2. Крюков В.А., Толстов А.В., Афанасьев В.П., Самсонов Н.Ю., Крюков Я.В. Обеспечение российской промышленности высокотехнологичной сырьевой продукцией на основе гигантских месторождений Арктики – Томторского ниобий–редкоземельного и Попигайского сверхтвердого абразивного материала // Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения – 2016: Материалы VIII Международной научно–практической конференции (Апатиты, 14–16 апреля 2016 г.) / под общ. ред. Е.П. Башмаковой, Е.Е. Торопушиной; Кольский науч. центр РАН, Ин–т экон. проблем им. Г.П. Лузина Кольского, Прав–во Мурманской обл., Кольский филиал ФГБОУ ВПО «Петрозаводский гос. ун–т». – Апатиты: ИЭП КНЦ РАН, 2016. – С. 204–206.

3. Масайтис В.Л. Импактные алмазы Попигайской астроблемы: основные свойства и практическое применение. // Записки Российского минералогического общества. – 2013. – Т.142. – №2. – С.1–10.

4. Крюков В.А., Самсонов Н.Ю., Крюков Я.В. Межрегиональные технологические цепочки в освоении Попигайского месторождения алмаз–лонсдейлитового сырья // ЭКО. – 2016. – № 8. – С. 51–66.

5. Николаев М.В., Григорьева Е.Э., Николаев А.М., Самсонов Н.Ю. Алмаз–лонсдейлитовое сырье Попигайской астроблемы – новый вид высокотехнологичных материалов: формирование цены // Инновации. – 2017. – № 3. – С. 102–107.

6. Похиленко Н.П., Толстов А.В., Афанасьев В.П., Самсонов Н.Ю. Новые механизмы государственного управления минерально–сырьевой базой стратегических полезных ископаемых Арктической зоны Сибири и Дальнего Востока // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2016. – № 5. – С. 60–63.

7. Вишневский С.А. Попигайская астроблема. / ИГМ им. В.С. Соболева СО РАН. – Новосибирск: Акад. Изд–во «Гео». – 2016. – 71 с.

УДК 550.8.053

ОПЫТ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕДУР ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ВЫДЕЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ НЕДР НА ОБНАРУЖЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В.В. Ситников[1], П.П. Горских[1]
О.В. Жаворонкин[2], Р.И. Титов[2]

[1]ООО «Норильскгеология», г. Санкт-Петербург
[2]АО «ОТ-ОЙЛ», г. Москва

При достаточно большом количестве существующих методов прогнозирования и оценки перспектив распространения полезных ископаемых, небольшая часть из них остается формализованной до алгоритмов, используемых геологоразведочными предприятиями в рамках вычислительной техники. Большинство знаний, на которые опираются методы прогнозирования, носят описательный характер. Обширный геологический материал содержит информацию, которая относится к категории неструктурированных данных. Такие данные требуют специальных подходов для организации хранения и последующей обработки.

В рамках данного доклада представлен опыт систематизации материалов геологической изученности, автоматизации и апробации метода прогнозирования распространения полезных ископаемых, которые вполне могут быть использованы для выделения перспективных участков недр другими отраслевыми предприятиями, в том числе и для оценки перспектив алмазоносности.

Выбор участков недр, перспективных для обнаружения месторождений полезных ископаемых, обосновывается результатами прогнозирования распространения полезного ископаемого. Большинство материалов, на которые опираются результаты прогнозирования, относятся к категории неструктурированных данных, а противоречивые мнения экспертов порождают большое количество вариантов интерпретации. Все это приводит к тому, что обоснования геологоразведочных работ становятся не прозрачными, в большей степени экспертными, а ответственность за результаты – размытой.

Перед сотрудниками Отдела перспективных направлений ООО «Норильскгеология» было поставлено несколько задач: разработать и формализовать методику оценки перспектив рудоносности на региональном (для целей лицензирования) и локальном уровнях (для целей проведения поисково-разведочных работ, и, в частности, проведения поисково-разведочного бурения скважин); повысить прозрачность процедур и методов обоснования проведения работ; разработать и передать в реализацию проект информационной системы, поддерживающей обозначенные выше процедуры.

Для реализации на производстве за основу была принята методика оценки рудоносности, предложенная зарубежным автором E.J.M. Carranza [1,2] и апробированная на рудных полях Австралии и Филиппин. Данная методика была переработана под нужны рудной геологии региона (Норильский район, Забайкалье).

Полученная методика решает следующие задачи:

1.Выделение критериев рудоносности по эталонным объектам (подтвержденным месторождениям). Подход к решению:

- использование математических методов числового дискриминантного анализа;
- экспертный подход.

2. Выявление поисковых признаков. Результат: каждый признак представлен в виде слоя площадных объектов геоинформационной модели. Поисковые признаки выделяются:

- по результатам проведения ГРР;
- по фондовым материалам изученности;
- как итог переинтерпретации данных.

3.Оценка рудоносности:

- выделение пространственных пересечений критериев рудоносности;
- математическая оценка пересечений поисковых признаков статистическими вероятностными методами (включая бинаризацию, классификацию пространственных данных критериев и тому подобное).

4.Выделение перспективных участков:

- использование статистически обоснованного порогового значения суммарного веса поисковых признаков;
- генерализация перспективных площадей.

5.Ранжирование перспективных площадей по степени изученности и проявленности критериев.

Для реализации поставленных перед сотрудниками ООО «Норильскгеология» задач в 2017 году был создан проект. На основании конкурса для совместной реализации поставленных задач была выбрана компания «ОТ-ОЙЛ». На момент начала проекта, АО «ОТ-ОЙЛ» имела многолетний опыт автоматизации процессов нефтедобывающих компаний. Отдельные уже готовые приложения и наработки этой компании были использованы для решения поставленных задач.

Любая методика прогнозирования распространения полезных ископаемых должна опираться на материалы исследований участков недр, а быстрый доступ к этим данным повышает эффективность работы сотрудников. В этой связи, реализация поставленных задач была тактически разбита на два этапа. На первом этапе требовалось систематизировать существующие материалы исследований и обеспечить безопасный доступ к их электронным копиям. На втором – реализовать методику прогнозирования рудоносности и взаимодействие с приложениями и сервисами ArcGIS.

Развернута корпоративная платформа АТОЛЛ, включающая реляционную базу данных (СУБД PostgreSQL), сервисы и функции по работе с данными, хранилище неструктурированного контента (файлов) и модули администрирования системы. Также было развернуто приложение АТОЛЛ.Библиотека для управления неструктурированным контентом. Сотрудники «ОТ-ОЙЛ» разработали специальные структуры и шаблоны документов, а сотрудники ООО «Норильскгеология» загрузили в них материалы изученности, снабдив их атрибутивной информацией, необходимой для индексации и поиска этих данных.

По итогам первого этапа сотрудники ООО «Норильскгеология» получили электронный архив материалов геологической изученности с возможностью быстрого поиска данных на основании содержимого документов, их атрибутов, и пространственной привязки. Последняя функция позволила автоматически формировать подборку материалов архива для выделенной пользователем площади оценки рудоносности.

На втором этапе совместными усилиями был спроектирован и реализован новый модуль на базе компонентов АТОЛЛ.SDK. Также были спроектированы и реализованы механизмы взаимодействия с сервисами и приложениями ArcGIS.

На момент внедрения информационной системы все пространственные операции (построение карт, схем и пространственных моделей) выполнялись сотрудниками ООО «Норильскгеология» в среде ArcGIS. При этом использовались локальные приложения на рабочих станциях пользователей. Сервер ArcGIS практически не был задействован. Внедрение информационной системы на базе платформы АТОЛЛ не предполагало тотальную автоматизацию пространственной обработки данных. Поэтому, основной задачей при разработке системы явилась отладка взаимодействия между сервисами и приложениями ArcGIS, не изменяя привычную для сотрудников среду и правила работы.

По результатам внедрения системы прогнозирования рудных объектов реализовано два потока взаимодействия с ArcGIS: использование данных, опубликованных на сервере и двусторонняя миграция данных из локальных ГИС-проектов.

В первом случае, на сервере ArcGIS публикуются геологическая и топографическая карты разных масштабов. Данные карты используются в качестве подложек картографических модулей пользовательских форм и отчетов. Обновление картографической информации на сервере не требует изменений в работающем приложении. Данный функционал сделал работу пользователей более наглядной и позволил сократить время формирования отчетности, использующей картографический материал.

Во втором случае, реализовано несколько функций с использованием специального API ArcGIS. Система управления контентом АТОЛЛ.Библиотека и API ArcGIS позволили обмениваться данными на

уровне файлов ГИС-проекта при условии сохранения общей структуры документов. Немаловажной функцией, реализованной в ходе проекта, является автоматическое создание ГИС-проекта: формирование структуры папок и файлов на сетевом диске, создание mxd-файла и регистрация в нем картографических и некартографических данных в рамках стандартной структуры. Кроме того, реализованы функции управления метаданными файлов картографического слоя, что позволило сопоставлять эти слои с определенными объектами в системе (в нашем случае – с поисковыми признаками). Указанный набор функций значительно сократил время сотрудников на формирование необходимых в работе файлов и соблюдение корпоративных стандартов создания ГИС-проектов.

По итогам второго этапа работ внедрение нового модуля позволило получить инструменты для создания площадей оценки, автоматизированного сбора материалов изученности, собственно процедуру прогнозирования и выделения перспективных участков, инструмент по ведению эталонных объектов, справочника поисковых признаков, процедуру статистической оценки участков недр, выделенных как самой процедурой, так и пользователем. Применение бизнес-правил в системе и разграничение прав доступа к данным, позволило сделать результаты прогнозирования более объективными и понятными. Пользователи получили возможность просматривать результаты прогнозирования непосредственно в системе, без использования специальных приложений.

Ниже описан общий принцип работы при создании прогноза.

Команда экспертов анализирует материалы изученности, найденные информационной системой по заданной территории. Для каждого месторождения определенного типа (рудной формации) экспертами выделяются наиболее представительные поисковые признаки и перечень участков, на которых большинство поисковых признаков изучено. Перечень поисковых признаков регистрируется в информационной системе как база знаний [3] для изучаемого типа руды, а перечень участков с известной рудоносностью регистрируется как группа эталонных объектов. Для каждого поискового признака эталонной группы система подсчитывает средний весовой балл. После принятия результатов работ экспертов, зарегистрированные в системе признаки и эталонные объекты блокируются от дальнейших изменений.

При проведении оценки рудоносности пользователь в системе определяет площадь оценки и группу эталонных объектов. Система самостоятельно собирает материалы изученности из электронного архива, определяет перечень поисковых признаков и их весовые баллы. Для каждого поискового признака из материалов изученности пользователь может определить конкретные файлы (неоцифрованные и оцифрованные карты, схемы, материалы пояснительных записок и тому подобное), которые потребуются на последующих шагах. Если в системе ранее была зарегистрирована группа shp-файлов, соответствующая указанному виду поискового признака и пространственно попадает в пределы новой площади оценки, то такие данные будут найдены системой и сопоставлены поисковому признаку автоматически. По команде пользователя, система формирует ГИС-проект стандартной структуры и публикует его на сетевом диске.

Следующий шаг предполагает обработку материалов изученности профильными специалистами. Результатом работы является группа shp-файлов для каждого поискового признака, содержащая полигоны изученности и проявленности признака. По команде пользователя, система считывает изменения в ГИС-проете.

Далее, по команде пользователя, система самостоятельно создает регулярную сеть по заданным пользователем параметрам. Каждая ячейка сети оценивается с позиции суммарной изученности и проявленности поисковых признаков, рассчитывается суммарный балл, нормированный на показатель изученности (рис. 1). Суммарный балл рассчитывается с учетом весового коэффициента, полученного от группы эталонных объектов, что является его статистическим обоснованием. В настоящий момент система построена таким образом, что прогнозирование может производиться отдельно для каждого из известных типов месторождений (рудных формаций) по различным методикам, которые могут подключаться как самостоятельные системные модули. На текущий момент реализовано две методики: регионального и локального прогноза. Первая предназначена для выделения участков недр, перспективных для лицензирования под поиски и разведку полезных ископаемых. Вторая методика – для выделения участков под конкретные виды ГРР.

На следующем шаге автоматически выделяются перспективные участки недр, на основании порогового значения балла. Каждый выделенный перспективный участок оценивается системой набором среднестатистических показателей изученности и проявленности поисковых признаков. На данном этапе использования методики достаточным оказался расчет медианы и среднеквадратичного отклонения показателей. Последующий шаг позволяет пользователю скорректировать (сгладить) границы выделенных участков в картографическом модуле системы. При этом, среднестатистические показатели будут автоматически пересчитаны.

Указанные выше показатели далее участвуют в ранжировании перспективных участков. Возможности системы позволяют производить ранжирование участков недр, оцененных по одной методике, не ограничиваясь одной площадью оценки. По итогам ранжирования пользователь системы определяет вид работ (лицензирование, бурение, прочие виды ГРР), под которые данный участок был выделен.

В настоящее время завершается апробация результатов прогнозирования для региональной методики прогноза рудоносности медно-никелевого типа (Норильский рудный район), медно-порфирового и эпитермального медно-серебряного типа (Забайкалье). Предварительные результаты выделения перспективных участков по результатам прогнозирования на территории Забайкалья следующие: около 24% рудопроявлений меди и золота и 46% известных месторождений попали в пределы перспективных участков, отобранных по 50% релевантности к одному эталонному месторождению. При этом в пределы перспективных участков также были выделены территории, не имеющие ранее данных по рудоносности. Следует отметить, что для достижения конечного результата потребовалось неоднократно изменить как перечень выделенных поисковых признаков, так и подходы к расчету прогнозных показателей оценки рудоносности в системе. Работы по контрольному прогнозированию и совершенствованию поисковых моделей ещё продолжаются.

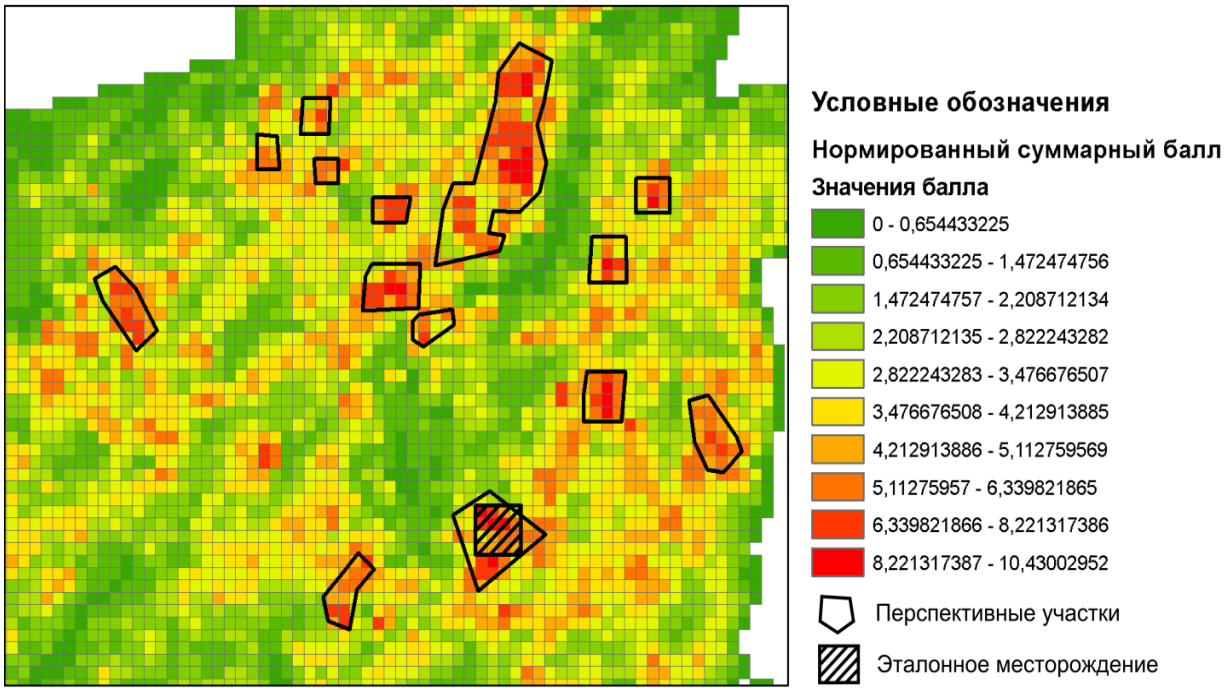

Рис. 1. Фрагмент карты прогноза рудных объектов медно-порфирового типа (Забайкалье)

В текущем году проводятся работы по апробации методов и процедур локального прогнозирования, готовится проект по дальнейшему совершенствованию методик прогнозирования, методов выделения поисковых признаков и систем их автоматизирующих.

По итогам реализации проекта «Норильскгеология» получила новый регламент оценки перспективных территорий и обоснования ГРР, включая обязательный расчет прогноза рудоносности на базе действующей методики и утвержденных поисковых моделях эталонных объектов. Кроме того, сформированный электронный архив документов позволил повысить эффективность поиска данных и позволяет четко определять те материалы изученности, которыми обоснована оценка перспективности выделенных участков. Действующие методы прогнозирования и результаты по-прежнему остаются зависимыми от экспертов, участвующих в определении поисковых признаков, но делают работу этих экспертов более формальной и нацеленной на результат. Формализация и автоматизация процедур выделения поисковых признаков является одной из последующих задач развития для сотрудников Норильскгеологии.

Список литературы

1. E.J.M. Carranza Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS – 1st ed. // Handbook of Exploration and Environmental Geochemistry. – 2009. – V. 11.

2. E.J.M. Carranza Geologically-constrained mineral potential mapping (Examples from the Philippines). Proefschrift. // International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). – 2002.

3. Николенко С. Машинное обучение. Курс лекций. ИТМО. – СПб, 2006.