ряде других стран процесс геологического картосоставления существенно децентрализован, и очень сильны позиции геологических служб отдельных субъектов (штатов, провинций и др.), в которых сложились собственные «автономные» и не всегда сопоставимые методические подходы к картированию, терминологии и оформлению карт. Соответственно, разработки Северо-Американской модели данных были направлены прежде всего на гармонизацию разнородных карт геологического содержания. В России для составления комплектов отдельных листов Госгеолкарт используется единый методический подход, закрепленный нормативными документами, пособиями и рекомендациями. Он и был перенесен в цифру. Формирование единого геологического покрытия предполагалось после завершения подготовки всех полистных комплектов. Сегодня Программа «Госгеолкарта-1000/3» подошла к своему завершению, получен огромный массив цифровых данных, которые будут интегрированы и увязаны в бесшовное покрытие в технологической среде Единой геолого-картографической модели территории Российской Федерации и ее континентального шельфа (далее — ЕГКМ), что обеспечит переход от дискретного (по листам и поколениям) обновления к постоянному полноценному мониторингу геологической информации по всей стране.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ЕГКМ

Методические предпосылки. Кратко остановимся на характеристике методики государственного геологического картографирования в части, значимой для его цифровой реализации. основополагающей особенностью российской школы является системный подход к геологическому картографированию, базирующийся на следующих принципах.

Унификация данных. Для каждого поколения Госгеолкарты на подготовительном этапе составляются методические руководства и требования к картам комплекта и объяснительной записке, в том числе рекомендуются условные обозначения, что обеспечивает стандартизацию картографической информации.

Единая понятийная база. Для всех масштабных уровней сформирована целостная понятийная база. В разные годы составлено нескольких редакций Геологического словаря, Петрографического и Стратиграфического кодексов России, что обеспечивает единую и актуальную терминологическую основу.

Система серийных легенд. Картографирование осуществляется на основе заранее подготовленных серийных легенд, разработанных для групп листов, относящихся к конкретным георегионам. Основная

цель серийных легенд заключается в обеспечении взаимосвязанности и согласованности всех отображаемых на картах геологических подразделений и элементов структурно-формационного и минералогического районирования.

Цифровые модели стали полноправным элементом методики только в начале нашего века. Подготовка цифровых материалов листа производится в соответствии с требованиями к цифровым моделям и базам данных, соблюдение которых позволяет максимально унифицировать геологические результаты, вне зависимости от исполнителя работы.

Для цифровой государственной геологической карты началом формирования нормативно-методической базы можно считать 2005 г., когда была подготовлена первая редакции «Требований по представлению в НРС и ГБЦГИ цифровых моделей листов государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения», и к сегодняшнему дню этот документ претерпел значительную трансформацию (в настоящее время актуальна седьмая версия, вторая редакция) [7].

Развитие нормативно-методической базы, безусловно, необходимо и обеспечивает прогресс в картографировании, в то же время комплекты, подготовленные в рамках одного поколения, но в разных версиях Требований имеют разную полноту и качество, а также достаточно существенные отличия в способах организации и форматах цифровых моделей (далее — ЦМ) и сопровождающих баз данных. При формировании цифровых легенд карт не предусматривалось использование единой терминологической основы в виде унифицированных словарей, не проводилась формализация описаний подразделений и не обеспечивалась технологическая связь с цифровыми материалами легенд серий листов (далее — СЛ) Госгеолкарты-1000/3, которые могли бы стать смысловой основой для увязки отдельных комплектов в пределах группы листов. Тем более, что часть СЛ уже была переведена в цифровой вид (текстовое и табличное представление), то есть первый шаг в этом направлении был сделан, но вот создание единой жизнеспособной системы их ведения, несмотря на неоднократные попытки, так и не было реализовано.

Таким образом, можно заключить, что в методическом плане именно для формирования «единого» цифрового покрытия России существовавших «Требований...» было недостаточно, и требовались дополнительные разработки, обеспечивающие переход от полистного к сводному покрытию.

В 2009–2011 гг. в рамках тематических работ ФГБУ «ВСЕГЕИ» (ныне ФГБУ «Институт Карпинского») была разработана Концепция полимасштабной модели Госгеолкарт-1000/3 и -200/2 (Отчет по Государственному контракту № АМ-02-43/8 от 20.06.2008 на создание и поставку научно-технической продукции (НТПр) по базовому проекту 7.4-02/08 «Разработать комплект научно-методических документов и программно-технологических средств для создания унифицированных цифровых геологических карт различных масштабов». Инвен-

тарный номер 498044. Росгеолфонд, Центральное фондохранилище), в которой были учтены некоторые подходы NADM-C1 в части интеграции геологической информации на различных масштабных уровнях и по группам листов.

Технологические предпосылки. Здесь нужно отметить, что в том числе и с учетом достижений NADM-C1 в предыдущие годы во ФГБУ «ВСЕГЕИ» был осуществлен ряд технологических разработок, в значительной степени послуживших основой для ЕГКМ.

В 2010 г. началась разработка технологической среды «Макет Национальной геолого-картографической информационной системы» (далее — НГКИС) (Геологический отчет о результатах работ по объекту «Актуализация геологической карты масштаба 1 : 2 500 000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа по материалам ГК-1000 третьего поколения», Государственный контракт № АМ-02-34/20 от 19.11.2009, Инвентарный номер 501754. Росгеолфонд, Центральное фондохранилище). Параллельно проводилась подготовка и загрузка в НГКИС базовых слоев полотен геологических и регистрационных карт полезных ископаемых уже составленных комплектов Госгеолкарт-1000/3.

К 2019 г. в НГКИС были загружены фрагменты бесшовных карт (геологическая, полезных ископаемых) масштаба 1 : 1 000 000 по десяти регионам страны. Созданные фрагменты использовались для актуализации сводной геологической карты масштаба 1 : 2 500 000 и ее включения в международные проекты. В процессе работы были апробированы технические решения по интеграции цифровых слоев геологических карт в единую программно-технологическую среду, организации доступа к этим картам по локальным и глобальным компьютерным сетям, использованию международных стандартов взаимодействия для формирования глобального покрытия на территорию Земли (проект OneGeology).

В 2012–2018 гг. был реализован ряд проектов по интеграции отдельно ведущихся централизованных информационных ресурсов (БД Госгеолкарт-Георастры Госгеолкарт, Геохронологический атлас-справочник основных структурно-вещественных комплексов России, Система учета и интерактивная карта перспективных площадей, Электронный стратиграфический словарь фанерозоя России, Интерактивные карты петротипов-стратотипов и др.) в единый геолого-картографический массив. В 2017 г. начато формирование Централизованного хранилища первичных геологических данных «Карта фактов», в 2018 г. разработана система унифицированных словарей и онтологий, в 2019 г. — Система ведения легенд серий листов 1000/3, в 2020 г. — Централизованный ресурс объектов полезных ископаемых России (все эти информационные ресурсы впоследствии вошли в технологию ЕГКМ).

Значительным вкладом в подготовку технологии ЕГКМ можно считать наши работы в рамках международных проектов OneGeology, GeoSciML,

EarthResourceEML, Minerals4Europe, EGD1 и прочих пилотных разработках в области построения крупных информационных систем.

Таким образом сформировалась уникальная ситуация, крайне благоприятная для совершения следующего качественного скачка в сфере государственного геологического картографирования, ниже приведены основные факторы, способствующие этому:

- наличие условно однотипных цифровых материалов по большинству номенклатурных листов масштаба 1 : 1 000 000;

- необходимость перевода геологического картографирования масштаба 1 : 1 000 000 в формат мониторинга;

- наличие апробированных мировых разработок;

- наличие собственных разработок;

- наличие централизованных массивов, специализированных геологических данных (стратотипы, петротипы, объекты полезных ископаемых, первичные данные, изученность и т. д.);

- универсальность современных требований к цифровым материалам комплектов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000 [7].

Существенным аргументом в пользу разработки собственных решений является необходимость обеспечения технологического суверенитета и максимальной независимости от внешнего программного обеспечения.

РЕАЛИЗАЦИЯ ЕГКМ

К 2021 г. были подготовлены проект «Концепции организации и технологического развития мониторинга государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа (2020–2035 гг.)» [8] и «Практическое руководство по мониторингу государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа», определяющие цели, задачи и порядок ведения мониторинга государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 с использованием Единой геолого-картографической модели в которых изложены первоначальные (стартовые) требования к ЕГКМ. Технология должна обеспечить возможность оперативной актуализации и удаленный доступ ко всем геологическим данным, возможность представления массива геологической информации в интерактивном режиме через веб-интерфейс, увязку атрибутивной и пространственной информации цифровых моделей Госгеолкарты-1000/3 с базовыми информационными ресурсами, оперативную выгрузку полистных комплектов Госгеолкарты-1000 (в полном составе или частично, по выбору пользователя) в ГИС-формате, формирование карт геологического содержания по регионам и крупным геологическим структурам.

В том же 2021 г. была начата работа по моделированию и разработке технологии ЕГКМ, которая проводится Центром информационных технологий по регио-

нальной геологии и металлогении ФГБУ «Институт Карпинского» с привлечением ООО «Минерал-Инфо» для решения отдельных задач.

Методические основы ЕГКМ. Единая геолого-картографическая модель базируется на технологически нейтральной концептуальной основе, определяющей основные классы понятий и связи между ними, со специальным акцентом на информации, отображаемой на цифровых Госгеолкартах масштабов 1 : 200 000–1 : 1 000 000 и в цифровых материалах серийных легенд. Принципиальным моментом концепции является положение о том, что в рамках единой модели должны быть увязаны понятия, используемые для отображения геологических объектов (на карте разрезе, легенде) и описания их геологического содержания (ранг, вещественный состав, генезис и т. д.), а для классификации всех объектов используется единая система онтологий. Именно такой подход, основанный на самых общих принципах интеграции информации геологических карт в едином понятийном пространстве, обеспечивает эффективность применения ЕГКМ для разномасштабных и разноплановых геологических построений и задач.

В основу модели данных положены общие подходы к структуризации цифровой информации комплекта, предусмотренные Требованиями к ЦМ Госгеолкарты, что обеспечило возможность достаточно безболезненной интеграции уже созданных комплектов в единую базу данных. Вместе с тем, указанные Требования декларировали «самодостаточность» одного листа и не предполагали возможность увязки нескольких листов даже в пределах группы или георегиона, а тем более создание единого на всю страну бесшовного геологического покрытия, что существенно ограничивало область их применения для построения ЕГКМ и потребовало привлечения дополнительных уровней организации данных.

Смысловой основой для организации данных отдельных комплектов в пределах группы листов по конкретному георегиону является серийная легенда, для более высокого уровня организации данных и межсерийной корреляции используется система из 21 серийной легенды, полностью покрывающая территорию России, ее континентального шельфа и прилегающих акваторий.

Таким образом, разработанная модель на уровне единичного комплекта наследует основные черты ЦМ Госгеолкарты. А для формирования бесшовных фрагментов, межсерийной корреляции, обеспечения возможности анализа и общения информации, а также создания полимасштабного покрытия используются дополнительные решения, подготовленные нами, в том числе в рамках ранее проведенных опытно-методических работ и международного сотрудничества. Ниже приводятся наиболее интересные, на наш взгляд, подходы, обеспечивающие интеграцию данных.

Многоуровневая организация данных.

Сейчас в модели реализуются три уровня организации информации:

- уровень единичного геологического объекта — картируемого выдела;

— уровень номенклатурного листа карты (легенды листа) — группы однотипных картируемых выделов («композиционные объекты») на листе карты. В зависимости от назначения карты группировка может быть выполнена по возрасту, вещественному составу, обстановкам формирования и т. д. — например, все картируемые выделы, относящиеся к конкретной свите или комплексу;

— уровень группы листов серийной легенды (либо сводной, специализированной легенды) — набор однотипных групп объектов («композиционных объектов») смежных листов, сформированных на основе определенных геологических обобщений, например, все картируемые объекты конкретной свиты или комплекса в пределах всех листов серийной легенды.

Структура описания объектов на всех уровнях информации унифицирована и обеспечивается единым пулом атрибутов. Объекты всех уровней как основной/дополнительный атрибут могут иметь пространственное отображение (полигон, линия, точка). Формирование композиционных объектов (групп, наборов) может осуществляться на основании любых понятий и их комбинаций, описанных при помощи формализованных значений, содержащихся в иерархических словарях (онтологиях). В зависимости от назначения карты группировка может быть выполнена:

— на основе общих характеристик картируемых объектов, таких как ранг и возраст;

— на основании отдельных составляющих объекта, включенных в его описание (минеральное вещество (порода), форма геологического тела и т. д.);

— на основании свойств отдельных составляющих элементов объекта (состав химический, степень консолидации, отдельность, морфология зерен, размер частиц и т. д.).

В пределах каждой из серийных легенд для объектов (групп, наборов) различных уровней организации информации предусматривается два типа связи: между картируемыми объектами и их описаниями в легенде листа карты (однотипной группы) устанавливается связь типа один-ко-многим; между описаниями объектов полистной легенды и серийной легендой (наборами однотипных групп) используется связь многие-ко-многим.

Межсерийная корреляция. Выполняется для увязки между собой подразделений различных серийных легенд как внутри одного масштаба картографирования, так и различных масштабных уровней (рис. 1), предусматривается применение промежуточных корреляционных таблиц «геологические отношения», которые используют связи «многие-ко-многим» и определяют вид геологических отношений, таких как «принадлежит», «прорывает», «содержит», «частичный/полный эквивалент» и т. д.

Формализация данных. Обеспечивает унификацию описаний геологической информации Гостеолкарт масштабов 1 : 200 000–1 : 1 000 000 и серийных легенд соответствующих масштабов через использование единой терминологической основы. Поддерживается с помощью системы взаимовязанных иерархически организованных наборов словарей (онтологий) в объеме, приемлемом для решения практических задач по поиску и анализу информации. При ее проектировании учитывалась возмож-

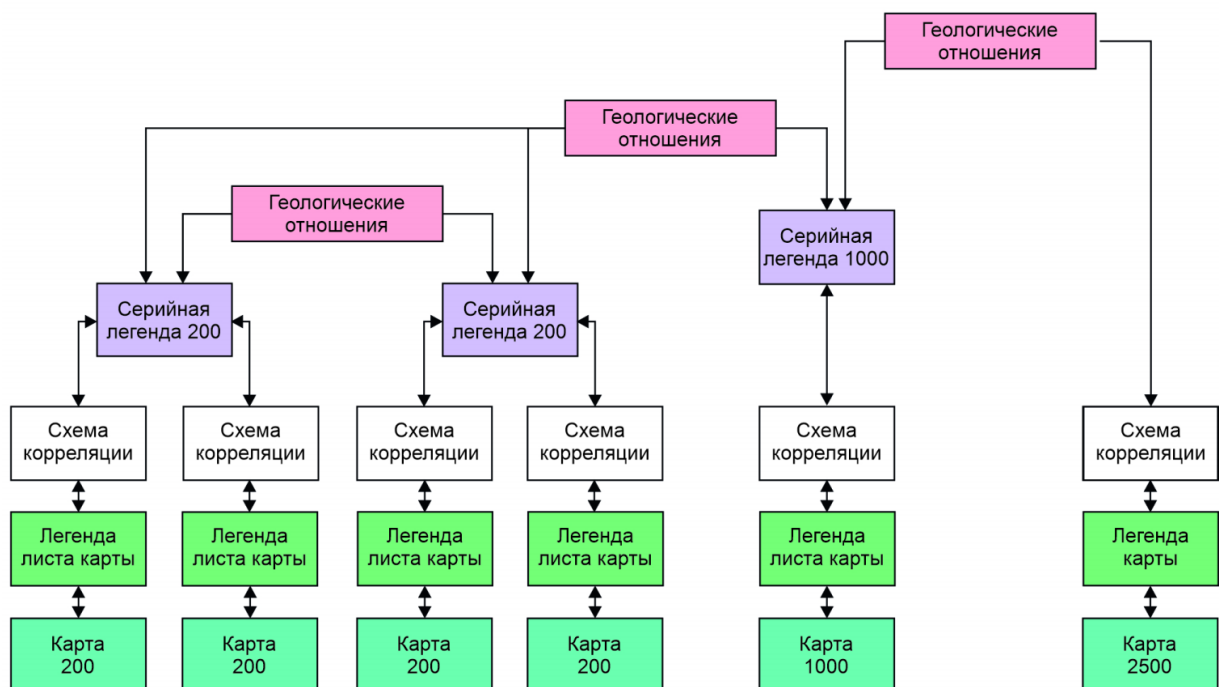


Рис. 1. Используемые принципы корреляции

Fig. 1. Correlation principles

ность расширения как за счет включения новых словарей, так и пополнения набора словарных терминов внутри каждого словаря, что обеспечило гибкость и полноту формализации описаний авторских материалов.

В настоящее время в модель включены словари для геологических подразделений (ранг подразделения, генетический тип, тип фации, породный состав, соотношение, тип металлотека, тип границы) и описания пород, выделяемых в составе картируемого подразделения (генезис, степень кристалличности, степень однородности, обстановка формирования, форма тела, морфология частиц, химический состав, степень консолидации).

Таким образом, принятая в ЕГКМ схема организации информации обеспечивает целый ряд принципиально новых возможностей, основными из которых являются следующие:

1. Взаимоувязанный совместный мониторинг всех базовых информационных ресурсов:

— на масштабных уровнях государственного геологического картографирования: единичные картируемые объекты карт масштаба 1 : 200 000–1 : 1 000 000 — полистные легенды масштаба 1 : 200 000–1 : 1 000 000 — серийные легенды масштаба 1 : 200 000–1 : 1 000 000;

— на уровне сводного и обзорного картографирования: единичные картируемые объекты карт масштаба 1 : 2 500 000–1 : 5 000 000 — легенды карт масштаба 1 : 2 500 000–1 : 5 000 000;

— в рамках «бесшовной» карты территории Российской Федерации и ее континентального шельфа: единичные картируемые объекты карт масштабов 1 : 200 000–1 : 5 000 000 — укрупненные (сводные) легенды по крупным георегионам — сводная легенда по территории России.

2. Формирование запросов, в том числе комбинированных, как к объекту, группам объектов картографирования в целом (свита, толща, комплекс), так и к любой из выделяемых в их составе литологических (петрографических) составляющих, охарактеризованных по общему набору признаков (например, генезис, обстановка формирования и т. д.).

3. Построение любых видов легенд, в том числе зональных, на основании всех признаков, определенных при формализации описаний картируемых подразделений, их вещественного состава и различных типов связей (вмещает, перекрывает согласно/несогласно, принадлежит, прорывает, содержит, частичный/полный эквивалент и т. д.), в пределах одного или нескольких масштабных уровней. Автоматическое построение карт и схем по созданным легендам.

4. Проведение планомерной и целенаправленной разработки единых технологических инструментов для совместного анализа, увязки и обобщения материалов Гостеолкарт и серийных легенд всех масштабных уровней.

Программно-технологическая база ЕГКМ условно может быть разделена на три части: аппаратную часть и базовое программное обеспечение, базу данных, технологии и пользовательские интерфейсы.

1. Аппаратная часть состоит из СХД IBM Storwize-3700, кластера из двух серверов IBM Blade HS22 и двух серверов UTINET (Intel Xeon Gold 6424R, 384 Гб ОЗУ).

В качестве базового программного обеспечения используются операционные системы AltLinux, средство контейнерной виртуализации Docker, СУБД PostgresPro.

Хотя с начала создания системы прошло всего 3 года, уже был выполнен переход с СУБД Oracle на отечественную СУБД Postgres Pro, который можно рассматривать в том числе как успешную проверку разработанных технологических решений на универсальность.

2. БД включает следующие смысловые блоки:

— блок структурированных пространственных и атрибутивных данных содержит геопривязанные объекты загруженных комплектов. Структура этого блока в целом наследует структуру цифровых моделей, данные загружаются и редактируются в виде, соответствующем требованиям ЦМ;

— блок Серийных легенд содержит подразделения серийных легенд и их описания (в т. ч. в формализованном структурированном виде), наборы шкал (стратиграфические, биозональные и т. д. как общие, так и региональные), возрастные срезы со структурно-формационным районированием;

— блок Полистных легенд содержит подразделения полистных легенд и их описания (в т. ч. в формализованном структурированном виде) и выступает связующим звеном между СЛ и картами. Позволяет увязать элементы СЛ с картируемыми объектами;

— блок объяснительных записок содержит объяснительные записки, преобразованные в удобный для отображения формат и размеченные для связи с элементами карты;

— блок словарей содержит словари, используемые для формализации описаний карт, полистных и серийных легенд и, соответственно, для поиска/фильтрации данных;

— блок Электронной базы знаков содержит правила изображения отдельных знаков на карте. Используется при оформлении веб-карты, а также при отрисовке подразделений серийной легенды;

— блок связи с внешними базами данных содержит ссылки на внешние ресурсы. Позволяет увязать элементы ЕГКМ с объектами внешних БД;

— блок технических данных содержит описание цифровой модели в виде списка слоев и списка полей с указанием допустимых значений; необходимую для публикации версию данных на определенный момент времени, преобразованную в формат, оптимальный для изображения веб-карты; политики управления правами доступа; историю изменений и загрузки данных и т. д.

Между блоками геологических данных в базе установлены связи (например, каждый картируемый геологический выдел блока пространственных данных имеет привязку к соответствующему элементу блока полистной легенды, каждый элемент полистной легенды связан с соответствующим элементом блока серийной легенды, каждая объяснительная

записка имеет в разметке ссылку на соответствующий элемент полистной легенды, карты и т. д.).

3. Разработанная технология включает следующие программные модули и интерфейсы:

— модуль администрирования позволяет управлять назначением прав и выполнять обслуживание базы данных;

— модуль загрузки и изменения данных позволяет выполнить первоначальную загрузку подготовленных карт в формате ЦМ в централизованную БД (при этом данные проверяются на предмет соответствия требованиям), выгрузку данных и их редактирование (мониторинг) с последующей повторной загрузкой в БД, а также включает средства управления публикацией. Технически выполнен в виде комплекса из Desktop-приложения (включая модуль валидации данных), запускаемого у оператора на компьютере и веб-сервисов, работающих на стороне сервера;

— модуль Серийных легенд служит для создания, просмотра и редактирования серийных и полистных легенд, разноуровневых таксонов районирования, шкал (стратиграфических, биозональных и т. д.). Представлен в виде веб-приложения;

— модуль отображения карты служит для просмотра загруженных карт, а также для их платформенно независимого редактирования непосредственно в окне браузера. Включает механизмы оформления карты с использованием Эталонной базы условных знаков (далее — ЭБЗ), поиска данных (по текстовым полям и формализованным признакам, в т. ч. с использованием иерархических словарей), печати макетов карт (включая настройку макета печати). Технически выполнен в виде картографического веб-приложения.

Пользовательские интерфейсы разработанной технологии включают интерфейс модуля отображения карты, интерфейс информационной системы серийных легенд и интерфейс внешних связанных БД;

— интерфейс модуля отображения карты (рис. 2).

Главный экран веб-представления состоит из картографического окна, отведен для показа карт и схем блока пространственных данных и элементов зарамочного оформления.

Левая панель содержит каталог отображаемых материалов, карты сгруппированы по типу данных (тип карты, компонент, имя слоя). В верхней части раздела можно выбрать комплекты, которые нужно отобразить (по умолчанию отрисовывается карта/схема на всю территорию РФ). Можно назначать к показу группы листов выбором номенклатур или указанием георегиона. Все компоненты оформляются «на лету» с наследованием свойств из информационного ресурса «Серийные легенды» и с использованием ЭБЗ.

В меню типа карты можно выбрать для отображения элементы зарамочного оформления. Условные обозначения, разрезы, записки открываются в дополнительных внутренних окнах. Информационная система обеспечивает интерактивную связь между элементами в открытых окнах, например, выбрав подразделение на карте, можно сфокусировать соответствующий элемент в легенде, подсветить его представление в разрезе и выделить описание этого подразделения в объяснительной записке (или в обратном направлении) — такая связь работает между всеми окнами.

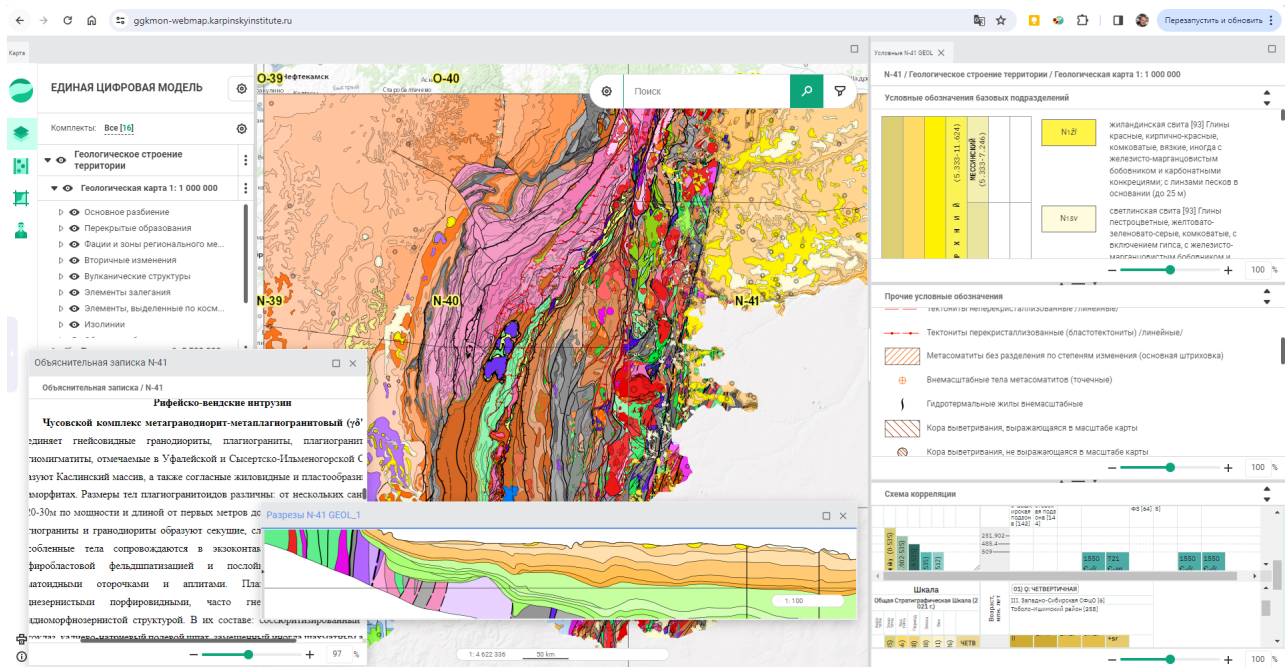


Рис. 2. Интерфейс модуля отображения карты

Fig. 2. Map display module interface

Окно легенды состоит из трех частей: Условные обозначения базовых подразделений, Прочие условные обозначения и Схема корреляции. Условные обозначения строятся автоматически, в зависимости от содержания карты и показываемого фрагмента (лист, группа листов, георегион), по тому же принципу формируется и Схема корреляции.

Для всех элементов веб-представления доступны стандартные функции: приблизить/удалить, показать в масштабе, изменить порядок слоев, прозрачность, открыть таблицу атрибутов, выполнить поиск.

В приложении реализованы функции печати в выбранном масштабе с предварительной настройкой компоновки, можно выбрать какие элементы карты будут выведены на печать и разместить их на печатном листе;

— интерфейс информационного ресурса «Серийные легенды» (рис. 3.) представляет схему корреляции, где «кубиками» (с учетом типа взаимоотношений с выше-нижележащими подразделениями, фаз и фаций) изображены геологические подразделения Блока Серийных легенд, в верхней части экрана приведено районирование в виде иерархических заголовков, в левой — стратиграфические шкалы (предустановлена Общая стратиграфическая шкала). В начале работы пользователь выбирает из соответствующих списков нужную СЛ, возрастные срезы и дополнительные шкалы, оформление производится автоматически, в соответствии с ЭБЗ. Все элементы интерактивны: если щелкнуть по подразделению — отобразится меню с детальным формализованным описанием. Щелкнув по элементу шкалы, можно получить информацию о возрасте.

При наличии соответствующих прав в интерактивном меню доступны функции создания, клонирования, удаления и редактирования (формализованные параметры можно менять, выполнять увязку элементов друг с другом, привязку к шкалам и т. д.).

Следует отметить базовый принцип системы ведения серийных легенд. Подразделение вводится в СЛ (корреляционную схему) только один раз и отображается в виде «кубика», средствами системы кубик размещается в заданном таксоне районирования, в определенных стратиграфических границах (в т. ч. осуществляется его привязка к региональному горизонту), с использованием соответствующих иерархических словарей назначается тип, генезис, вводится авторское и формализованное описание породного состава и т. д. Все остальные представления этого подразделения в различных таксонах структурно-формационного районирования создаются клонированием с последующим уточнением его характеристик и конкретизацией для каждой зоны (стратиграфический объем, породный состав, тип стратиграфических границ, металлогеническая специализация и т. д.). Поскольку подразделения динамически увязаны с региональными горизонтами, то при изменении границы регионального горизонта автоматически пересчитываются стратиграфический объем соответствующего подразделения и его позиция. Система уведомляет об этом автора, который может подтвердить или отклонить предложенные изменения.

Также непосредственно в окне браузера предоставляются широкие функции глобального редактирования конкретной серийной легенды (при

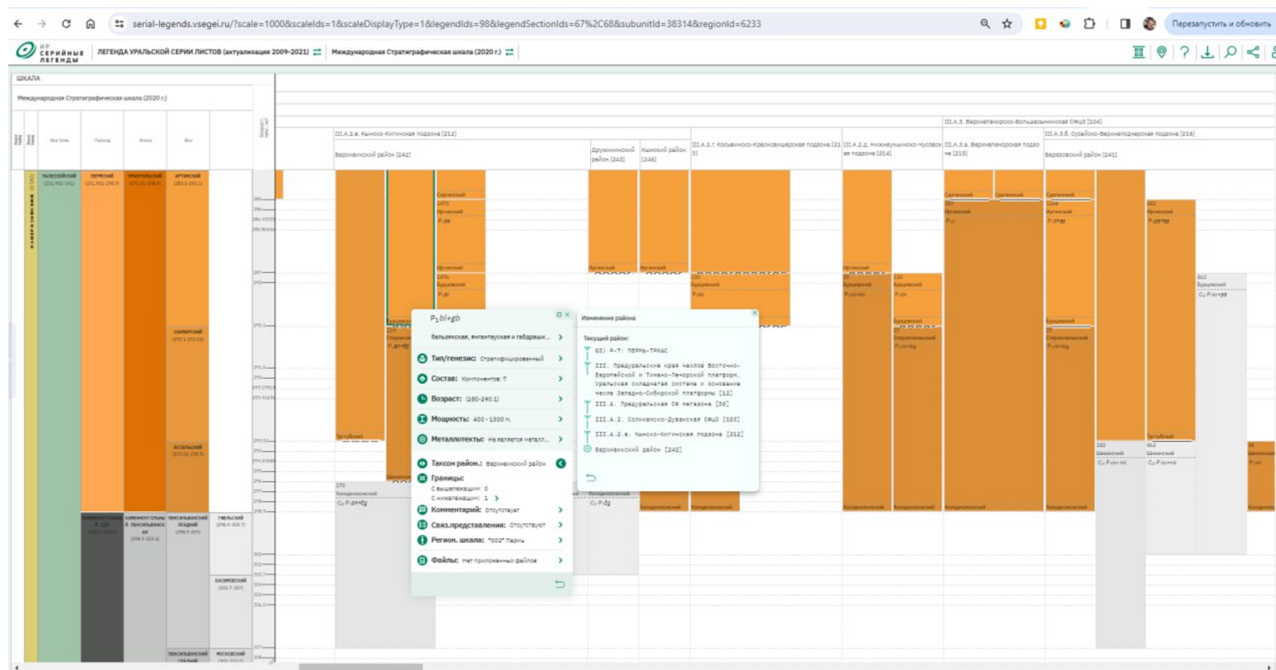


Рис. 3. Интерфейс информационного ресурса «Серийные легенды»

Fig. 3. Interface of the data resource "Serial Legends"

наличии соответствующих прав), можно создавать разноранговые элементы районирования (зона, подзона, район и т. д.), добавлять или объединять возрастные срезы, управлять шкалами и т. д. Кроме того, предусмотрена возможность адаптивной настройки веб-интерфейса под себя.

Полистная легенда создается в дополнительном окне путем клонирования подразделений из серийной с последующим уточнением их характеристик для данного листа. Создать подразделение непосредственно в полистной легенде невозможно (только «перетаскиванием» из СЛ), таким образом обеспечивается преемственность полистной легенды по отношению к серийной.

В серийных легендах также предусмотрено картографическое окно, в котором отображается (подсвечивается) пространственное положение выбранных в корреляционной матрице таксонов районирования на структурно-формационной схеме в соответствующем возрастном срезе.

В интерфейсе предусмотрен вывод на печать в PDF файл корреляционной схемы серийной и полистной легенд, а также создание DBF-таблицы для использования в качестве цифровой легенды при локальной работе;

— интерфейсы внешних связанных ресурсов (рис. 4).

В каталоге доступных материалов также можно выбрать к отображению связанные карты и данные внешних централизованных информационных ресурсов, в том числе Карту фактического материала, Геохронологический атлас-справочник, Перечень стратотипов территории РФ, Перечень петротипов территории РФ, Ресурс полезных ископаемых, Георастры Госгеокарт. Набор доступных ресурсов пополняется по мере необходимости.

Выбранный ресурс подключается в картографическом представлении в виде карты, если щелкнуть по любому ее элементу, отобразится всплывающее окно с краткой информацией и с возможностью открыть детальное описание в связанном ресурсе.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основным результатом разработки стала система для ведения мониторинга государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000. На настоящий момент в Единую геолого-картографическую модель территории России и ее континентального шельфа загружено и переведено в режим мониторинга 19 комплектов Госгеокарты-1000/3, включающих 16 типов карт и схем, более 3,5 млн геологических объектов и 110 000 объектов полезных ископаемых.

Одним из достижений можно считать создание информационного ресурса «Серийные легенды». Уже сейчас он становится не только хранилищем и инструментом мониторинга серийных и полистных легенд, но и достаточно удобной системой для работы со стратиграфическими шкалами. Помимо международной и общих шкал разных лет, в ресурс добавлены 426 региональных и 17 биозональных шкал, а также шкала морских изотопных стадий.

Апробирована технология совместного редактирования картографических материалов и геологических описаний серийных легенд, обеспечена работоспособность связанных централизованных массивов геологических данных и их интеграция в едином пользовательском интерфейсе.

Решена проблема однозначности и актуальности информации — ЕГКМ не допускает возможности

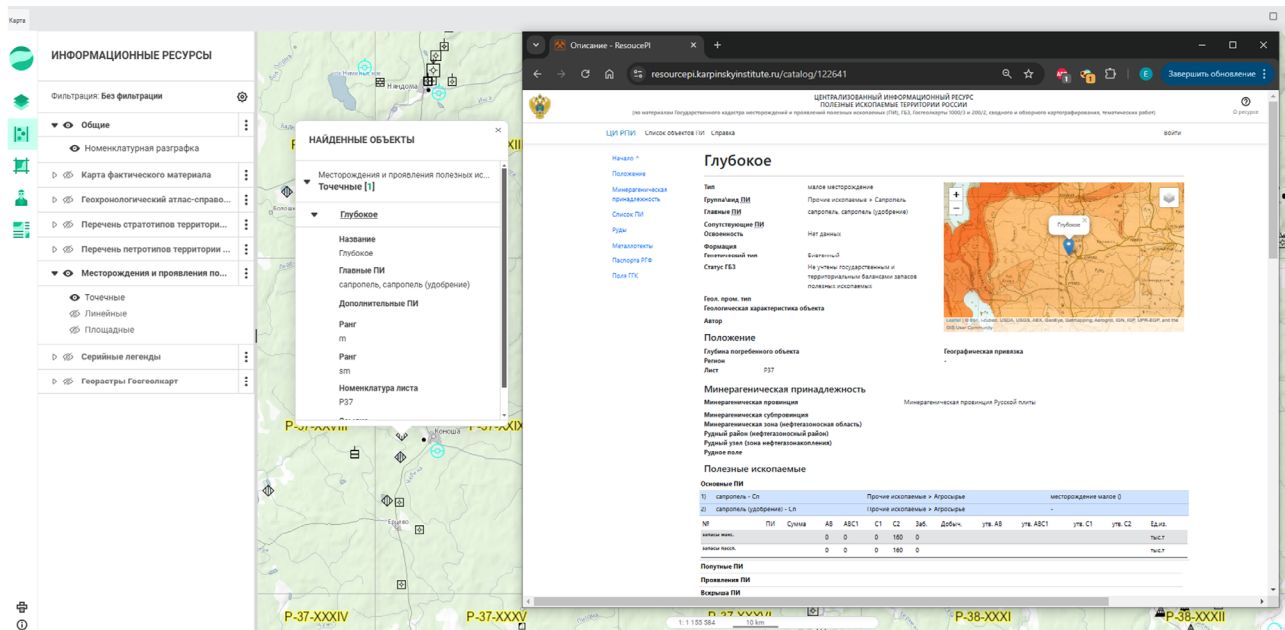


Рис. 4. Внешние связанные БД (на примере ИР «Полезные ископаемые»)

Fig. 4. External associated databases (based on the data resource “Mineral resources”)

одновременного принятия противоречивых данных, например, одного варианта для рассмотрения на Научно-редакционном совете и другого для загрузки в БД. То же для серийных легенд — не может существовать элемент районирования (зона, район) и подразделение (свита, комплекс) в полистной легенде при его отсутствии в серийной.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В 2024 г. завершается первый трехлетний этап работ по созданию Единой геолого-картографической модели. Можно отметить, что текущий уровень технической реализации решает все основные задачи, которые ставились перед системой в целом, — обеспечение возможности мониторинга и веб-представления структурированного массива цифровой геологической информации комплектов государственных геологических карт масштаба 1 : 1 000 000.

Важным достижением этого этапа стало построение технологического процесса перевода цифровой геологической информации из послойного файлового представления Госгеолкарты-1000/3 в структуры базы данных ЕГКМ. Ключевой фактор успеха — использование существующих методологических основ. Вместо попыток коренной перестройки структуры данных при разработке модели были учтены принципы разбиения цифровых материалов комплекта по пакетам и слоям, предусмотренные существующими требованиями к Госгеолкарте. Этот подход минимизировал трудозатраты для исполнителей мониторинга, устранив необходимость значительной переработки исходных данных и разработки дополнительных конверторов. Тщательный предварительный анализ и последовательное совершенствование схемы данных для «унаследованных» структур, а также добавление новых элементов для обеспечения разноуровневой интеграции информации позволили провести трансформацию с минимальными рисками, сохранив преемственность структуры и содержания цифровых материалов Госгеолкарты.

Впервые в единую систему объединены три ключевых компонента Госгеолкарты — картографические материалы и базы данных, легенды серий листов, объяснительные записки. Совместное ведение этих ресурсов позволило устранить многолетнюю проблему несоответствия характеристик геологических подразделений в серийных легендах и легендах карт. Теперь описание картируемого подразделения формируется в серийной легенде как обобщенная сущность, далее клонируется в полистную легенду, где выполняется его уточнение для конкретного листа, при этом сохраняются связь и учет этого подразделения в исходной легенде серии.

Подобный подход внедряется и для элементов районирования. Формируемая в пределах каждого листа схема является фрагментом общей структурно-формационного районирования серийной легенды и ее матричного представления, вне-

сение изменений в один из элементов этой системы автоматически отражается в других.

Также следует отметить внедрение подходов к классификации геологической информации, разработанных в рамках работ по созданию «Концепции полимасштабной модели...». В модели предусматривается их реализация через систему иерархических словарей, применяемых для описания предметной области.

В 2025 г. планируется развитие ЕГКМ для автоматизированной подготовки производных и специализированных карт, в том числе направленных на прогнозирование перспективных участков недр на основе применения пространственно-статистических методов анализа геоданных. Источником для анализа станут стандартизированные по крупным георегионам наборы геологических данных и карты-признаки, определяемые конкретной геолого-генетической моделью и выбранной технологией прогноза. Формирование этих карт будет выполняться непосредственно в ЕГКМ на основе набора критериев, описываемых при помощи иерархических словарей.

Начинаются работы по реализации технологии «полимасштабности», которая уже предусмотрена на модельном уровне и должна охватить весь масштабный ряд государственного геологического картографирования. Соответственно, для интеграции среднemasштабных карт предусматривается дополнение блока серийных легенд и картографического блока тестовыми комплектами Госгеолкарты-200. Существующий пул технических решений будет адаптирован и расширен возможностью проверки, валидации и загрузки цифровых моделей ГК-200, и подготовлена технология, обеспечивающая увязку разномасштабных геологических объектов и их описаний.

Также для обеспечения «полимасштабности» в 2025 г. предусматривается проведение первого этапа работ по созданию механизма автоматизированной генерализации геологических объектов, что позволит формировать геологическую основу для сводного и обзорного масштабного уровня. Одной из ключевых особенностей создаваемой технологии станет «наследование» и учет геологических характеристик местных подразделений, включаемых в укрупненные объекты.

Эта технология обладает рядом преимуществ: во-первых, она обеспечивает объективность и воспроизводимость используемых подходов к генерализации геологической информации, во-вторых, сохраняет авторскую методику интерпретации данных. Кроме того, при таком решении возможен переход на формирование специализированных сводных и обзорных карт (например, тектонической, прогнозно-металлогенетической, карты магматических формаций и т. д.) из единого набора геологических объектов карт более крупных масштабов, что исключит «перерисовку» объектов и обеспечит идентичность геологических границ на всех масштабных уровнях и типах карт.

Отдельно следует отметить работы по автоматизированной подготовке аналоговой версии ком-

плекта. В настоящее время в составе системы реализован базовый функционал аналоговой публикации, обеспечивающий подготовку «упрощенного» макета издательского листа с ограниченным набором фреймов и их жесткой привязкой. В 2025 г. будут созданы элементы макетирования как для отдельных элементов (полотна карты, разрезов, легенды, разномасштабных схем зарамочного оформления), так и «издательского» листа в целом, также планируется реализация аналогового представления для единых карт по группам листов и георегионам с возможностью формирования динамического набора подразделений легенды и корреляционной схемы.

Таким образом, можно констатировать, что впервые в отечественной и мировой практике разработана промышленная технология мониторинга комплексной геологической информации в рамках единой геолого-картографической модели общегосударственного охвата. Векторы ее развития будут определяться приоритетными направлениями региональных работ в соответствии с основными положениями «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года» (утверждена распоряжением Правительством Российской Федерации от 11.07.2024 №1838-р).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Digital geologic map data model Version 4.3 September 27 / B. R. Johnson [et al.]. URL: <https://ngmdb.usgs.gov/www-nadm/prd/Model43a.pdf> (дата обращения: 13.12.2024).
2. U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1334 «NADM Conceptual Model 1.0 Conceptual Model for Geologic Map Information» // By North American Geologic Map Data Model (NADM) Steering Committee Data Model Design Team. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1334/2004-1334.pdf> (дата обращения: 13.12.2024).
3. Appendix A. Philosophical and operational guidelines for developing a North American science language standard for digital geological map databases. Version 1.0 // North American Geologic-Map Data Model Steering Committee Science Language Technical Team (SLTT). URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1451/slitt/appendixA/appendixA.pdf> (дата обращения: 13.12.2024).
4. Appendix B. Classification of metamorphic and other composite genesis rocks, including hydrothermally altered, impact metamorphic, mylonitic and cataclastic rocks. Version 1.0 // North American Geologic-map Data Model Steering Committee Science. Language Technical Team (SLTT) Composite-Genesis Subgroup. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1451/slitt/appendixB/appendixB.pdf> (дата обращения: 13.12.2024).
5. Appendix D. Volcanic materials science language for their naming and characterization digital geological map database // Version 1.0; North American Geologic-map Data Model Steering Committee Science Language Technical Team (SLTT) Volcanic. URL: Subgroup <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1451/slitt/appendixD/appendixD.pdf> (дата обращения: 13.12.2024).
6. Report on Progress to develop a North American Science-Language Standard for Digital Geologic-Map Databases // North American Geologic Map Data Model Steering Committee Science. URL: https://www.researchgate.net/publication/313194559_TECHNICAL_REPORT_North_American_Geologic-Map_Data_Model_Science_Language_Technical_Team_2004_Report_on_progress_to_develop_a_North_American_science-language_standard_for_digital_geologic-map_databases (дата обращения: 13.12.2024).
7. 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 1.7. Редакция 2. СПб. : Картографическая фабрика института им. А. П. Карпинского, 2024. 182 с.
8. Концепция организации и технологического развития мониторинга государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа (2020–2035 гг.). URL: https://karpinskyinstitute.ru/ru/conf/summary/ggk-21/decision/Concept_mon15_06_2021.pdf (дата обращения: 13.12.2024).

REFERENCES

1. Digital geologic map data model Version 4.3 September 27 / B. R. Johnson [et al.]. URL: <https://ngmdb.usgs.gov/www-nadm/prd/Model43a.pdf> (accessed 13.12.2024).
2. U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1334 «NADM Conceptual Model 1.0 Conceptual Model for Geologic Map Information». By North American Geologic Map Data Model (NADM) Steering Committee Data Model Design Team. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1334/2004-1334.pdf> (accessed 13.12.2024).
3. Appendix A. Philosophical and operational guidelines for developing a North American science language standard for digital geological map databases. Version 1.0. *North American Geologic-Map Data Model Steering Committee Science Language Technical Team (SLTT)*. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1451/slitt/appendixA/appendixA.pdf> (accessed 13.12.2024).
4. Appendix B. Classification of metamorphic and other composite genesis rocks, including hydrothermally altered, impact metamorphic, mylonitic and cataclastic rocks. Version 1.0. *North American Geologic-map Data Model Steering Committee Science. Language Technical Team (SLTT) Composite-Genesis Subgroup*. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1451/slitt/appendixB/appendixB.pdf> (accessed 13.12.2024).
5. Appendix D. Volcanic materials science language for their naming and characterization digital geological map database. Version 1.0. North American Geologic-map Data Model Steering Committee Science Language Technical Team (SLTT) Volcanic Subgroup. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1451/slitt/appendixD/appendixD.pdf> (accessed 13.12.2024).
6. Report on Progress to develop a North American Science-Language Standard for Digital Geologic-Map Databases. *North American Geologic Map Data Model Steering Committee Science*. URL: https://www.researchgate.net/publication/313194559_TECHNICAL_REPORT_North_American_Geologic-Map_Data_Model_Science_Language_Technical_Team_2004_Report_on_progress_to_develop_a_North_American_science-language_standard_for_digital_geologic-map_databases (accessed 13.12.2024).
7. Standard requirements for the content, structure, and formats of submitting digital sheets sets of the State Geological Map at scales of 1 : 1,000,000 and 1 : 200,000 to Rosnedra's scholarly editorial council. Version 1.7. Edition 2. St. Petersburg: Karpinsky Institute Cartographic Factory; 2024. 182 p. (In Russ.).
8. Organization and technological development concept of monitoring the State Geological Map of the Russian Federation territory and its continental shelf at a scale of 1 : 1,000,000 (2020–2035). URL: https://karpinskyinstitute.ru/ru/conf/summary/ggk-21/decision/Concept_mon15_06_2021.pdf (accessed 13.12.2024). (In Russ.).

Виктор Викторович Снежко

Кандидат геолого-минералогических наук,
заместитель генерального директора —
директор Центра информационных технологий
по региональной геологии и металлогении

Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код РИНЦ 8343-4328
viktor_snezhko@karpinskyinstitute.ru

Павел Владимирович Химченко

Кандидат технических наук,
генеральный директор

Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код РИНЦ 5717-8897
Pavel_Khimchenko@karpinskyinstitute.ru

Максим Александрович Ткаченко

Кандидат геолого-минералогических наук,
первый заместитель генерального директора

Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-1524-617X>
ResearcherID P-9333-2017
SPIN-код РИНЦ 8128-5490
maksim_tkachenko@karpinskyinstitute.ru

Ольга Николаевна Снежко

Кандидат геолого-минералогических наук,
и. о. заведующего отделом отраслевых
информационных систем и банков данных,
Центр информационных технологий
по региональной геологии и металлогении

Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код РИНЦ 6164-9800
olga_snezhko@karpinskyinstitute.ru

Евгений Александрович Коваленко

Начальник отдела программно-технологического обеспечения,
Центр информационных технологий
по региональной геологии и металлогении

Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

kiji@karpinskyinstitute.ru

Viktor V. Snezhko

PhD (Geology and Mineralogy),
Deputy Director General — Head, Centre of Informational
Technologies on Regional Geology and Metallogeny

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

RSCI SPIN-code 8343-4328
viktor_snezhko@karpinskyinstitute.ru

Pavel V. Khimchenko

PhD (Engineering),
Director General

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

RSCI SPIN-code 5717-8897
Pavel_Khimchenko@karpinskyinstitute.ru

Maksim A. Tkachenko

PhD (Geology and Mineralogy),
First Deputy Director General

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-1524-617X>
ResearcherID P-9333-2017
RSCI SPIN-code 8128-5490
maksim_tkachenko@karpinskyinstitute.ru

Olga N. Snezhko

PhD (Geology and Mineralogy),
Acting Head, Department of Branch Information
Systems and Data Banks, Centre of Informational
Technologies on Regional Geology and Metallogeny

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

RSCI SPIN-code 6164-9800
olga_snezhko@karpinskyinstitute.ru

Evgeniy A. Kovalenko

Head, Department of Software and Hardware Support,
Centre of Informational Technologies
on Regional Geology and Metallogeny

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

kiji@karpinskyinstitute.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 13.12.2024
Одобрена после рецензирования 25.12.2024
Принята к публикации 28.12.2024

Submitted 13.12.2024
Approved after reviewing 25.12.2024
Accepted for publication 28.12.2024