

**Б. С. Коган**

канд. г.-м. наук, руководитель  
геологической службы Русской  
Горной Геологической Компании,  
bskogan@mail.ru

# К проблеме развития информационных технологий

в прикладной геологии Российской  
Федерации (ТПИ)

*Задача IT проекта – предоставить специалистам систему навигации по иерархии масштабов разветвленных металлогенических систем с возможностью исследования связей между их элементами и характеристиками для эффективного прогноза и оценки ресурсов.  
The IT project's objective is to give the specialists navigation system of different scales and complex metallogenic systems with an ability to examine the relationship between their elements and characteristics that are essential for effective geological survey and resource estimation.*

**Ключевые слова:** металлогения, 3D, прогнозно-поисковый комплекс, геологическое картирование, программное обеспечение, информационные системы

**Keywords:** metallogeny, 3D, geological mapping, geological survey, software, IT.

**Н**а российском рынке информационных технологий (ИТ) в геологии преобладает зарубежное программное обеспечение (ПО), эффективность которого в первом приближении удовлетворяет бизнес и международные стандарты. Однако широкое использование ИТ в Российской Федерации не в последнюю очередь сдерживается тем, что возможности существующего ПО недостаточны для решения металлогенических и поисково-оценочных задач в рамках идеологии и средствами 3D-моделирования.

С развитием графических интерфейсов простое построение карт стало рутинным; интенсивно развиваются методы реалистичной генерации ландшафтов и 3D-моделирования, появляются идеи виртуального проникновения в объемы 3D-моделей с целью анализа их структур; разрабатываются алгоритмы самоорганизации, эволюционного и нейросетевого моделирования и пр.

Представляется, что в ближайшем будущем методы и средства 3-мерного отображения геологического строения участков Земли в масштабах металлогенической иерархии по аналогии с порталами Google Earth и Google Mars могут оказаться в основе одного из наиболее впечатляющих проектов отраслевой ИТ. В конечном счете задача создания такого проекта должна сводиться к тому, что специалист, анализирующий взаимосвязи в иерархической структуре разветвленных металлогенических систем, получит возможность простым кликом мышки добираться до элементов моделей рудогенной подсистемы определенного масштаба, после чего исследовать их отображения и связи с информативными характеристиками, необходимыми для эффективного экспертного прогноза. Отсюда вытекает как минимум необходимость развития двух базовых направлений:

- идеологии и методов 3-мерного отображения и анализа сложных металлогенических систем всех масштабных уровней и
- методов количественных оценок рудных объектов иерархии на базе современных синергетических экспертных систем в 3-мерных вариантах, желательно в сканирующих режимах.

Анализ, однако, показал, что даже возможности существующих пакетов информационных систем (ИС) в ходе 3D-моделирования зачастую не раскрыты в силу профессиональной геологической беспомощности пользователей.

3-мерная модель геологической ситуации в любом масштабе – всегда гибридное взаимодействие

виртуальных и реальных компонент, включая границы моделируемых пространственно-распределенных объектов. Поскольку границы между объектами (стратиграфические, тектонические, интрузивные, метасоматические, рудные и т.д.), как правило, представляют собой временную последовательность, их композиция рассматривается в качестве 4D-модели. Отсюда очевидно, что увязка модели рудного объекта естественной сложности не может быть произведена оператором.

Очевидно также, что при имеющихся мощных, но явно недостаточных инструментальных средствах практической всех пакетов ИС не существует развитой идеологии и рецептуры 3D-моделирования объектов металлогенической иерархии с целью прогнозирования оруденения и оценки ресурсов объектов различного масштаба прогноза и поисков. Это в свою очередь ставит вопрос о необходимости развития ПО на основе традиций и достижений отечественной геологической науки с последовательным переходом от 2-мерных картографических отображений к 3-мерным.

Как известно, распределение рудных объектов в земной коре не случайно и характеризуется пространственной корреляцией с магматическими, метаморфическими, тектоническими и стратиграфическими элементами геологического строения, изучаемыми в различных масштабах территорий. В силу этого практически все отечественные классификации металлогенических объектов представлены классификациями иерархического типа.

**I.** Первым тезисом настоящего сообщения является утверждение, что геологическое понимание и системный подход к задачам 3-мерного моделирования важнее инструмента, а проблемно-ориентированная комплектация ПО эффективнее полного, универсального набора инструментальных опций с их кажущейся самодостаточностью.

На фоне существующего положения с развитием ИТ и ПО в Российской Федерации возникает стратегический вопрос: надо ли ждать создания адекватного ПО за рубежом или разрабатывать его собственными силами, тем более что аппаратные средства (компьютеры) развиваются опережающими темпами, а ПО объективно отстает. К постановке и решению этой задачи российские специалисты исторически готовы в большей степени, чем зарубежные.

Металлогенические структуры являются открытыми системами (транспортные процессы и массоперенос – основа рудогенеза), стохастическими и неравновесными (как

результат физико-химической необратимости рудогенных процессов). При их моделировании кроме материалов геологического картирования используются результаты геохимических, минералого-петрологических, геофизических, тектонических и тектонофизических исследований, включая экспериментальные. Идеологическая база создания моделей (инструментарий, понятийная база-тезаурус, легенда, модель) и рост их информационной емкости (системный анализ и экспертиза) обуславливают необходимость подготовки квалифицированных специалистов, то есть адекватной модернизации высшего геологического образования.

Возможности современной ИТ нельзя воспринимать как средство замены профессионального интеллекта даже для детально разведанных объектов, а при моделировании в масштабах региональных или локальных поисков оператор тем более не способен заменить геолога. В этом случае отображение структуры моделируемых объектов является по сути интерпретацией сложного, пространственно-временного соотношения разнородных геологических образований, в последовательности которых руда – финальный продукт.

Конструирование 3D-моделей с целью прогноза, поисков и выявления рудных объектов в металлогенической иерархии является, как и ранее, средством анализа перспективности территорий, в отношении которого предполагается, что оно является более мощным. Сколько-нибудь серьезного математического аппарата, а также типовых или универсальных ИТ, предназначенных для целенаправленной ситуационной обработки фактографической и пространственно распределенной информации с целью моделирования металлогенических структур и прогноза оруденения в их объеме пока не существует. В основном это обусловлено отсутствием содержательной интерпретационной составляющей в самой структуре программного обеспечения.

В любом случае, если современные технологии обусловили рутинность реалистичного отображения инструментально наблюдаемых ландшафтов, то создание моделей геологического строения определяется знаниями (школами), функцией которых являются как легенды карт и 3-мерных отображений, так и понимание способов увязки картируемых элементов в объеме структур различных иерархических масштабов. Проблема консенсуса при этом может решаться анализом конечного множества принципиально реализуемых вариантов моделей с различными соотношениями типов,

характеров границ и последовательностью увязываемых разнородных элементов геологического пространства.

II. Не претендуя на глобальное обобщение, можно выделить несколько рабочих направлений развития специализированного ПО в проблеме решения конечной задачи – металлогенического прогноза:

1) Продукты дистанционного зондирования – космо- или аэрофотоснимки, а также материалы порталов Google Earth и Google Maps являются

## **Идеологическая база создания моделей и рост их информационной емкости обуславливают необходимость подготовки квалифицированных специалистов и адекватной модернизации высшего геологического образования.**

растровым представлением приповерхностных зон металлогенической иерархии, разномаштабные элементы геологической структуры которой могут быть содержательно дешифрованы. Отсюда возникает необходимость развития проблемно ориентированного ПО с доброжелательным интерфейсом и специальными опциями для комплексного представления и суперпозиции разнородной, геологически достоверной (в рамках масштабной точности) информации, привязанной к дешифрируемым структурам реального пространства, что позволит повысить информационную емкость, качество отображения и эффективность результатов анализа. В качестве основы используется известный факт – особенности рельефа являются функцией геологического строения. Решается обратная задача: уточнение геологического строения (границ, пликтивных деформаций, разрывной тектоники) на установленных откликах в элементах рельефа. Потенциал такого материала в геологии неисчерпаем, но его использование остается недостаточно полным. Причина, как представляется, в утрате профессиональной геологической культуры.

2) Коррекция геологической основы 3D-моделирования методами ландшафтно-геологической интерпретации геохимических и геофизических данных. Параллельно решается проблема интерпретации слабоинтенсивных аномалий и, главное, появляется возможность интерпретации естественных вариаций структурированного «геологического шума» в процессе дифференциации фоновых

характеристик – высокочастотных составляющих спектра геофизических или геохимических полей. Другими словами – шум и фоновые составляющие поля – не одно и то же, а структура фоновых частей пространства может быть содержательно интерпретирована.

В качестве основных допущений принимается, что:

- пространственная структура локальных вариаций поля с метрически достоверными границами на субфоновых уровнях является отражением особенностей геологического строения территории и может быть содержательно интерпретирована;
- количество природных факторов, влияющих на локальную дифференциацию слабоинтенсивных составляющих поля, ограничено и устанавливается на базе априорных знаний и анализа пространственных корреляций.

Для геологической редукции (понимания) и восстановления пространственной структуры данных (с целью коррекции ее границ) выделяются варьирующие пространственные элементы поля, закономерно связанные (на уровне пространственных корреляций) с геологическим строением. В сущности, это операция согласования геологических, структурно-вещественных факторов как наиболее вероятных причин закономерных, пространственных вариаций значений поля (совместного дешифрирования и перекрестного анализа материалов в двух окнах):

- суперпозиции в цвете – цифровых значений геофизической карты поля масштаба съемки – гамма-, магнитного полей и пр. – на генерированной цифровой растровой 3D-модели рельефа территории того же масштаба;
- суперпозиции в цвете – геологической карты соответствующего масштаба – геологических комплексов, фаций и пород – на генерированной цифровой растровой 3D-модели рельефа территории;
- коррекция содержательной части карт и построение прогнозов на согласованных вариантах карт.

**3)** Для мелких масштабов иерархии необходимо развитие методов металлогенического анализа на базе пространственного исследования геологических 3-мерных моделей в сканирующих режимах. Мелкомасштабные характеристики геологической среды рудогенных событий, а также определенные пространственные соотношения их продуктивной составляющей могут рассматриваться как поисковые предпосылки или аналоговые критерии даже при отсутствии прямых признаков оруденения. Предполагается последовательный переход от создания и анализа

2-мерных геологических и металлогенических карт к 3-мерным отображениям. Для средних и крупных масштабов 3-мерное моделирование позволяет получать объемные модели структуры рудных полей и месторождений, а наложенные продукты рудогенеза отображать в виде геометризованных вставок с характеристиками продуктов последовательных процессов метасоматоза и рудоотложения с секущими, наложенными границами.

**4)** Итоговые результаты воплощаются в синтетических оценочных или прогнозных моделях на базе свертки данных и анализа суперпозиций результатов, в основном, геофизических и геохимических методов на рельефе с геологической основой. В ряде случаев, при поисках джеспилитов, железорудных скарнов, месторождений урана и редких металлов, аномалии поля одного параметра являются прямым поисковым признаком. Для месторождений цветных и благородных металлов, а также для нерудного сырья, включая алмазы и т.д., часть структурно-вещественных элементов моделей выделяется в качестве косвенных признаков. Информативными – служат многомерные (поликомпонентные, например, геохимические) критерии или синтетические показатели, которые создаются путем эвристического обобщения достаточно большого числа исходных численных характеристик. Характер их пространственного распределения, соотношения и плотности аномалий сконструированных показателей также является информационной производной.

Необходимыми представляются исследования и более общих проблем. Примером может служить разработка прогнозных моделей на основе совмещения теории фракталов с элементами теории протекания. Как показано выше, металлогенические объекты являются элементами иерархических, частично упорядоченных систем, связанных между собой на различных масштабных уровнях. Для описания систем с подобными свойствами успешно применяются методы теорий перколяции (протекания) и фракталов (известно, что пространственная структура металлогенических полей фрактальна). Теория протекания позволяет, с одной стороны, описать процессы, например, диффузии или инфильтрации в геологических средах, где кажущийся беспорядок ни на каком уровне не является однородным, а с другой – установить степень неоднородности и получить более точные представления о геометрических параметрах интересных объектов.

Транспортные структуры рудообразующих растворов, возникающие в дисперсных, тектонически подготовленных средах, могут

рассматриваться как частично упорядоченные системы протекания, а использование понятий и методов теории фракталов позволяет охарактеризовать и связать между собой элементы их структуры на различных масштабных уровнях системы. Это означает, что существует принципиальная возможность получения достаточно важных с практической точки зрения крупномасштабных количественных характеристик при изучении реальных рудомещающих структур на более мелких масштабах (например, на сетях наблюдений ранних стадий поисков).

На этих соображениях основаны попытки использования теории фракталов в металлогении; методы же теории протекания в геологических исследованиях до сих пор достаточно экзотичны. Представляется, что тектонофизические и вещественные (геохимические) 3-мерные модели на основе данной концепции позволят получать значимые прогнозные и поисковые следствия. В качестве аналогии отметим, что тектонофизические модели М. В. Гзовского позволяли предсказывать структуры высоких порядков (масштаба рудогенерирующих), сопряженных с легко диагностируемыми, крупными региональными тектоногенами, и выявлять их в пределах исследуемых регионов. Имеются российские принципиальные наработки в рассматриваемом направлении и опыт их применения.

Безусловно, необходимо развитие и других направлений в смежных отраслевых ветвях ИТ.

**III.** Стандартной идеологии формирования экспертных оценочных моделей (экспертных систем) в регламентируемом виде не существует. Она может появиться лишь в ходе обстоятельной дискуссии специалистов. В целом же одной из тенденций развития ИТ является их интеллектуализация, то есть переход от систем, оперирующих данными, к системам, обрабатывающим знания. С этим связано возникновение нового направления в информатике – инженерии знаний, на основе которой развивается идеология и методология экспертных систем (ЭС), предназначенных для решения проблем и выработки рекомендаций на базе эвристических правил, сформулированных ведущими экспертами. Период повышенного внимания к ЭС в металлогении (один из удачных примеров – ЭС «PROSPECTOR») относится к 70–80-м гг. прошлого века.

Эволюцией развития ЭС в металлогении является применение синергетического подхода в прогнозировании оруденения, в рамках которого рудные объекты рассматриваются как целостные системные образования, неразрывно

связанные с геологическим развитием разномасштабных единиц металлогенической иерархии. В качестве относительной новизны здесь предлагается разработка и развитие соответствующего программного обеспечения с ориентацией синергетических экспертных систем на работу в среде 3-мерных металлогенических отображений в сканирующих режимах.

Методология и инструментальные средства, апробированные в ЭС, окажутся полезными для тиражирования авторских методик ведущих ученых и практиков в дистанционных формах обучения через Интернет с помощью динамической ЭС реального времени. Применение ЭС эффективно в коротких формах обучения – повышении квалификации, стажировке, про-

## **Одной из тенденций развития информационных технологий является их интеллектуализация, то есть переход от систем, оперирующих данными, к системам, обрабатывающим знания.**

фессиональной переподготовке, – нацеленных на быстрое освоение слушателями учебного материала по металлогеническим проблемам. С помощью ЭС представляется возможным создавать процедуры, инициирующие умение сводить смысл вновь вводимых понятий к смыслу ранее усвоенных образов в структуре 2-мерных моделей рудообразующих сред.

В России исследования и разработки в области ЭС включены в ряд государственных и отраслевых научно-технических программ. Системы с базами знаний не только находят практическое применение в бизнесе и в решении серьезных информационных задач, но и демонстрируют ощутимый эффект от их использования. Чрезвычайно эффективными оказались ЭС поддержки организационного управления и планирования распределения ресурсов Минприроды России.

### **Выводы.**

Геологическая отрасль Российской Федерации испытывает острую необходимость в эффективных информационных системах и программном обеспечении, оптимизирующих работу прогнозно-поискового комплекса. Основной проблемой здесь является развитие методов и ПО для последовательного перехода к 3-мерному моделированию в геологическом картировании и металлогении.

Ответ на вопрос о необходимости развития отечественных ИТ в этом направлении очевиден, тем более что все зарубежное программное обеспечение не закрывает суммы проблем теоретической и прикладной науки, по крайней мере в этом блоке задач. Пока отраслевой бизнес вынужден пользоваться зарубежными ИТ-продуктами, происходит выхолащивание собственно геологических концептуальных моделей, на развитие которых была ориентирована отрасль в недавнем прошлом, когда проблемы решались взаимодействием специалистов РАН и отраслевых НИИ с геологами специализированных экспедиций в ходе регионального картирования и совместного изучения рудных объектов.

Однако национальная безопасность предполагает развитие отрасли в условиях межгосударственных экономических конфликтов переходного периода и конкуренции при стартовом отставании на рынках инновационных технологий и интеллектуальных услуг. С учетом сложившейся экономической ситуации, а также приведенных соображений можно предположить, что российским фирмам-разработчикам придется найти резервы для создания современных концепций и программного обеспечения в решении задач прогнозно-поискового комплекса с учетом отечественной специфики регламентов, традиций и инструктивно-методических особенностей горнорудного производства. Потенциальные возможности и интеллектуальные ресурсы для этого есть.

При этом на международной арене информационных технологий признается, что программное обеспечение остается недостаточно всеобъемлющим, удобным и понятным для широкого использования, а специалисты-прикладники и эксперты до сих пор не готовы сформулировать свои требования к функциям и структуре отраслевых информационных систем, особенно в части повышения эффективности прогнозно-поискового блока. Нельзя выигрывать конфликты, ожидая развития необходимых технологий у конкурентов; для ключевой отрасли экономики необходим системный подход как к внедрению элементов универсального зарубежного, так и к разработке идеологии и собственного, проблемно ориентированного программного обеспечения.

Что касается последнего, то с 80-х гг. прошлого века в Российской Федерации появлялись (и продолжают появляться) программные разработки отраслевых производителей с простым, часто тривиальным, но постоянно улучшающимся оформлением. Этими разработками, как правило, решаются конкретные задачи

геохимиков, геофизиков, съемщиков, поисковиков, разведчиков, и при этом они отсутствуют в зарубежных пакетах ИТ. В продвинутой нефтяной ветви отрасли уже созданы высокопрофессиональные, конкурентно-способные как обрабатывающие (например, Isoline-GIS и др.), так и прогнозно-оценочные системы.

Отечественные разработки могут занимать определенные ниши и на рынке универсальных ИТ, поскольку пользователям нравится простой, доступный продукт с интуитивным интерфейсом, учитывающий традиции классической прогнозно-поисковой геологии, который обеспечивает именно то, что от него хотят. При этом программный продукт может обладать открытой архитектурой, что позволит его наращивать и развивать в контексте возникающих в ходе эксплуатации новых потребностей, в том числе и с генерацией идей на основе результатов отечественной фундаментальной и прикладной науки.

Понятно также, что конкуренция на рынке интеллектуальных услуг является не определенной проблемой; более важен тот тривиальный факт, что ИТ становятся основной средой и средством познания (исследований) и обучения методам решения фундаментальных и прикладных задач геологии. Это в свою очередь определяет необходимость кардинальной модернизации отрасли и высшей школы, тождественной перестройке промышленности конца XX века, которая явилась следствием пост-релятивистской (космической) и пост-квантовой (микро- и нано-технологической) революций в физике, в основе которой может оказаться последовательный переход к 3-мерному моделированию в металлогенических исследованиях. Реставрация и передача базовых достижений и традиций российской геологической школы в этих условиях может оказаться самым окупаемым направлением в текущей модернизации. Модернизация – это всегда производная существующего, от качества и соответствия региональным условиям которого в сильной степени зависит результат, в том числе и коммерческий. В данном случае новое заключается и в том, что появилось ясное понимание того, насколько ценной оказалась научная парадигма недавнего прошлого.

В среде отраслевой ИТ практически по всем направлениям в настоящее время изобретено и лишь локально используется гораздо больше, чем внедрено и развивается. В сущности, кризис кончается, когда общество внедряет накопленные наработки с существенной, часто – базовой перестройкой экономик, которые затем самостоятельно эволюционируют в развитых отраслевых средах. ■