

Интерактивное веб-приложение для комплексного изучения пространственной информации по наукам о Земле с использованием базы геоданных ГЦ РАН

Р. И. Красноперов¹, А. А. Соловьев^{1,2}, Б. П. Николов¹, Ю. И. Жарких¹ и А. А. Груднев^{1,2}

Получено 6 декабря 2016 г.; принято 6 декабря 2016 г.; опубликовано 21 декабря 2016 г.

Статья посвящена описанию интерактивного веб-приложения для эффективного взаимодействия пользователя с базой геопространственных данных (геоданных) Геофизического центра РАН и инструментами геообработки. Веб-приложение разработано на основе технологии ArcGIS API for JavaScript. Доступ к геоданным, хранящимся в базе, организован через картографические сервисы, опубликованные на ГИС-сервере. Алгоритмы пространственного анализа данных, реализованные в среде Python в виде инструментов геообработки, также опубликованы на сервере. Взаимодействие с сервисами осуществляется средствами веб-приложения, реализующего функции отправки пользовательских задач на ГИС-сервер, обработки и визуализации результатов их выполнения. Разработанное веб-приложение является частью геопортала Геофизического центра РАН. Геопортал объединяет и предоставляет доступ к геоданным более чем по 20 тематическим категориям (<http://gis.gcras.ru/>). **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** веб-ориентированные ГИС; геопространственные данные по наукам о Земле; картографические сервисы; инструменты геообработки.

Ссылка: Красноперов, Р. И., А. А. Соловьев, Б. П. Николов, Ю. И. Жарких и А. А. Груднев (2016), Интерактивное веб-приложение для комплексного изучения пространственной информации по наукам о Земле с использованием базы геоданных ГЦ РАН, *Geoinf. Res. Papers*, 4, BS4015, doi:10.2205/2016BS039.

Введение

Создание систем для обеспечения эффективного сбора, хранения, распространения и анализа пространственных данных по наукам о Земле является важным направлением развития современных информационных технологий. Разработка подобных систем имеет практическое значение для научного сообщества. С развитием информационных технологий увеличивается интенсивность накопления геопространственных данных (геоданных). Зачастую это приводит к сложностям в обмене знаниями между исследователями и пользователями. Применение современных геоинформационных (ГИС) технологий позволяет значительно упростить процесс взаимодей-

ствия с геоданными для быстрого и эффективного решения различных научных и практических задач.

В настоящее время существует ряд веб-ориентированных систем, позволяющих различными способами обрабатывать геофизические и геопространственные данные. Рассмотрим некоторые известные примеры подобных систем, созданных для организации доступа к обширным наборам пространственных данных. В NASA был создан сервис GIOVANNI (Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center Interactive Online Visualization and Data Analysis Infrastructure) (GIOVANNI: Электронный ресурс, URL: <http://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/>), который предоставляет доступ к различным методам обработки данных, а также позволяет визуализировать исходные пространственно-распределенные данные, получаемые со спутников, и их производные продукты. Специалистами Центра информационных технологий Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского (ФГБУ "ВСЕГЕИ") разработан картографический веб-ресурс по региональной геологии для предоставления доступа к геолого-картографическим материалам по

¹Геофизический центр Российской академии наук (ГЦ РАН), Москва, Россия

²Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН), Москва, Россия

территории Российской Федерации и ее континентальному шельфу (ВСЕГЕИ. Геолого-картографический ресурс по региональной геологии: Электронный ресурс, URL: <http://www.vsegei.ru/ru/info/georesource/>). Другим известным инструментом доступа к данным по геологии является геопортал OneGeology (OneGeology Portal: Электронный ресурс, URL: <http://portal.onegeology.org/OnegeologyGlobal/>). Это международный проект, целью которого является создание динамических цифровых карт с геоданными по всему миру, доступных через Интернет. Специалистами Института вычислительных технологий СО РАН (ИВТ СО РАН) создана распределенная информационно-аналитическая ГИС для обеспечения междисциплинарных исследований в области наук о Земле [Шокин и др., 2007]. Еще одним успешным примером информационной системы, предоставляющий доступ к данным по геологии, является ГИС “Крупнейшие месторождения мира”, разработанная в Государственном геологическом музее им. В. И. Вернадского РАН (ГГМ РАН) [Ткачев и др., 2015]. Данный ресурс содержит подробную информацию о крупных и сверхкрупных месторождениях полезных ископаемых мира. Необходимо отметить, что сама ГИС непрерывно совершенствуется, а пользователям предоставляется актуальная информация. Также следует упомянуть тематический геопортал Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН), обеспечивающий доступ к вулканологическим и сейсмологическим пространственным данным и сервисам Института (Геопортал ИВиС ДВО РАН: Электронный ресурс, URL: <http://geoportal.kscnet.ru/>).

Серьезный опыт в области создания ГИС для хранения, представления и анализа данных по наукам о Земле накоплен специалистами Геофизического центра РАН (ГЦ РАН) [Березко и др., 2008; 2009; Красноперов и Соловьев, 2015; Красноперов и др., 2012; Beriozko et al., 2011; Nikolov et al., 2015; Soloviev et al., 2016]. В рамках этих исследований в ГЦ РАН успешно развивается геопортал интеллектуальной ГИС “Данные наук о Земле по территории России” (Интеллектуальная ГИС “Данные наук о Земле по территории России”: Электронный ресурс, URL: <http://gis.gras.ru/>).

Однако, несмотря на очевидное многообразие подобных систем, в области наук о Земле в настоящее время не существует мощного инструмента, который, используя ГИС и веб-технологии, позволил бы обрабатывать, визуализировать и анализировать данные, полученные из различных источников, путем применения к ним специализированных алгоритмов в единой информационно-коммуникационной среде.

Назначение и структура веб-приложения

В ГЦ РАН накоплены значительные объемы геолого-геофизических: база геоданных Центра содержит более 200 тематических слоев, опубликованных в виде картографических сервисов на ГИС-сервере. Доступ к ним возможен с использованием протоколов на основе стандартов обмена пространственными данными, при-

нятых международной организацией Open Geospatial Consortium (OGC – Открытый консорциум по обмену геопространственными данными). Также, наряду с расширением базы геоданных, в ГЦ РАН ведутся работы по совершенствованию методов анализа пространственных данных. Комплексное изучение внутреннего строения и динамики Земли по геолого-геофизическим данным требует наличия современных инструментов компьютерного моделирования и анализа.

Реализация и применение алгоритмов обработки геоданных требует их интеграции с самими данными в единой среде, доступной онлайн. При этом ГИС-сервер должен включать необходимое программное и техническое обеспечение для выполнения алгоритмов и передачи полученных итогов их работы пользователю, а также хранилище геоданных и результаты их обработки. Данный подход лег в основу интерактивного веб-приложения, представляемого в настоящей статье. Основные элементы приложения включают в себя:

- Веб-сервер – содержит опубликованные сервисы геообработки и картографические сервисы. Входящие запросы веб-сервера для получения карт, алгоритмов, координат и выполнения заданий геообработки передаются ГИС-серверу.
- ГИС-сервер – выполняет отрисовку карты, поиск координат, запуск инструментов геообработки, отправку результатов обработки клиенту.
- Веб-клиент – обеспечивает взаимодействие пользователя с системой. Он представляет собой пользовательское картографическое приложение, содержащее информацию об опубликованных алгоритмах, механизм загрузки актуальных геоданных с сервера и инструмент управления слоями. Клиент способен отправлять задачи геообработки на сервер, получать и визуализировать результаты.

Общая схема взаимодействия элементов приложения приведена на Рис. 1.

В качестве серверной части программного комплекса использовано программное обеспечение ArcGIS for Server производства компании ESRI. ArcGIS for Server включает в себя приложение администрирования, а также application programming interface (API – интерфейс прикладного программирования), который может быть использован для конфигурации сервера, настройки правил безопасности и др. (Справка по ArcGIS 10.2.2. ArcGIS Resources 2015: Электронный ресурс, URL: <http://resources.arcgis.com/ru/help/>).

Для разработки и отладки необходимых компонентов программного комплекса на локальном компьютере под управлением системы Windows 7 была развернута и настроена программа ArcGIS for Server 10.3, имитирующая полноценные возможности сервера в рамках одной локальной ЭВМ. С ее помощью осуществляется взаимодействие с клиентом, обрабатываются его запросы и возвращаются результаты расчетов. Кроме того, здесь публикуются и тестируются с помощью встроенных инструментов все алгоритмы, которые впоследствии загружаются на сервер [Soloviev et al., 2016].

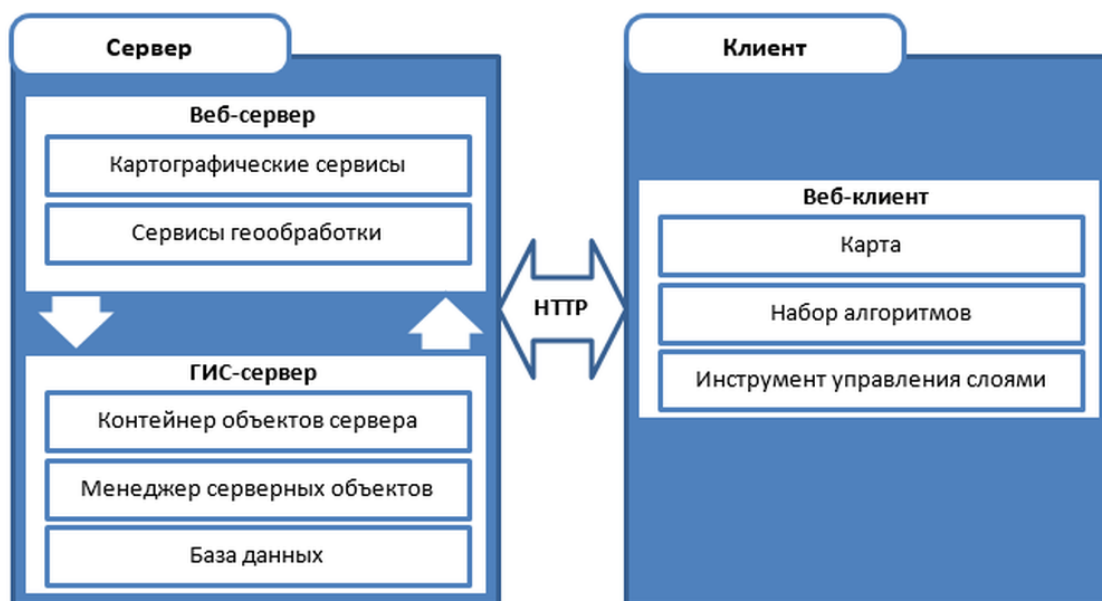


Рис. 1. Общая схема взаимодействия компонентов разработанного веб-приложения.

Сервер поддерживает инструменты, соответствующие специальной форме и прошедшие тестовую проверку администратора. Для разработки сервисов геообработки в работе использовался высокоуровневый язык программирования общего назначения Python версии 2.7. Этот язык интерпретируется и вводится динамически, и подходит для интерактивной работы и оперативного создания прототипов небольших программ, например, скриптов, а также обладает достаточным функционалом для создания больших приложений. При разработке сервисов геообработки использовался модуль ArcPy – специализированная библиотека, позволяющая создать основу для успешного и продуктивного анализа и конвертации географических данных, управления данными, а также автоматизации карты [Zandbergen, 2013].

Базу инструментов геообработки составили алгоритмы кластеризации, созданные в рамках дискретного математического анализа (ДМА). Это оригинальный подход к анализу геолого-геофизической информации на основе методов нечеткой математики и элементов искусственного интеллекта [Агаян и др., 2014; Агаян и Соловьев, 2004; Гвишиани и др., 2002а, 2002б, 2010, 2013а, 2013б; Соловьев и др., 2005; Mikhailov et al., 2003; Widiwi-Ojayanti et al., 2003]. ДМА представляет собой серию алгоритмов, нацеленных на решение основных задач анализа данных: кластеризацию и трассирование в многомерных массивах, изучение временных рядов. Все алгоритмы ДМА носят универсальный характер и скреплены единой формальной основой.

Клиентское приложение

Для реализации клиентского приложения был выбран язык JavaScript, а также язык разметки HTML

и язык описания внешнего вида CSS. Весь основной функционал пользовательского приложения написан с использованием мощной библиотеки ArcGIS API for JavaScript 3.16, в основе которой лежит среда Dojo Toolkit 1.11 (Dojo Toolkit: Электронный ресурс, URL: <http://dojotoolkit.org/>). Она позволяет не только легко работать с картами в веб-приложениях, но и производить обмен данными при помощи Representational State Transfer (REST – передача состояния представления) API с серверами на базе ArcGIS for Server и сервисами ArcGIS Online (ArcGIS API for JavaScript. ArcGIS for Developers: Электронный ресурс, URL: <https://developers.arcgis.com/javascript/jshelp/>).

Картографическое приложение было создано с использованием Asynchronous module definition (AMD – асинхронное определение модуля) – современного подхода для описания модулей и их зависимостей с возможностью их загрузки в асинхронном режиме. AMD особенно хорошо подходит для среды браузера, в которой модули загружаются одновременно с остальным контентом. Асинхронная загрузка позволяет улучшить скорость загрузки страницы в целом, кроме того, AMD может быть использован во время разработки JavaScript приложений с целью разбиения кода по разным файлам (AMD. GitHub: Электронный ресурс, URL: <https://github.com/amdjs/amdjs-api/wiki/AMD>).

Для реализации инструмента управления слоями использовалась пользовательская разработка для Dojo – Dijit CheckBox Tree version 0.9.4 (The new Dijit CheckBox Tree: Электронный ресурс, URL: http://www.thejeksels.com/dojo/cbtree_AMD.html). На этапе инициализации приложения на заданный в программе сервер отправляются запросы для получения информации об опубликованных сервисах. От сервера ответ возвращается в формате JavaScript Object Notation (JSON – текстовый формат обмена данными,

основанный на JavaScript), который средствами Dojo конвертируется в объект. Далее, на основе извлеченных данных, снова посылаются запросы для получения списка вложенных слоев каждого сервиса. Запросы являются асинхронными, поэтому время ожидания ответов минимально. На их основе формируется массив объектов, который включает в себя полную информацию о каждом слое. Для того, чтобы сопоставить ответы асинхронного типа, используется класс `dojo/promise/all`.

Итоговый массив объектов, который является основой для создания иерархии, содержит следующую информацию о каждом сервисе: название, url-адрес, массив слоев этого сервиса, уровни подслоев в дереве. Далее создается иерархия, подключается обработчик событий, формируется меню в виде дерева и помещается в отдельной вкладке. Преимущество разработанного инструмента заключается в том, что такой подход позволяет в автоматическом режиме при каждом запуске приложения динамически обновлять список данных, имеющих на сервере. Таким образом каждый раз при обращении к приложению в списке доступных слоев учитываются добавленные, измененные или удаленные данные.

Взаимодействие пользователя с системой осуществляется посредством веб-клиента, который включает в себя список выбранных алгоритмов, карту и инструмент управления слоями. Веб-клиент взаимодействует с веб-сервером с помощью JavaScript и REST API. Через него осуществляется отбор и загрузка актуальных геоданных. Веб-сервер содержит данные о сервисах геообработки и о картографических сервисах. Входящие запросы Веб-сервера для получения карт, алгоритмов, координат и выполнения заданий геообработки передаются ГИС-серверу, при этом взаимодействие происходит через протокол HTTP.

В клиентском приложении представлены список данных с сервера ГЦ РАН и набор инструментов геообработки, которые можно применить к ним. Пользователь имеет возможность выбрать интересующий слой данных и применить к нему выбранный инструмент с указанием значений свободных параметров. После соответствующего выбора на стороне клиента формируется запрос в формате JSON, который передает информацию о запросе пользователю на сервер с помощью REST API. Создается задача геообработки, которой присваивается уникальный идентификатор.

Клиент может периодически отсылать запросы на сервер и просматривать статус задачи, используя URL-адрес задания. Полученный ответ будет содержать уникальный идентификатор (`jobId`) и статус выполнения (`jobStatus`) задачи, а также различные сообщения инструмента геообработки. Если задание успешно выполнено (`jobStatus = esri.JobSucceeded`), то сервер создает новые ресурсы для входных и выходных параметров, доступ к которым можно получить, используя URL-адрес. Ответ сервера на запрос статуса будет включать информацию о URL-адресе для входных данных и результатов. В конце успешного завершения задания клиенту необходимо отправить запрос для получения каждого выходного параметра. Если сервис геообработки был опубликован с включенным параметром “Просмотреть результат с помощью карто-

графического сервиса” (View result with a map service), сервер создает результирующий картографический сервис для выходных параметров по окончании успешного выполнения задачи.

Существует возможность добавить результирующий картографический сервис в веб-приложение аналогично добавлению динамических картографических сервисов. Слой в результирующем картографическом сервисе соответствует выходному набору геоданных из задачи геообработки.

Интерфейс и функциональность клиентского приложения

Интерфейс клиентского приложения реализован с использованием решений из фреймворка Dojo. Интерфейс приложения представлен на Рис. 2.

Приложение включает в себя карту, меню со вкладками слева и легенду для добавленных слоев справа. Вкладка “Базовые карты” содержит набор различных базовых карт, которые пользователь может выбирать в любой момент.

Вкладка “Алгоритмы” содержит список доступных на данный момент инструментов геообработки. Опубликованные сервисы геообработки добавляются в приложение администратором сервера. Вкладка “Слои геоданных” содержит инструмент управления слоями. Вкладка “Результаты геообработки” отображает результаты применения алгоритмов, при этом она построена таким же образом, что и инструмент управления слоями на основе Dijit CheckBox Tree. Легенда располагается справа, включает в себя информацию о слое и слайдер для регулирования прозрачности.

Разработанное клиентское приложение для визуализации картографической информации имеет следующие функции:

- подключение к серверу ГЦ РАН, загрузка актуальных данных из базы геоданных при запуске приложения;
- просмотр и нанесение на карту слоев с данными;
- отображение легенды активных слоев;
- отправка заданий геообработки на сервер, получение результатов и добавление их на карту;
- смена базовой карты на любом этапе работы;
- возможность отправки сразу нескольких заданий;
- возможность последовательного выполнения нескольких алгоритмов на одних и тех же данных.

Примеры работы приложения

Рассмотрим примеры функционирования разработанного веб-приложения. Для реализации функции гео-

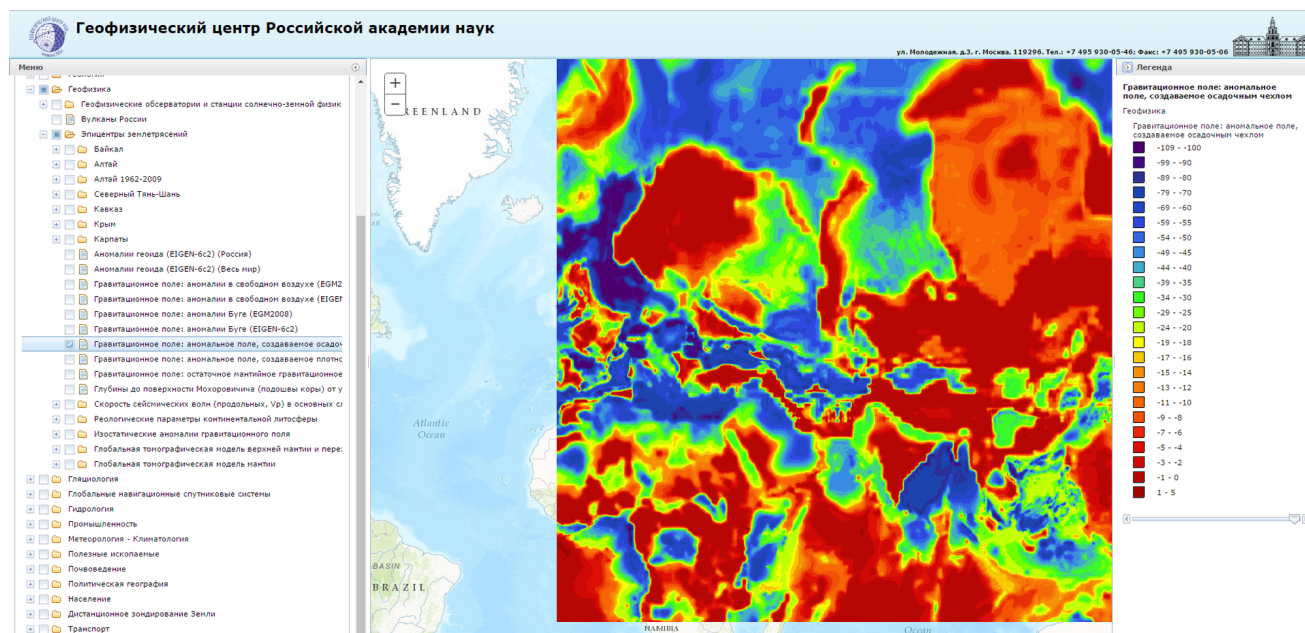


Рис. 2. Интерфейс клиентского приложения.

обработки пользователь сначала выбирает из каталога картографических сервисов интересующие его данные. Затем пользователь создает задачу геообработки: выбирается нужный алгоритм из списка доступных, затем вводятся необходимые свободные параметры. Данные, введенные пользователем в качестве параметров, анализируются с помощью регулярных выражений (Regular-expressions.info: Электронный ресурс, URL: <http://www.regular-expressions.info/>). Такой способ обработки позволяет избежать ввода неверных значений. При нажатии на кнопку “Отправить задание” задача отправляется на сервер в асинхронном режиме, и при успешном завершении результат кластеризации автоматически добавляется на карту. В случае ошибки пользователь получает соответствующее уведомление. Алгоритмы кластеризации, используемые в приложении, были протестированы в режиме удаленной работы на данных, полученных с сервера ГЦ РАН по сети Интернет.

В качестве исходных данных для иллюстрирования работы инструментов геообработки был выбран слой “Месторождения полезных ископаемых” [Роднов и др., 2009] из картографического сервиса “Полезные ископаемые”. Из общего числа месторождений были выбраны месторождения одного генетического типа (гидротермальные) в соответствии с исходной классификацией. Число элементов в выборке составляет 3046. Задача состояла в выделении плотных областей на карте месторождений одного генетического типа. На Рис. 3 представлен пример работы инструмента геообработки на основе алгоритма кластеризации “DPS” [Агаян и др., 2014; Гвишиани и др., 2013а, 2013б Soloviev et al., 2016].

Варьируя выбор алгоритмов кластеризации и свободных параметров, пользователь может получить набор результирующих цифровых карт, которые могут служить

исходными данными для дальнейших исследований. Используемые в приложении алгоритмы кластеризации могут работать только с точечными данными. В начале работы каждого алгоритма идет проверка типа данных, получаемых на вход программы.

Заключение

Разработанное веб-приложение представляет собой эффективный инструмент работы с пространственными данными. Оно позволяет проводить исследования тематических геоинформационных слоев по различным научным категориям (например, геология, геофизика, полезные ископаемые и др.) с возможностью применения к геоданным инструментов обработки, созданных на основе алгоритмов ДМА. Данное приложение не требует от пользователя установки дополнительного программного обеспечения, за исключением современной версии Интернет-обозревателя.

Стоит отметить, что разработанное веб-приложение обладает большой гибкостью. В настоящей статье в качестве источника данных рассматривались картографические сервисы, опубликованные на ГИС-сервере Геофизического центра РАН. Однако веб-приложение позволяет в качестве источников данных подключать внешние картографические сервисы, созданные сторонними разработчиками. Таки образом, реализуется подход инфраструктуры пространственных данных, при котором картографическая информация хранится в распределенной сети ГИС-серверов, а доступ к ним осуществляется по стандартным протоколам передачи данных.

Дальнейшее развитие веб-приложения предполагает

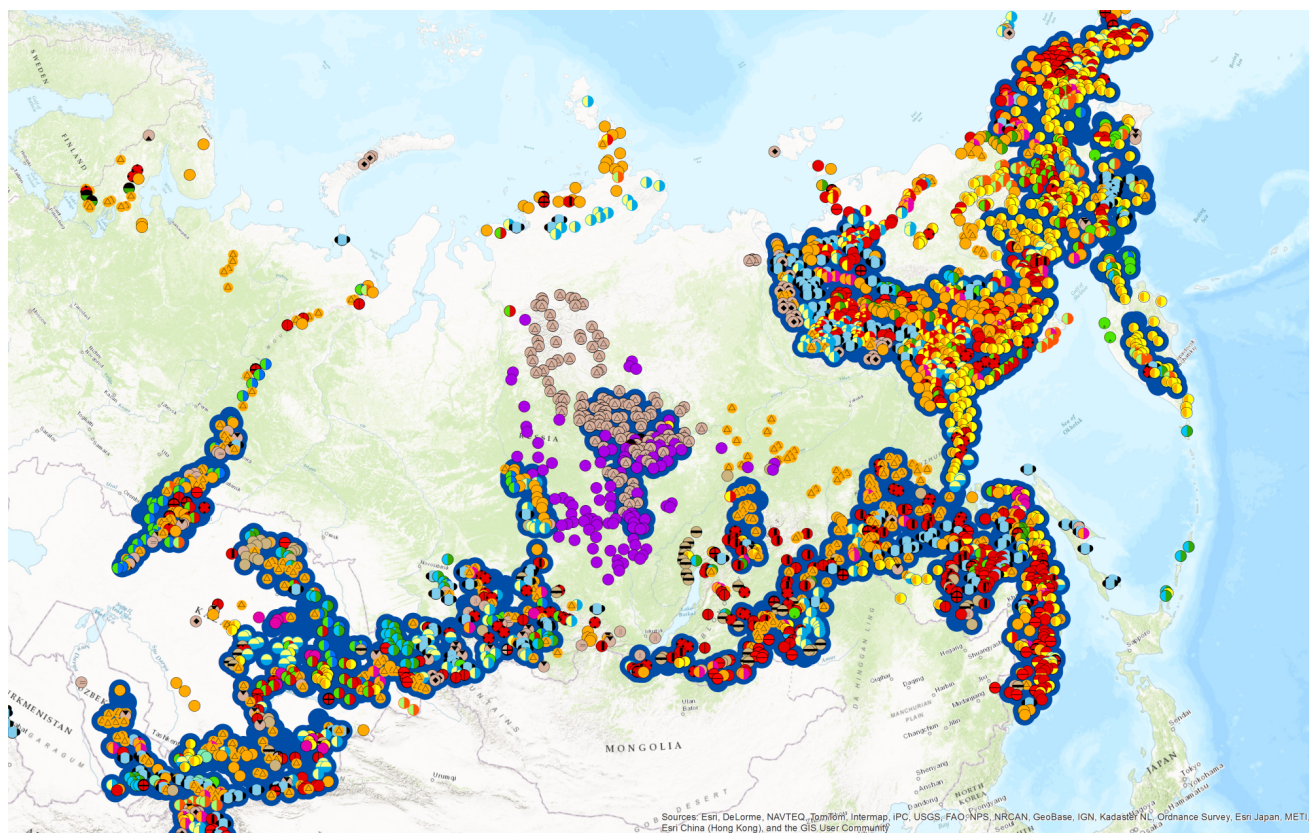


Рис. 3. Результаты применения инструмента геообработки на основе алгоритма кластеризации “DPS”. Исходные данные (цветные пунсоны) – месторождения полезных ископаемых одного генетического типа. Результат кластеризации (синяя окантовка пунсонов) при свободных параметрах алгоритма $\omega = -3,2$ и $\beta = -0,4$ наложен на исходные данные.

расширение базы инструментов геообработки алгоритмами, позволяющими работать с площадными и линейными объектами. Кроме того, планируется добавление возможности просмотра метаданных картографических сервисов.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле Российской академии наук № IV.8.7 “Интеллектуальный анализ геофизических данных, геоинформатика и математическая геофизика”.

Литература

- Агаян, С. М., А. А. Соловьев (2004), Выделение плотных областей в метрических пространствах на основе кристаллизации, *System Research & Information Technologies*, No. 2, 7–23.
- Агаян, С. М., Ш. Р. Богоутдинов, М. Н. Добровольский (2014), Дискретные совершенные множества и их применение в кластерном анализе, *Кибернетика и системный анализ*, 50, No. 2, 17–32.
- Березко, А. Е., А. И. Рыбкина, А. А. Соловьев, и др. (2009а), Интеллектуальная ГИС, *Вестник ОНЗ РАН*, 1, NZ3002, doi:10.2205/2009NZ000006
- Березко, А. Е., А. А. Соловьев, А. Д. Гвишиани, и др. (2008), Интеллектуальная географическая информационная система “Данные наук о Земле по территории России”, *Инженерная экология*, No. 5, 32–40.
- Гвишиани, А. Д., С. М. Агаян, Ш. Р. Богоутдинов (2002а), Математические методы геоинформатики. I. О новом подходе к кластеризации, *Кибернетика и системный анализ*, No. 2, 104–122.
- Гвишиани, А. Д., С. М. Агаян, Ш. Р. Богоутдинов, А. А. Соловьев (2010), Дискретный математический анализ и геолого-геофизические приложения, *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, Выпуск 16*, No. 2, 109–125.
- Гвишиани, А. Д., С. М. Агаян, М. Н. Добровольский, Б. А. Дзедобоев (2013а), Объективная классификация эпицентров и распознавание мест возможного возникновения сильных землетрясений в Калифорнии, *Геоинформатика*, No. 2, 44–57.
- Гвишиани, А. Д., Б. А. Дзедобоев, С. М. Агаян (2013б), О новом подходе к распознаванию мест возможного возникновения сильных землетрясений на Кавказе, *Физика Земли*, No. 6, 3–19, doi:10.7868/S0002333713060045
- Гвишиани, А. Д., М. Диаман, В. О. Михайлов, А. Гальдеано, С. М. Агаян, Ш. Р. Богоутдинов, Е. М. Граева (2002б), Алгоритмы искусственного интеллекта для кластеризации магнитных аномалий, *Физика Земли*, No. 7, 13–28.
- Красноперов, Р. И., А. А. Соловьев (2015), Аналитическая геоинформационная система для комплексных геолого-геофизических исследований на территории России, *Горный журнал*, No. 10, 89–93, doi:10.17580/gzh.2015.10.16
- Красноперов, Р. И., А. Ю. Лебедев, О. О. Пятагина,

- А. И. Рыбкина, А. А. Шибаева (2012), Многодисциплинарная аналитическая ГИС для обработки и представления данных дистанционного зондирования, *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 9, No. 3, 50–54.
- Роднов, Ю. Н., И. Л. Белкина, ред. (2009), *Минерогеническая карта Российской Федерации и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) масштаба 1:2 500 000*, ФГУНПП “Аэрогеология”, Москва.
- Соловьев, А. А., Д. Ю. Шур, А. Д. Гвишиани, и др. (2005), Определение вектора магнитного момента при помощи кластерного анализа результатов локальной линейной псевдоинверсии аномалий δT , *Доклады Академии наук*, 404, No. 1, 109–112.
- Ткачев, А. В., С. В. Булов, Д. В. Рундквист, С. А. Похно, Н. А. Вишневская, Р. А. Никонов (2015), Веб-ГИС “Крупнейшие месторождения мира”, *Геоинформатика*, No. 1, 47–59.
- Шокин, Ю. И., О. Л. Жижимов, И. А. Пестунов, и др. (2007), Распределенная информационно-аналитическая система для поиска, обработки и анализа пространственных данных, *Вычислительные технологии*, 12, No. 3, 108–115.
- Berizozko, A., A. Lebedev, A. Soloviev, R. Krasnoperov, A. Rybkina (2011), Geoinformation system with algorithmic shell as a new tool for Earth sciences, *Russ. J. Earth. Sci.*, 12, ES1001, doi:10.2205/2011ES000501
- Mikhailov, V., A. Galdeano, M. Diamant, A. Gvishiani, et al. (2003), Application of artificial intelligence for Euler solutions clustering, *Geophysics*, 68, No. 1, 168–180.
- Nikolov, B. P., J. I. Zharkikh, A. A. Soloviev, R. I. Krasnoperov, S. M. Agayan (2015), Integration of data mining methods for Earth science data analysis in GIS environment, *Russ. J. Earth. Sci.*, 15, ES4004, doi:10.2205/2015ES000559
- Soloviev, A. A., J. I. Zharkikh, R. I. Krasnoperov, B. P. Nikolov, S. M. Agayan (2016), GIS-oriented solutions for advanced clustering analysis of geoscience data using ArcGIS platform, *Russ. J. Earth. Sci.*, 16, ES6004, doi:10.2205/2016ES000587
- Widiwijayanti, C., V. Mikhailov, M. Diamant, C. Deplus, R. Louat, S. Tikhotsky, A. Gvishiani (2003), Structure and evolution of the Molucca Sea area: constraints based on interpretation of a combined sea-surface and satellite gravity dataset, *Earth and Planetary Science Letters*, 215, 135–150, doi:10.1016/S0012-821X(03)00416-3
- Zandbergen, P. A. (2013), *Python Scripting for ArcGIS*, 353 pp., Esri Press, California, USA. (ISBN 9781589482821)
- А. А. Груднев, Ю. И. Жарких, Р. И. Красноперов, Б. П. Николов, А. А. Соловьев, Геофизический центр Российской академии наук (ГЦ РАН). (r.krasnoperov@gcras.ru)