

УДК 004.9:553(083.8)(100)

**А.В. Ткачев, С.В. Булов, Д.В. Рундквист, С.А. Похно, Н.А. Вишневская,
Р.А. Никонов**

ВЕБ-ГИС «КРУПНЕЙШИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИРА»

Самым современным мировым трендом в области представления пространственной геологической информации о месторождениях полезных ископаемых широкому кругу пользователей для различных целей (информационных, аналитических, административно-распорядительных) является создание на основе такого рода данных ГИС-проекта и представление его для заинтересованных лиц в виде многофункциональной среды, реализованной как веб-приложение (<http://en.gtk.fi/information-services/databases/fodd/>, <http://promine.gtk.fi>, <http://www.australianminesatlas.gov.au/> и др.). Следует сразу отметить, что зарубежные источники, большинство которых связаны с государственными геологическими службами, предоставляют таким образом доступ к продуктам, основанным, преимущественно, на оригинальных компиляциях данных и, как правило, имеющих региональный охват.

Только сайт Геологической службы США <http://mrdata.usgs.gov> содержит также и глобальные выборки по ряду важнейших (хотя и не всех) типов месторождений. Однако именно эту веб-ГИС приходится отметить как не очень удачную из-за того, что для объектов за пределами Североамериканского континента имеются многочисленные ошибки в координатах и геологической информации, а также отсутствия там целого ряда крупных, не говоря уже о многих менее значительных, объектов. Причем, актуализация баз данных месторождений, лежащих в основе ГИС, со времени публикации сервисов (5 и более лет) не проводилась.

Ряд российских академических организаций, участвующих в исследованиях в области наук о Земле, также предоставляют доступ к информации о месторождениях полезных ископаемых в режиме он-лайн. Наиболее существенно в этом направлении продвинулись создатели портала на сайте Геофизического центра РАН (<http://gis.gcras.ru/>). Он содержит картографические веб-сервисы с их описаниями как для месторождений мира, так и для России. Разработчики этих сервисов использовали современные программные средства компании ESRI. Очевидным недостатком, который определяется тем, что выборки данных, лежащие в их основе, не являются продуктом работ ГЦ РАН, а были взяты несколько



© Коллектив авторов

лет назад из других источников и адаптированы для визуализации в браузере. Поэтому исходные данные, изначально сами по себе скромные как по перечню описанных характеристик у месторождений, так и детальности этих описаний, уже давно не обновляются и к настоящему времени заметно потеряли в актуальности.

В России в последние годы созданы и успешно используется ряд представительных функциональных информационных систем для решения, в первую очередь, прикладных задач: планирования и контроля геолого-съемочных, геологоразведочных и природоохранных работ, балансового и кадастрового учета месторождений полезных ископаемых и т.п. В ряду таких реализованных проектов особого упоминания заслуживают информационные интерактивные продукты, разработанные организациями Роснедра (ВНИИгеосистем, ВСЕГЕИ, ИАЦ «Минерал», ФГУНПП «Аэрогеология»): «Информационная система обеспечения работ по геологическому изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы», сокращенно – СОБР (<https://sobr.geosys.ru/>), «Геолого-картографический ресурс по региональной геологии» (<http://www.vsegei.com/ru/info/georesource/>), «Интерактивная электронная карта недропользования Российской Федерации» (<https://openmap.mineral.ru/>), «Интерактивная электронная карта геологического строения и полезных ископаемых мира» (<https://world-map.mineral.ru/>). Технологически эти системы строятся как веб-приложения на основе сервис-ориентированных технологий, т.е. на тех же базовых принципах, что и информационная система, описываемая в данной статье. При этом существуют заметные отличия, которые вытекают из того, что перечисленные выше системы предметно ориентированы на решение не научных, производственных задач организаций, подведомственных Роснедра. Касаясь только тех их разделов, которые оперируют данными по месторождениям, следует отметить, что обсуждаемые системы: а) делают упор при представлении данных на ресурсный и иногда природоохранный аспекты, б) за исключением последнего в перечислении ресурса, охватывают только территорию России, в) содержат большой объем данных с ограничением доступа, г) описания

месторождений в металлогеническом аспекте очень неполные.

Информационная система, которой посвящена данная статья, имея с перечисленными выше продуктами существенные элементы сходства в технологических подходах, заметно от них отличается более разносторонним описанием месторождений и набором встроенных инструментов, предметно ориентированных на решение задач именно металлогенического анализа в масштабе всего мира и крупных регионов.

Основы созданной авторами ГИС были заложены полтора десятилетия назад, когда в Государственном геологическом музее им. В.И. Вернадского РАН (ГГМ РАН) начала формироваться база данных «Крупные и суперкрупные» месторождения мира» (БД КСКМ), в первую очередь для создания информационной основы Международной металлогенической карты крупных и суперкрупных месторождений мира масштаба 1:25 000 000 [4, 14]. Пользовательский интерфейс БД КСКМ был разработан в среде Borland Delphi 5 с использованием СУБД Firebird/Interbase, бесплатно распространяемой в рамках InterBase Public License v.1.0. Принципиальная схема функционирования информационной системы (ИС), использовавшейся при работе с базой данных в тот период, представлена на рис. 1. Эта ИС стала основой геоинформационного продукта, выпущенного на электронном носителе CD-ROM, на котором в картографическом и текстовом виде представлена значительная часть первичной информации, содержащейся на тот момент в БД КСКМ по 1243 месторождениям 33 видов важнейших (кроме горючих) полезных ископаемых, а также помещены некоторые результаты ее обработки в виде таблиц и диаграмм [15, 16].

При наличии у данного продукта определенных достоинств (уникальность собранного массива данных, ориентированные на глобальный анализ оригинальные генерализованные классификации,

зафиксированные в легендах проекта, возможности поиска и селекции объектов на фоне различных геологических и географических картографических слоев, представление всей информации на английском языке), в нем имелись и явные недостатки, в первую очередь – невозможность обновления данных и отсутствие инструментов автоматической трансформации слоев в форматы, совместимые с современными геоинформационными системами, оснащенными иными средствами анализа данных. Это существенно снижало эффективность использования продукта. Для широкого круга пользователей он в основном выполнял функцию справочника по месторождениям, а не эффективного инструмента металлогенического анализа, который в него потенциально заложен в виде массива хорошо структурированных и привязанных в пространстве и времени данных. Об этом можно судить хотя бы по тому, что некоторые части этого массива были использованы создателями проекта в своих исследованиях, нашедших отражение в ряде публикаций, в т.ч. монографических [2, 3, 4, 5, 8, 10, 11 и др.].

Для увеличения возможностей и повышения эффективности использования этого постоянно наращиваемого и редактируемого авторами информационного массива как можно более широким кругом специалистов было решено создать новую версию ИС, работающую через Интернет и включающую в себя инструменты визуализации, поиска и селекции, возможность подключения входящих в нее информационных слоев в ГИС-проекты на локальном компьютере, а также, в случае особой необходимости, экстракции на него выбранных данных. В соответствии с этим к ИС нового поколения были сформулированы следующие требования:

- а) наличие свободного доступа через сеть Интернет;
- б) максимально возможная простота и удобство для внешних пользователей, благодаря



Рис. 1. Схема операционного взаимодействия в версии ИС, которая предшествовала описанной в данной статье. Стрелки: синие – автоматическое взаимодействие программных компонентов, красные – ручные преобразования, выполняемые оператором, зеленые – работа с ИС внешних пользователей

- использованию современного наглядного интерактивного интерфейса;
- в) обеспечение информационной безопасности ИС: аутентификации и разделения ролей пользователей;
 - г) обеспечение полноты и актуальности предоставляемой информации через пополнение базы новыми объектами и проведение регулярного мониторинга изменений для объектов, внесенных в БД КСКМ ранее, а также обеспечение удобства этих процедур для персонала, обслуживающего ИС;
 - д) расширение круга потенциальных пользователей продукта через предоставление возможности работы с системой для русскоязычных специалистов, не владеющих в достаточной мере английским языком.

Для решения основной части проблем, возникших при такой постановке задач, в новую версию ИС добавлено два компонента: ГИС-сервер и интерактивная карта (рис. 2), что позволило рациональными по объему трудозатратами добиться выполнения поставленных задач с существенным увеличением функциональных возможностей продукта.

По итогам сравнения различных вариантов реализации интерактивного веб-доступа к информации, сходной по тематике с БД КСКМ, было решено создать ИС, состоящую из двух типов ресурсов:

- а) картографические веб-сервисы (по стандартам OGC, ESRI);
- б) интерактивные карты – веб-приложения с инструментами оперирования данными и их анализа.

Картографические веб-сервисы

Продукты ArcGIS компании ESRI, являющиеся наиболее распространенными программными комплексами среди пользователей геоинформационных систем, включают среди прочего два инструмента

для обмена информацией с другими пользователями посредством веб-сервисов: ArcGIS Online и ArcGIS for Server.

ArcGIS Online (<http://www.arcgis.com>) – веб-портал, дающий возможность загружать карты на серверы компании ESRI и обеспечивать быстрый доступ к ним как к веб-сервисам.

ArcGIS for Server (<http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisserver>) – программный комплекс, использование которого делает географическую информацию доступной для множества пользователей. Это достигается благодаря использованию веб-сервисов, позволяющих серверу получать и обрабатывать запросы, отправляемые другими устройствами. ArcGIS for Server делает ГИС доступной для рабочих станций, ноутбуков, планшетов, смартфонов и других устройств, способных подключиться к веб-сервисам. Последние могут обрабатывать запросы по целому ряду протоколов: GeoServices REST (основной, всегда включен), WCS (Web Coverage Service), WMS (Web Map Service), KML (Keyhole Markup Language), WFS (Web Feature Service), WFS-T (Web Feature Service with Transaction). Взаимодействие с сервисами осуществимо как с помощью приложений ArcGIS, таких как ArcMap и ArcGlobe, так и с помощью обычного браузера или пользовательского приложения.

Авторами в качестве основного инструмента был выбран ArcGIS for Server, как более мощный и полифункциональный. ArcGIS Online также задействован для выполнения рабочих задач в случаях, когда он дает более простые и относительно быстрые их решения. С помощью этих инструментов опубликованы веб-сервисы, все информационные слои для которых подготовлены в географической системе координат WGS_1984 (система координат: GCS_WGS_1984, датум: D_WGS_1984, сфероид: WGS_1984). В перечень используемых тематических сервисов новой версии ИС включены как авторские,

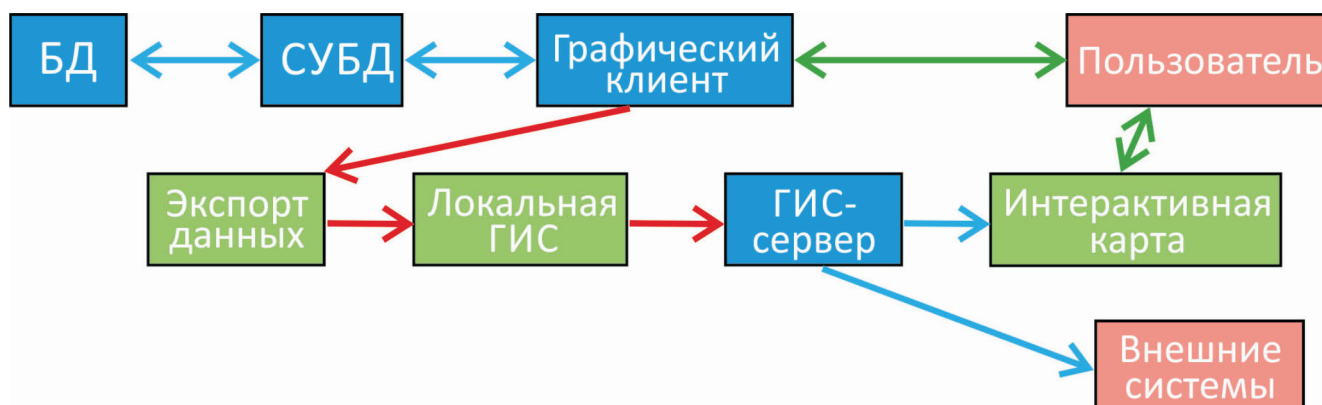


Рис. 2. Схема операционного взаимодействия в версии ИС, описанной в данной статье (условные обозначения см. рис. 1)

так и сторонние сервисы из общедоступных источников. К числу первых относятся следующие два, находящиеся в открытом доступе по адресу <http://gis.sgm.ru/arcgis/rest/services/Public> (здесь и далее приведены ссылки для доступа к сервисам по протоколу GeoServices REST, если не указано иное).

1. *Крупнейшие месторождения мира / World's largest mineral deposits* – основной операционный сервис, представляющий наиболее полную на текущий момент базу по крупнейшим месторождениям мира (1643 объекта на время написания статьи) и содержащий разноплановую информацию: а) местонахождение – страна, провинция, координаты в десятичном формате; б) виды сырья в объекте и их значимость в нем; в) масштаб суммарных ресурсов для основных полезных ископаемых с учетом прошлой добычи (крупные или суперкрупные); г) металлогенический тип и генезис; д) возраст рудогенеза с привязкой к таксонам действующей Международной стратиграфической шкалы и кластерам геологического времени протяженностью в 25 млн лет; е) минералогия руд; ж) вмещающие породы; з) эксплуатационный статус (отрабатывается, разведано, предварительно оценено и т.п.); и) все объекты индексируются по их принадлежности к укрупненным группам металлогенических типов, родственных по генетическим моделям (гранитогенные, терригенно-осадочные, осадочно-эпигенетические в карбонатных толщах и т.д.), классам полезных ископаемых (черные металлы, благородные металлы и т.д.), принадлежности к геоисторическому металлогеническому циклу.

Все это позволяет оперировать данными в указанном спектре, делая различные выборки по запросам пользователя. Охват территории – весь мир. Доступны русскоязычная (http://gis.sgm.ru/arcgis/rest/services/Public/LMDW_SGM_01_RUS/MapServer) и англоязычная (http://gis.sgm.ru/arcgis/rest/services/Public/LMDW_SGM_01_ENG/MapServer) версии веб-сервиса. Русскоязычная версия отличается только отсутствием кратких текстовых описаний морфологических особенностей месторождений и их приуроченности к структурам разного масштаба, от регионального до локального, которые имеются в англоязычном аналоге.

2. *Тектоническая карта / Tectonic map* – тематический слой-подложка, содержащий сведения о размещении площадных и линейных тектонических объектов (раннедокембрийские щиты и срединные массивы, неопротерозойско-фанерозойские складчатые комплексы, платформенные чехлы, рифты и авлокогены, разломы и т.д.) с привязанной к ним атрибутивной информацией о типе структуры и ее возрасте. Базовый масштаб данного сервиса:

1:25 000 000, охват территории – весь мир, создано – в ГГМ РАН. Имеются две версии, отличающиеся только языком атрибутивной информации: русскоязычная – http://gis.sgm.ru/arcgis/rest/services/Public/TecMapW_25mln_SGM_2013_RUS/MapServer и англоязычная – http://gis.sgm.ru/arcgis/rest/services/Public/TecMapW_25mln_SGM_2013_ENG/MapServer.

В качестве базовых слоев использованы сторонние картографические сервисы:

- 1) базовая топографическая карта ESRI – Topo (http://services.arcgisonline.com/arcgis/rest/services/World_Topo_Map/MapServer). Слой создан и поддерживается компанией ESRI.
- 2) топографическая карта проекта OSM (Open Street map) – OSM (<http://www.arcgis.com/home/item.html?id=fcb59f4291c9464d8291bf2e32acd89b> – адрес описания сервиса на портале «ArcGIS Online»);
- 3) слой космоснимков ESRI – Imagery (http://services.arcgisonline.com/arcgis/rest/services/World_Imagery/MapServer). Слой создан и поддерживается компанией ESRI.

Авторские сервисы создавались сначала как ГИС-проекты в клиентском приложении ArcMap ArcGIS for Desktop с учетом дополнительных требований, налагаемых на такие продукты в случае их публикации на ГИС-сервере. На ГИС-сервере ArcGIS for Server они были опубликованы с помощью того же клиентского приложения. Процесс публикации инициируется в нем специальной опцией меню. После обязательного анализа ГИС-сервером загружаемой карты на соответствие требований к публикации и в случае необходимости исправления выявленных несоответствий осуществляется собственно процедура публикации карты, в рамках которой указывается сервер размещения, папка, название сервиса и все параметры публикации.

Помимо ArcMap ArcGIS for Desktop, публикация также реализуема с помощью ArcCatalog ArcGIS for Desktop или ArcGIS Server Manager (веб-приложение для администрирования ArcGIS for Server, входящее в его состав и доступное сразу после его установки). Последовательность действий в этих вариантах аналогична.

Накопленный опыт работы с картографическими веб-сервисами дает основания авторам формулировать несколько рекомендаций для тех, у кого еще возникнет необходимость использовать этот же инструментарий для публикации своих проектов с открытым для внешних пользователей доступом: а) для кириллического текста в атрибутивных таблицах предпочтительна кодировка UTF-8; б) только простые графические символы применимы в условных

обозначениях; в) нельзя использовать опцию «Определяющий запрос» для отображения слоя; г) все данные должны быть спроецированы в одну систему координат для экономии ресурсов сервера.

Использование веб-сервисов

С опубликованными веб-сервисами можно оперировать непосредственно в интернет-браузере, набрав в нем соответствующий адрес. На главной странице веб-сервиса размещены все его метаданные. Через ссылку «ArcGIS JavaScript» в опции «View in» можно перейти к просмотру основного содержания сервиса с помощью встроенных средств, очень простых по функциональности. Имеются также возможности для просмотра легенды, структуры атрибутивной таблицы и перечня доступных для сервиса действий, а также выполнения запросов по таблицам. Тем не менее, работать с веб-сервисами непосредственно в браузере неудобно, так как их главное предназначение – быть конструктивными элементами, из которых собираются поликомпонентные информационные системы. В частности, веб-сервисы можно подключать в такие системы через настольные ГИС-редакторы (например, ArcGIS for Desktop), задействовать в онлайн картах, создаваемых пользователями с помощью ресурса ArcGIS Online, и использовать в любых других приложениях, поддерживающих возможность работы с картографическими веб-сервисами (по протоколам GeoServices REST, WMS, KML), – как уже имеющихся у пользователя, так и создаваемых им с нуля. В случае ArcGIS for Desktop, при соответствующей настройке картографического веб-сервиса, слоем можно оперировать практически так же, как и слоем, подключенным из других источников: шейп-файлов, баз геоданных и т.п.

Картографическое веб-приложение в виде интерактивной веб-карты

«Крупнейшие месторождения мира / World's largest mineral deposits»

Программные продукты ESRI дают возможность реализации разных вариантов создания веб-приложений.

Первый вариант – интеллектуальные веб-карты. Например, веб-карты, сохраненные в ArcGIS Online, универсальны: можно работать с ними напрямую или встраивать их в авторские приложения, создаваемые с помощью веб-интерфейсов, API и программ для просмотра карт. Близкое по функциональности веб-приложение ArcGIS Explorer Online позволяет создавать, кроме перечисленного, географические презентации. В случае если у пользователя нет подключения к Интернету или

предпочтительным является использование собственного репозитория веб-карт и приложений, целесообразно использовать Portal for ArcGIS. Инсталлируется он локально, но предоставляет те же функции картопостроения, совместного использования и поиска, что и ArcGIS Online.

Второй вариант – конфигурируемые веб-приложения (конструкторы). ArcGIS Viewer for Flex, ArcGIS Viewer for JavaScript и ArcGIS Viewer for Silverlight – готовые к развертыванию настраиваемые веб-приложения, разработанные для пользователей без опыта в программировании. Указанные программы-конструкторы разработаны так, что не требуется писать программный код Flex, JavaScript или Silverlight – все необходимые операции выполняются в визуальном редакторе. Программы хорошо документированы, а опытные разработчики способны расширить их функциональность с помощью API (Application Program Interface – интерфейс программирования приложений) ArcGIS. В рамках программ-конструкторов с помощью API достаточно просто создаются картографические веб-приложения на основе многослойных веб-карт, опубликованных на ArcGIS Online или на стороннем (в том числе собственном) ГИС-сервере. Можно встраивать как всю многослойную карту сразу, так и отдельные веб-сервисы, из которых она сконструирована.

Третий вариант – использование непосредственно API для создания веб-приложений, таких, как ArcGIS API for JavaScript, ArcGIS API for Flex и ArcGIS API for Silverlight. Они применимы для постройки веб-приложений с нуля и предоставляют необходимые функции ГИС. Причем разработаны интерфейсы таким образом, чтобы их могли использовать даже начинающие программисты. С помощью веб-API можно ссылаться на интеллектуальные веб-карты, сохраненные в ArcGIS Online или на собственном портале Portal for ArcGIS, что позволяет самостоятельно создавать карты в удобной среде ArcGIS.com без написания кода. Удобно использовать интерфейсы API для пошагового создания карты на основе разных ГИС-сервисов, добавляя их в ответ на определенные события.

Авторами был выбран второй из перечисленных вариантов – использование конфигурируемого веб-приложения, так как первый вариант не в полной мере мог обеспечить требований нашего проекта по функциональности, а третий – значительно более трудозатратен для решения задач данного проекта.

API различных программ-конструкторов функционально очень похожи, поэтому при выборе между ними основное значение придавалось другим аспектам. Вариант ArcGIS Viewer for Silverlight был отклонен, так как требует серверного ПО

от компании Microsoft, что, в свою очередь, влечет дополнительные финансовые затраты. В ArcGIS Viewer for JavaScript на момент принятия решения (конец 2013 года) не были реализованы все необходимые функции. Кроме того, он был недостаточно протестирован, так как его первое обнародование произошло за полгода до этого. Конструктор веб-приложений ArcGIS Viewer for Flex не имеет перечисленных у объектов сравнения недостатков. Являясь клиентским приложением для ArcGIS Server, этот визуальный редактор типа WYSIWYG (what-you-see-is-what-you-get) обеспечивает легкое и эффективное создание и редактирование картографических веб-приложений на основе ArcGIS API for Flex. Создаваемые веб-приложения достаточно просто настраиваются и расширяются с помощью виджетов – элементов графического интерфейса, имеющих стандартный внешний вид и выполняющих стандартные действия. Множество виджетов входит в комплект поставки, также можно использовать виджеты, созданные другими разработчиками, или разрабатывать собственные с использованием ArcGIS API for Flex.

Итоговые проектные решения

Задачи, возникшие из-за необходимости создания новой версии ИС, которая удовлетворяла бы указанным выше требованиям, в итоге получили следующие решения.

Наглядность и удобство достигнуто за счет реализации интерактивной карты в виде веб-приложения с помощью инструмента ArcGIS Viewer for Flex, который базируется на технологии Adobe Flex. Доступность для максимально широкого круга пользователей обеспечена в результате соблюдения стандартов создания, хранения, визуализации, описания и представления данных в ГИС-системах OGC, ISO, ГОСТ. Безопасность от несанкционированного редактирования обеспечивается за счет встроенных средств разграничения прав доступа пользователей в ArcGIS for Server. Актуализация информации и удобство ее осуществления для обеспечивающего персонала реализуется через специально разработанную малозатратную методику периодического обновления данных.

Архитектура созданной ИС представлена на схеме (рис. 3).

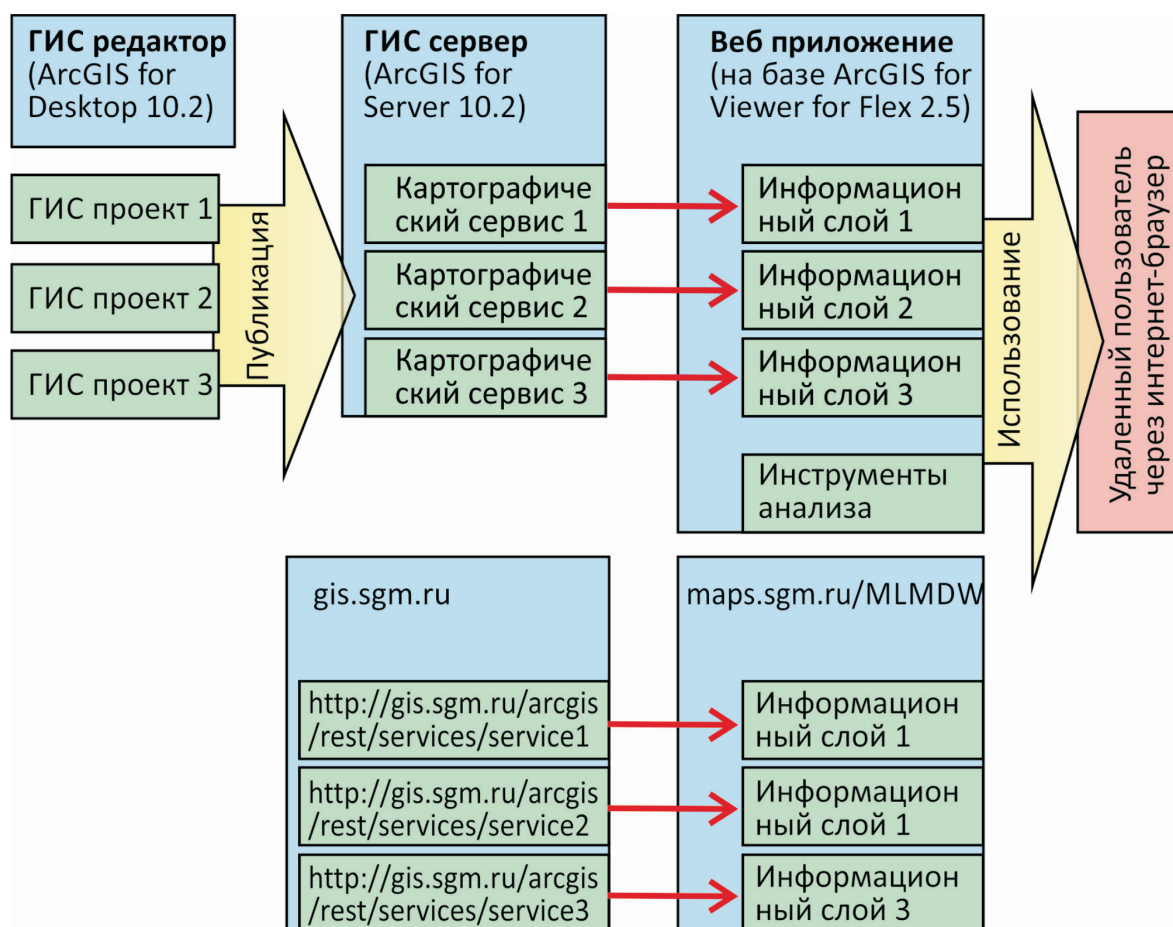


Рис. 3. Архитектура описываемой версии ИС. Красные стрелки – программный вызов через протокол GeoServices REST

В ИС использованы следующие программные продукты: ArcGIS for Desktop 10.2 – для создания, редактирования и публикации ГИС-проектов на сервере; ArcGIS for Server 10.1 Enterprise Standard – для обеспечения работы картографических сервисов; ArcGIS Viewer for Flex 2.5 – для создания итогового веб-приложения.

В качестве ОС на сервере, где развернуты компоненты ИС, используется Linux CentOS 6.4. Последняя версия Adobe AIR под Linux имеет номер 2.5. Поэтому самая последняя версия ArcGIS Viewer for Flex, которую можно применять, это версия под номером 2.5.

Для работы с веб-приложением требуется браузер с установленным Adobe Flash Player версии не ниже 10.0.

Структура картографического веб-приложения «World's largest mineral deposits» / «Крупнейшие месторождения мира»

Используя описываемое веб-приложение, любой удаленный пользователь через сеть Интернет может просматривать тематические слои, выполнять анализ и применять при необходимости другие инструменты. Размещено оно по двум адресам: англоязычный вариант – <http://maps.sgm.ru/MLMDW>,

русскоязычный – <http://maps.sgm.ru/KKMM>. Варианты идентичны по функциональным возможностям, поэтому приведенное ниже описание англоязычного варианта в этом аспекте в полной мере применимо и для его русскоязычного аналога.

В верхней части веб-карты находится область с рядом виджетов – визуальных инструментов (рис. 4). В правой верхней части расположены инструменты, позволяющие настраивать отображение информационных слоев и переключать базовую карту. В левой верхней части основного рабочего поля веб-карты размещен инструмент навигации, а в левой нижней – масштабная линейка и координаты точки под курсором мыши. В управлении активно используется манипулятор-мышь: вращение колеса увеличивает или уменьшает масштаб карты, а с помощью левой клавиши можно перемещать карту и выводить информационное окно с описанием объекта под курсором.

На данный момент веб-карта обеспечивает для пользователя следующий набор функций:

1. Навигация и масштабирование (рис. 4).
2. Отключение/подключение и настройка отображения информационных слоев посредством кнопок «Toro», «OSM», «Imagery» и «More...». Первые три предназначены для базовых слоев

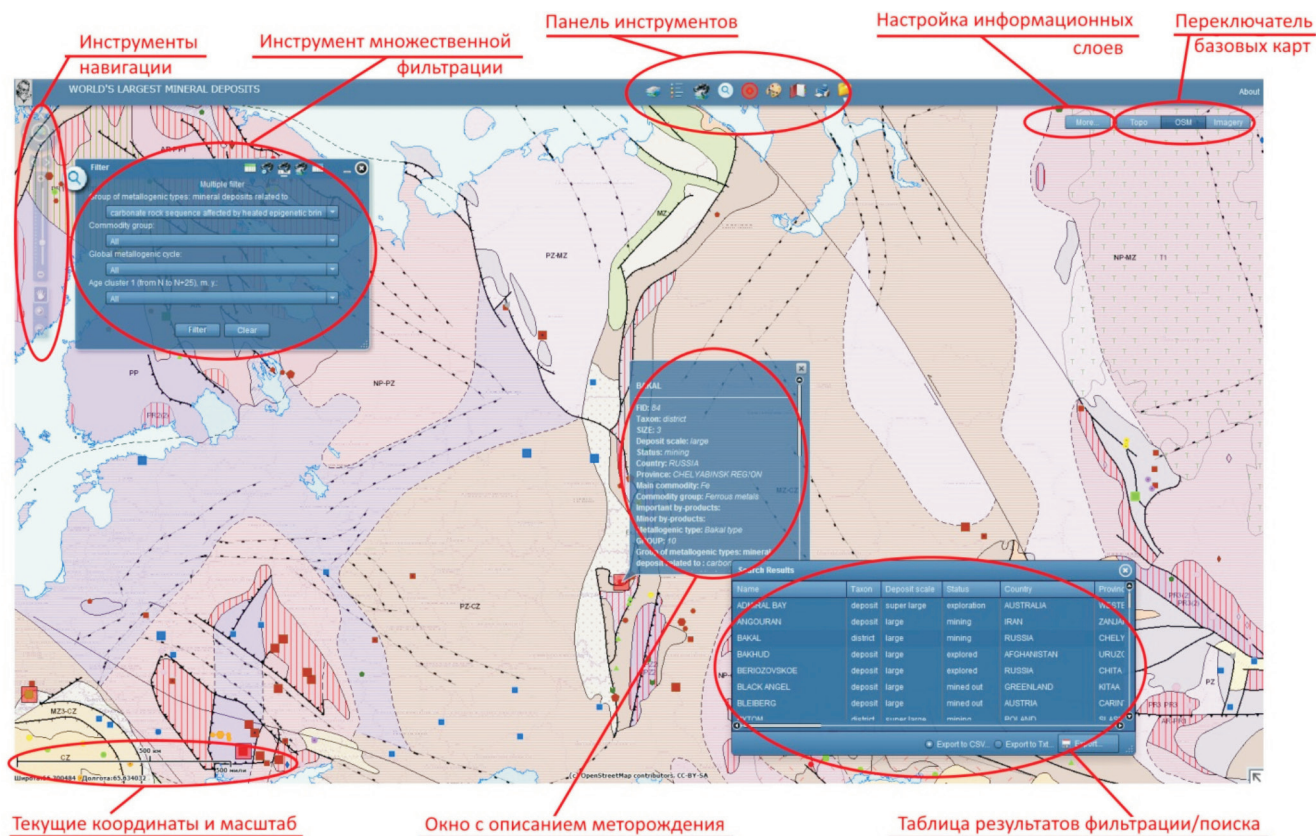


Рис. 4. Общий вид веб-приложения «World's large mineral deposits». Описания выделенных овалами элементов интерфейса см. в тексте

производства ESRI и OSM, а последняя – для информационных покрытий, созданных авторами проекта и определяющих тематическую направленность всего веб-ресурса.

3. Управление информационными слоями – «Layers». Инструмент функционально идентичен предыдущему инструменту, но с одним преимуществом – его можно в случае необходимости держать открытым в нужном месте экрана.

4. Просмотр сводной легенды – «Legend»: можно найти все обозначения, использованные на всех информационных слоях, отображенных в данный момент.

5. Поиск в слое месторождений по полю «Name». Реализован через виджет с иконкой в виде бинокля. Дает возможность поиска даже по части (любой) названия месторождения. Все объекты, отвечающие условиям поиска, подсвечиваются на карте специальным знаком, а данные по ним сводятся в специальную таблицу («Search results»). В таблице с результатами поиска можно легко менять порядок следования и сортировки столбцов. При выборе объекта в таблице происходит как приближение к нему, так и визуализация всех его атрибутов в информационном окне, появляющемся рядом. Результаты поиска можно сохранить с помощью кнопки «Export» внизу окна таблицы в текстовом или CSV форматах.

6. Множественная фильтрация по следующим атрибутам:

- главное сырье (Main commodity);
- важное попутное сырье (Important by-products);
- Сырьевая группа полезных ископаемых (Commodity group);
- металлогеническая группа (Group of metallogenic types);
- глобальный металлогенический цикл (Global metallogenic cycle);
- временной диапазон: от кластера с минимальными для запрашиваемого для диапазона возрастными (Min age cluster) до максимального в нем временного кластера (Max age cluster); здесь следует знать, что кластеры имеют размер 25 млн лет (например, значение 275 означает, что в него попадут все месторождения с возрастом в интервале от 275 до 250 млн лет).

Для реализации множественной фильтрации используется виджет в виде лупы, открывающий окно «Filter» с набором выпадающих списков, соответствующих значениям вышеперечисленных атрибутов месторождений. После выбора их значений, необходимых пользователю, генерируется таблица с перечнем объектов, отвечающих заданным критериям. Все они подсвечиваются красными квадратами на карте. С таблицей возможны те же

манипуляции, что описаны в поиске месторождений по полю «Name».

7. Добавление (рисование) простейших объектов на карте – «Drawing». Любой визуализированный на мониторе фрагмент карты с элементами, нарисованными с использованием этого инструмента, может быть распечатан или сохранен на компьютере пользователя как растровый графический объект.

8. Управление закладками. С помощью инструмента «Bookmarks» можно запоминать текущие параметры отображения карты (координаты видимой части карты), чтобы потом к ним возвращаться.

9. Печать выведенного на монитор участка карты реализуется через стандартную и не требующую комментария процедуру.

10. Ознакомление с используемыми в проекте тематическими легендами и шкалами. Функция реализуется через виджет «Documentation» («Документация») в виде открывающейся папки. Имеется доступ к легендам типов месторождений и сырьевых групп полезных ископаемых, шкалам крупности месторождений, металлогенических циклов и стратиграфического деления геологической истории Земли. В качестве примера на рис. 5 приведена легенда для металлогенической классификации месторождений с уровнем генерализации таксонов, отвечающим задачам проекта.

11. Просмотр и изменение положения окна визуализации на фоне контурной карты мира. Функция доступна при использовании виджета в виде стрелки в правом нижнем углу экрана монитора.

Возможность редактирования карты сторонними пользователями непосредственно через веб-доступ на данном этапе не настроена, но при появлении в этом необходимости будет реализована через разграничение ролей пользователей.

Механизм обновления информации в созданных сервисах и приложениях

На рассматриваемом этапе технологического развития ИС разработана методика, обеспечивающая пока еще не автоматическое, но малозатратное решение задачи обновления картографического веб-приложения. Разработка осуществлена в процессе создания начальной версии веб-приложения и нескольких итераций ее обновления и расширения функциональных возможностей.

Последовательность действий, использованная при создании проекта:

1. Обработка данных из БД КСКМ: а) выгрузка из БД КСКМ в формате dbf и преобразование в электронную таблицу (xls); б) модификация структуры данных под функции, которые дополнительно запланированы для реализации на интерактивной

карте; в) разработка легенд и классификаторов условных обозначений (например, рис. 5); г) русификация информационных полей.

2. Создание информационных слоёв (русскоязычного и англоязычного) в ГИС-проекте на основе сформированной электронной таблицы с актуальными данными.

3. Публикация на ГИС-сервере (ArcGIS for Server) в виде картографических веб-сервисов ГИС-проектов, содержащих информационные слои с крупнейшими месторождениями и тектонической картой, решение прикладных и технических вопросов публикации.

4. Создание и настройка с помощью ArcGIS Viewer for Flex веб-приложений (русско- и англоязычного) на базе опубликованных картографических веб-сервисов; подключение и настройка инструментов анализа.

Последовательность действий при обновлениях:

1. Обновление данных из БД КСКМ: выгрузка текущего набора данных из БД КСКМ в формате dbf и преобразование в электронную таблицу (xls); перевод на русский язык обновленных информационных полей для русскоязычной версии проекта.

2. Обновление в ГИС-проекте основного информационного слоя с актуальными данными из БД КСКМ.

3. Публикация обновленных ГИС-проектов в виде картографических веб-сервисов вместо устаревших версий.

4. Проверка адекватности работы обновленной версии в веб-приложениях.

Использование созданного веб-ресурса в глобальном металлогеническом анализе

Описываемый проект создавался специально для целей глобального металлогенического анализа в его различных пространственно-временных аспектах. Каким образом подобные инструменты в этом направлении можно использовать, было показано в ряде наших публикаций, имеющих в основе результаты обработки данных из предыдущей версии ИС [15]. Выполненные исследования по анализу распределения месторождений разных типов позволили выявить целый ряд ранее не известных фактов и закономерностей по их распределению в земной коре и интенсивности формирования в разные геологические эпохи [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 16].

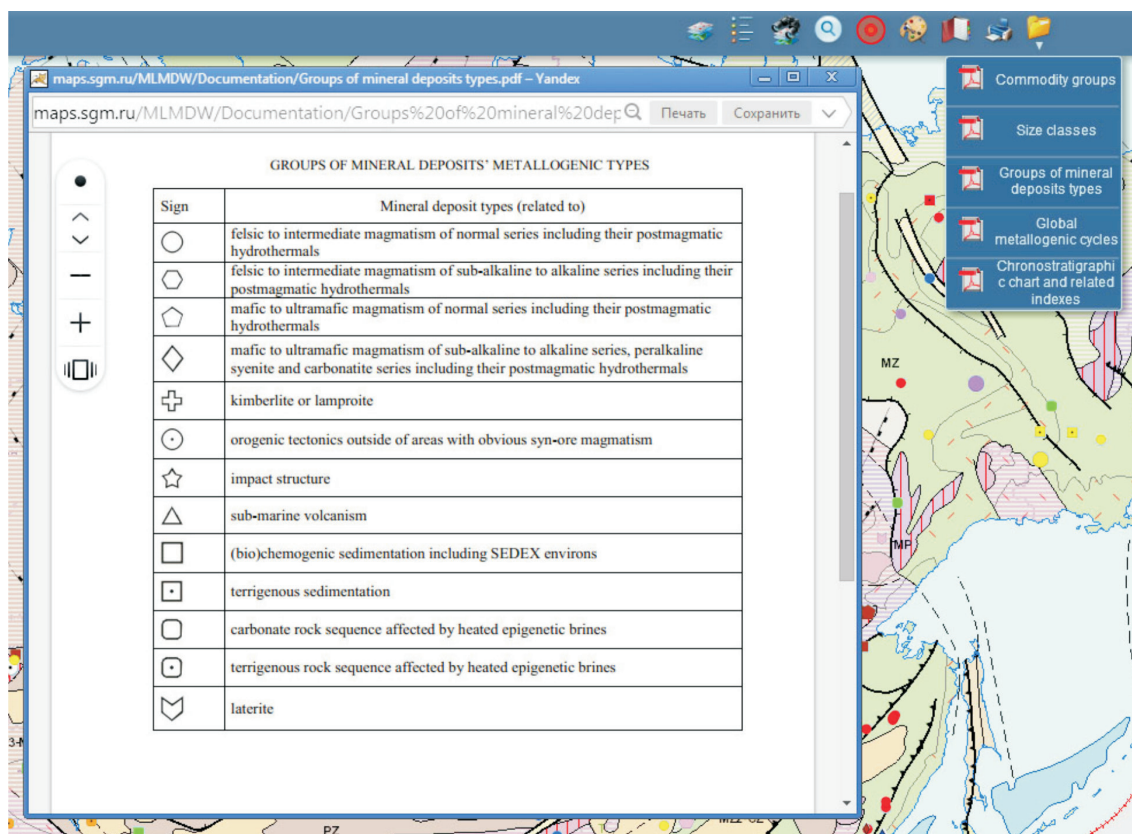


Рис. 5. Просмотр папки «Documentation». В окне проекта открыт файл с легендированной классификацией месторождений, которая использована в проекте

Обновленная ИС позволяет еще больше продвинуться в этом направлении. Исследования уже ведутся. В частности, при работе с описанным выше интернет-приложением была получена выборка всех КСКМ, принадлежащих к металлогеническим типам месторождений, демонстрирующих явную генетическую связь с процессами магматизма и регионального метаморфизма. Дополнительная обработка данных с целью сделать их более удобными для глобального сопоставления позволила объединить месторождения из выборки в три генерализованные группы: в первую из них вошли месторождения, генетически связанные с кислым и средне-кислым магматизмом, а также орогенно-матаморфогенные объекты, во вторую – КСКМ, связанные с основным и щелочным магматизмом широкого спектра кремнекислотности, а в третью – вулканогенно-

колчеданные месторождения, генерируемые магматизмом широкого спектра кремнекислотности, но только в субмаринных условиях. Все три группы типов КСКМ демонстрируют явную неравномерность своего распределения на оси геологического времени с максимальной неравномерностью у третьей группы и минимальной у второй. Совместно они образуют ряд кластеров, в которых дискретность генерации КСКМ в геологическом времени минимальна, а интенсивность – максимальна (рис. 6). Полученное распределение КСКМ было сопоставлено геоисторической изменчивостью интенсивности эндогенных процессов, ориентированных на генерирование континентальной коры и ее консолидацию. В качестве модели, принципиально отражающей эту изменчивость, в публикациях последних лет наиболее часто используют кривую распределения возрастов

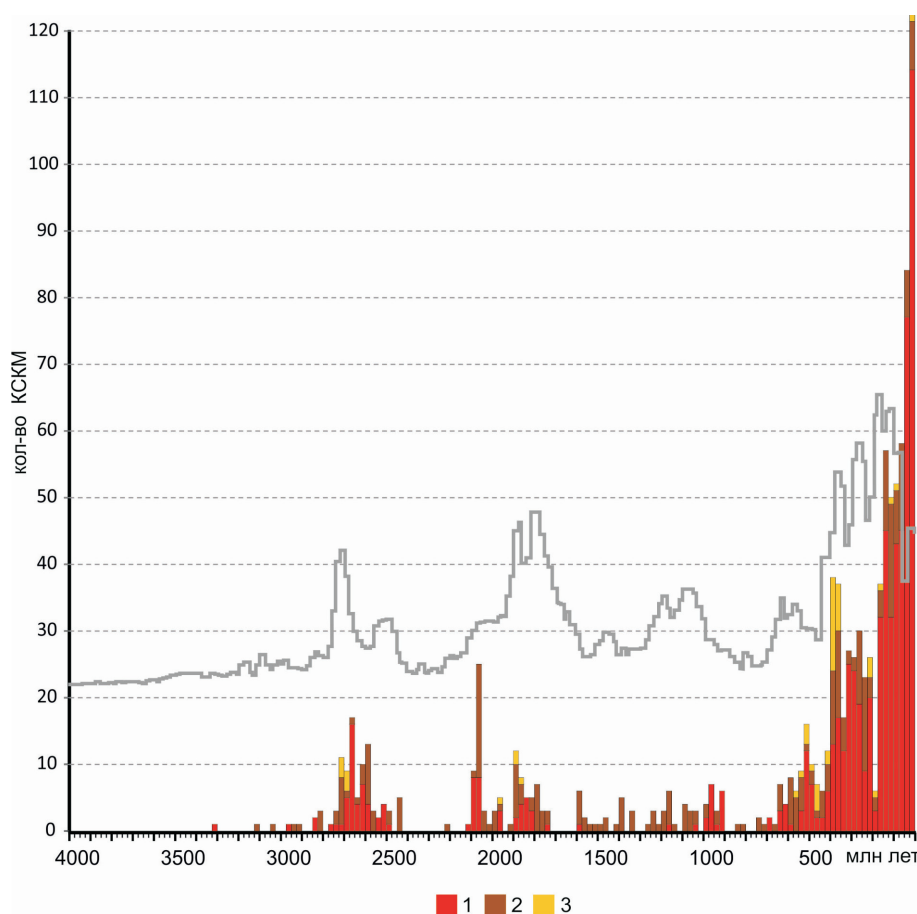


Рис. 6. Сопоставление интенсивностей генерации КСКМ, имеющих эндогенную природу, и корообразующих эндогенных процессов в истории Земли. В качестве модели для корообразующих процессов принята кривая распределения (серая линия) эндогенных детритных цирконов в осадочных формациях мира, базирующаяся на ~200 тыс. частных определений их возраста [17].

Распределение КСКМ получено по данным, полученным из веб-приложения.

Условные обозначения для КСКМ: 1 – месторождения, генетически связанные с кислым и среднекислым магматизмом, а также орогенно-матаморфическими процессами; 2 – месторождения, связанные с основным и щелочным магматизмом широкого спектра кремнекислотности; 3 – вулканогенно-колчеданные месторождения

(>200 тыс. измерений) детритных цирконов эндогенного происхождения в осадочных формациях всех возрастов на всех континентах [17]. Сравнение показало, что полученные кластеры интенсивной генерации КСКМ очень хорошо сопоставляются с максимумами наибольшей интенсивности указанного класса эндогенных процессов, а периоды «затишья» для КСКМ совпадают с минимумами той же кривой. Хотя этот результат вполне прогнозируем, но до этого никем не был получен в столь наглядной форме.

Кроме того, данный факт – свидетельство высокого уровня корректности выборки месторождений, собранной в описываемой ИС. В пользу этого могут свидетельствовать даже имеющиеся локальные расхождения между кривой процессов и гистограммой КСКМ для отдельных небольших интервалов, так как они имеют вполне рациональное геологическое объяснение.

Наиболее очевидны расхождения в двух временных кластерах (рис. 6). Первый – это всплеск металлогенической активности в интервале 2075-2050 млн лет, обусловленный на 90% аномально высокой продуктивностью Бушвельдского комплекса в отношении крупномасштабных и, преимущественно, очень богатых по содержаниям полезных ископаемых месторождений платиноидов, хрома, ванадия, железа, в меньшей степени – олова, флюорита, никеля. Данный феномен возник в связи с локальным, а не глобальным всплеском магматизма, что подтверждается геоисторическими сводками по магматизму как коровой, так и мантийной природы [1, 13]. Поэтому в глобальной эндогенной кривой он ярко не выражен.

Менее заметная, но все же достаточно явная диспропорция с кривой процессов отмечается у диаграммы интенсивности генерации КСКМ моложе 50 млн лет. Она также вполне объяснима: детритные цирконы данного возраста еще не в столь же полной мере, как их более древние аналоги, оказались вовлечены в осадочный процесс. Такое положение вещей обусловлено относительно низкой степени эродированности содержащих их эндогенных формаций. С другой стороны, этот же фактор сказывается на более высокой сохранности в данном периоде представителей некоторых типов эндогенных КСКМ, формирующихся на малых глубинах (до 1-2 км), например эпитермальных [12]. Поэтому, хотя общий высокий уровень и эндогенных процессов, и металлогенической активности фиксируется, но в кривой, построенной по цирконам, он выражен менее ярко.

Описанные выше примеры дают наглядное подтверждение объективности информации, собранной

в новой версии ИС, позволяют очень уверенно ее использовать для выявления новых и уточнения уже известных закономерностей металлогенического развития Земли. Надеемся, что их представление в виде общедоступного веб-приложения, привлечет к разноплановому анализу этих данных еще более широкий круг специалистов.

Направления развития металлогенического веб-приложения

Для авторов вполне очевидно, что, несмотря на существенный технологический и информационный прогресс в развитии ИС, основанной на БД КСКМ, необходимо дальнейшее продвижение в этих направлениях, чтобы сделать продукт более продвинутым, как в информационном, так и функциональном аспектах.

1. Созданный интерактивный ресурс не содержит в себе всей атрибутивной информации, находящейся в БД КСКМ. В частности, пока нет доступа к количественным данным по ресурсам полезных ископаемых в каждом месторождении – только градация на крупные и суперкрупные. Это связано с тем, что в ГИС-проекте и в картографическом сервисе только одна атрибутивная таблица, а БД КСКМ имеет более сложную структуру, включающую таблицы с отношением один ко многим.

2. Одна тектоническая карта не может дать всю необходимую информацию для глобального металлогенического анализа. Поэтому в проекте явно не хватает геологической базовой карты и карт глобально распределенных геофизических данных.

3. Промежуточный ручной этап обработки данных между базой данных и сервисами усложняет обслуживание ИС и может генерировать ошибки – человеческий фактор.

4. Преимущества, происходящие от использования конфигурируемых веб-приложений (конструктора) ArcGIS Viewer for Flex и заключающиеся в быстрой, простоте построения веб-приложений из готовых модулей (виджетов), переходят в минусы, когда становится недостаточно возможностей этих модулей или сказываются ограничения самой структуры получающегося приложения (в первую очередь самого инструмента ArcGIS Viewer for Flex).

В ходе работы с созданными картографическими сервисами и веб-приложениями возникли новые требования к функциям: а) подключение в приложение инструментов анализа, в частности – встроенный инструмент для построения диаграмм; б) возможность интерактивного редактирования геометрии и атрибутики объектов; в) включение в атрибутику медиаинформации: фотографий, схем, разрезов, ссылок на материалы в литературе

и Интернете. Поэтому уже сейчас проектируется следующая версия ИС, которая будет в большей степени способна обеспечить эти потребности (рис. 7).

Основные выводы

1. В результате проведенных работ создан веб-ресурс геологических данных для целей глобального металлогенического анализа, который содержит современное и функциональное веб-приложение «Крупнейшие месторождения мира» / «World's largest mineral deposits». Оно базируется на здесь же размещенных картографических сервисах в виде ГИС-карт тектонического и металлогенического содержания, доступных по стандартным протоколам (GeoServices REST, WMS, KML). Все сервисы и веб-приложение выполнены в двух языковых версиях – английской и русской. Для их создания использовались программные продукты компании ESRI: ArcGIS for Desktop 10.2 – для создания и редактирования ГИС проектов, публикации их на сервере; ArcGIS for Server 10.1 Enterprise Standard – для обеспечения работы картографических сервисов; ArcGIS Viewer for Flex 2.5 – для создания итогового веб-приложения.

2. Разработанный авторами продукт дает возможность работать с размещенной информацией посредством свободного интернет-доступа и использовать при этом широкий спектр функций, реализованных в проекте. При необходимости картографические сервисы достаточно просто подключаются к ГИС-проектам на компьютере удаленного пользователя в качестве самостоятельных покрытий.

3. Размещенная в веб-ресурсе информация по месторождениям важнейших видов полезных ископаемых (кроме горючих) является оригинальной

и постоянно актуализируемой выборкой данных, чья совокупность имеет существенный научный потенциал в аспекте глобального металлогенического анализа и позволяет делать принципиально новые выводы, способствующие нашему более глубокому пониманию развития металлогенических процессов в геологической истории Земли.

4. Намечены основные направления совершенствования интерактивной ИС с целью создать удаленным пользователям возможность как получать более полный спектр геологической информации, так и расширить функциональные возможности работы с ней.

Авторы очень признательны С.В. Черкасову, взявшему на себя труд прочтения раннего варианта рукописи и давшему ряд рекомендаций, которые были очень полезны и в значительной мере учтены в окончательной редакции текста статьи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балашов Ю.А., Глазнев В.Н. Эндогенные циклы в проблеме корообразования // Геохимия. – 2006. – № 2. – С. 131-140.
2. Романюк Т.В., Ткачев А.В. Крупнейшие мировые миоцен-четвертичные бор-литиеносные провинции. Статья 2. Геодинамическая эволюция в конце мезозоя и кайнозое // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 2009. – Т. 84. – Вып. 5. – С. 11-45.
- 3 Романюк Т.В., Ткачев А.В. Геодинамический сценарий формирования крупнейших мировых миоцен-четвертичных бор-литиеносных провинций. – М. : Светоч Плюс, 2010. – 304 с.
4. Рундквист Д.В., Ткачев А.В., Гатинский Ю.Г. Металлогеническая карта крупных и суперкрупных

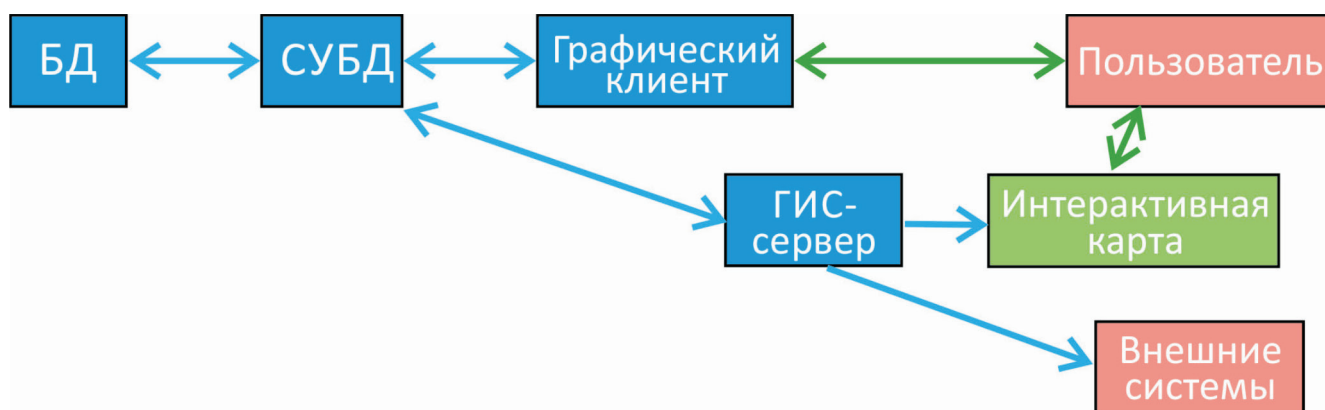


Рис. 7. Схема операционного взаимодействия в планируемой следующей версии ИС (условные обозначения см. рис. 1)

месторождений мира // Геология рудных месторождений. – 2004. – № 6. – С. 562-570.

5. Рундквист Д.В., Ткачев А.В., Черкасов С.В., Гатинский Ю.Г., Соболев П.О., Тихоцкий С.А., Романюк Т.В., Павленкова Н.А., Горшков А.И., Соловьев А.А., Абрамович И.И., Вревский А.Б., Хильтова В.Я., Вишневская Н.В., Чесалова Е.И., Арбузова Е.Е., Лебедев И.О., Кутузова Н.И. Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых // Т. 1. Глобальные закономерности размещения. – М. : ИГЕМ РАН, 2006. – 390 с.

6. Рундквист Д.В., Ткачев А.В., Черкасов С.В., Гатинский Ю.Г., Соболев П.О. Крупные и суперкрупные месторождения мира // Планета Земля. Минерагения. – Кн. 1: Земля. Теоретические основы минерагения. Минеральные ресурсы мира и их экономика. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2008. – С. 70-92.

7. Ткачев А.В. Важнейшие тренды эволюции глобальной металлогении Земли и их обусловленность // Структура, свойства, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы : материалы XVI Международной конференции, 20-24 сентября 2010 г. – Т. 2. – Воронеж : Воронежский госуниверситет, 2010. – С. 262-266.

8. Ткачев А.В. Металлогеническая эволюция гранитного пегматитогенеза в истории Земли: основные тенденции и вероятные причины // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 2011. – Т. 86. – Вып. 1. – С. 41-57.

9. Ткачев А. В. Глобальные металлогенические циклы в истории Земли : автореф. дисс. докт. геол.-мин. наук. – М. : МГУ, 2012. – 45 с.

10. Ткачев А.В., Романюк Т.В. Крупнейшие мировые миоцен-четвертичные бор-литиеносные провинции. Статья 1. Общая характеристика провинций и основные черты геохимического поведения бора и лития в субдукционных зонах // Бюллетень МОИП.

Отдел геологический. – 2009. – Т. 84. – Вып. 4. – С. 3-28.

11. Ткачев А.В., Романюк Т.В. Крупнейшие мировые миоцен-четвертичные бор-литиеносные провинции. Статья 3. Геодинамический сценарий формирования // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 2010. – Т. 85. – Вып. 1. – С. 27-47.

12. Ткачев А.В., Рундквист Д.В. Эволюция формационно-генетических типов крупномасштабных месторождений минерального сырья и видового разнообразия полезных ископаемых в них как отражение тенденций развития глобальной металлогении // Наука и просвещение: к 250-летию Геологического музея РАН. – М. : ГГМ РАН, 2009. – С. 209-288.

13. Abbott D.H., Isley A.E. The intensity, occurrence, and duration of superplume events and eras over geological time // Journal of Geodynamics, 2002. – Vol. 34. – P. 265-307.

14. Rundqvist D.V., Cherkasov S.V., Kutuzova N.I., Stavsky A.P. New world map of large and superlarge mineral deposits // Global Tectonics and Metallogeny, 1999. – Vol. 34. – № 7(2). – P. 131-134.

15. Rundqvist D., Cassard D., Cherkasov S., Tkachev A., Gatinsky Yu., Shalimov I., Arbuzova E., Vishnevskaya N., Gateau C., Husson Y. Largest mineral deposits of the world. NavigaSig Large and Superlarge Deposits. Version 1.0. Moscow : Russian-French Metallogenic Laboratory, 2006. – Cd-Rom.

16. Tkachev A., Cherkasov S., Cassard D. Largest Mineral Deposits of the World, Navigasig CD-ROM: a synthesis on metallogeny of large and superlarge mineral deposits // American Institute of Physics Conference Proceedings. – 2008. – Vol. 1009. – P. 28-35.

17. Voice P.J., Kowalewski M., Eriksson K.A. Quantifying the timing and rate of crustal evolution: global compilation of radiometrically dated detrital zircon grains // Journal of Geology. – 2011. Vol. 119. – P. 109-126.