

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРАКТИКЕ ОСВОЕНИЯ НЕДР РОССИИ

В России только к 2000 г. на большинстве горных предприятий появились необходимые компьютеры и пакеты профессиональных программ обработки разведочных данных, но не было опыта работы, отсутствовала правовая база их применения. Инвесторы и специалисты из стран Запада, с двадцатилетней традицией компьютерного моделирования запасов, столкнулись в России с проблемой: органы государственной экспертизы (ГКЗ и ТКЗ) не принимали к рассмотрению результаты такого подсчета, требовали его выполнения вручную. Для российских компаний одинаково необходимы и подготовка специалистов по применению новых технологий, и развитие их правовой базы. В России блоки подсчета запасов принято оконтуривать по бортовому содержанию или другим «экономически обоснованным» параметрам, чем искусственно выделяется только «промышленная» часть месторождения, занижаются его запасы и завышается среднее содержание металла в руде. Преимущества компьютерной оценки заключаются не только в ее оперативности и скорости расчетов, но и в возможности моделировать геологическую среду в ее природном виде, без ограничения кондициями. Экономическое бортовое содержание применяется к блочной геологической модели только после ее формирования. Освоение этой концепции для российских геологов важнее, чем умение оперировать самой компьютерной системой. Принципиальные различия между традиционными в России и принятыми на Западе методами подсчета запасов рассматриваются на типовых примерах.

In Russia only by 2000 the majority of mining enterprises managed to get the indispensable computers and professional software for processing the exploratory data, but there was no experience to use them, neither was a legal base of their applying. Investors and specialists from western countries, with twenty years' tradition of computer modeling for evaluation of ore reserves, have met in Russia the unusual problem: the governmental expert organs (State and Regional Commissions on Mineral Reserves) did not accept to consider the results of computer counting of reserves, but required their manual implementation. Thus, actually, the Russian mining companies need equally as the training of specialists to apply new computer techniques, so the progressing of legal base for their usage. The traditional Russian habit assumes the delineation of blocks with calculated reserves by a cutoff grade or some other «economically justified» arguments. In that way, only the «industrial» (feasible) part of a field becomes artificially separated, its reserves, as a rule, underestimated and the mean grade increased. Advantages of computer estimation aren't only in its operationability and speed of accounts, but also in a possibility to model ore field as the natural geologic system, without limitation by quality requirements. Economic cutoff grade should be applied to the unitized geological model only after its complete forming. Development of this concept for the Russian geologists is more relevant, than skill to operate with the computer system. The principal diversities between the traditional Russian techniques and contemporary western methods of evaluating the ore reserves are demonstrated by some sample examples.

В истории освоения компьютерных технологий в геологии и горном деле России условно можно выделить три этапа. Первые персональные компьютеры появились в России в конце 1980-х годов, и первый этап (1980-е – 1995 г.) характеризовался наличием машин, но отсутствием программного обеспечения, навыков и юриди-

ческой базы их использования. Первые компьютеры «286» были оснащены лишь общими программами в системе DOS.

В то время на русском языке уже были опубликованы статьи и монографии о математическом моделировании месторождений, но сами программы обработки разведочных данных и моделирования трехмерной среды

в России не были известны. В западных странах такие программы существовали и ими активно пользовались. Так, компания «Micromine» уже в 1980-е годы действовала на мировом рынке, выпустив первые версии своих программ.

В начале 1990-х годов на смену 286-м пришли более быстрые 386-е компьютеры, стали активно использоваться первые версии Windows. Но геологи России тогда даже не знали о существовании систем интерполяции разведочных данных о содержании и моделировании рудных залежей. «Micromine» в то время стала лидером на мировом рынке в разработке программного обеспечения для геолого-разведочных работ.

В середине 1990-х годов в Россию проникли системы геологического моделирования, оконтуривания и подсчета запасов, но сама концепция конструирования блочных моделей оставалась неизвестной, т.к. не увязывалась с требованиями Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ), не имела в те годы поддержки в Министерстве геологии. В освоение месторождений России в те годы стали активно включаться западные инвесторы. Они предпочитали технико-экономические обоснования (ТЭО) с блочным моделированием запасов, а не пухлые тома расчетов вручную. Эти инвесторы сразу столкнулись с проблемой: результаты компьютерного подсчета не принимала государственная экспертиза, не утверждали комиссии по запасам (ГКЗ и ТКЗ). Западные компании были вынуждены заказывать подсчет запасов по традиционной методике в проектных институтах России: вручную, на него затрачивались месяцы работы многочисленных сотрудников. В итоге подсчет запасов выполнялся параллельно в двух вариантах: один – для работы (на компьютере), второй – для утверждения в ТКЗ или ГКЗ. В целом, проблемы начального этапа освоения компьютерных технологий в разведочном деле заключались в следующем.

Даже с появлением необходимых по мощности компьютеров системы моделирования структуры и запасов месторождений в России не имели распространения, не были

освоены специалистами; их применение не имело правовой базы. При этом западные компании и эксперты банков для решения вопроса об инвестициях требовали блочные модели месторождений с компьютерной оценкой запасов. Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых России и ее территориальные органы (ТКЗ) компьютерные модели месторождений к рассмотрению не принимали, требовали материалы с блокировкой запасов традиционным полигональным методом.

На втором этапе, после 1996 г., в наличии были и компьютеры, и программы обработки данных, но по-прежнему отсутствовали навыки работы с ними и правовая основа их использования.

К 2000 г. большинство геологических предприятий в России имели компьютеры современного типа и пакеты профессиональных программ для обработки геологических данных. Внимание геологов привлекли в первую очередь системы ГИС, типа Arc View и Map Info, которые оказались своего рода переходным звеном между черчением на бумаге и системами трехмерного моделирования.

ГИС-программы позволяют эффективно работать с многослойными двумерными данными, например, с таким материалом, как аэрофотоснимки, но ГИС-системы создавались не для горной промышленности и не для моделирования трехмерных сред. Им недоступен статистический анализ данных и, тем более, интерполяция измеренных значений, например, содержания. Концепция блочного компьютерного моделирования месторождений по-прежнему не имела поддержки государственных служб, поэтому в разведочной практике не распространялась. В странах Запада технологии трехмерного компьютерного моделирования месторождений используют уже более 20 лет, и к 2000 г. компания «Micromine» выпустила 8-ю версию своего программного продукта и утвердилась как лидер среди разработчиков программ для горно-рудной промышленности.

Около 2000 г. в России появились компании, рискнувшие приобрести программы

трехмерного моделирования месторождений для подсчета запасов. Они сразу столкнулись с проблемой непреклонности ГКЗ, принимающей к рассмотрению только материалы подсчета с традиционным полигональным оконтуриванием на чертежах и отвергающей блокировку запасов, выполненную компьютером. Продолжался двойной учет запасов: 1) в варианте ручного оконтуривания и табличных расчетов, понятных для ГКЗ; 2) современный компьютерный – для собственного планирования. В этот период стал остро ощущаться дефицит квалифицированных кадров, способных работать с закупленными дорогостоящими системами обработки данных. Компании, продавшие такие системы, мало заботились об обеспечении покупателей русифицированными версиями программ, организационной поддержке, обучении персонала.

Таким образом, к 2000 г. в России определился следующий круг проблем:

- отставание профессиональной подготовки российских геологов от современных технологий моделирования месторождений и подсчета их запасов;
- ориентация на компьютерные ГИС-технологии, не предназначенные для оценки месторождений;
- отсутствие русифицированных версий необходимых компьютерных программ и систем их поддержки на русском языке, что затрудняло подготовку квалифицированных специалистов;
- распространение практики двойного учета запасов: формального – для ГКЗ и для реальной оценки и планирования – «для себя».

В это время некоторые программисты занялись в России разработкой собственных программных продуктов для горных и разведочных предприятий (как в 1980-е годы в СССР принялись создавать отечественные компьютеры, совместимые с IBM). Но за год-два невозможно наверстать 20-летнее отставание от зарубежных разработок, уже проверенных практикой. И в прикладной российской геологии сложилась настоящая «революционная ситуация»: специалистам стыдно считать запасы с линейкой и плани-

метром, но «верхи» не хотят менять методику подсчета, апробированную дедами и прадедами. Ситуация обостряется тем, что оценки месторождений, основанные на запасах, подсчитанных вручную, не принимают к рассмотрению эксперты никаких западных банков и приверженность устаревшим методикам означает отказ от иностранных инвесторов. В этих условиях компания «Micromine» приняла решение открыть свое представительство в России, готовить русифицированные версии своих программных продуктов и систем их поддержки.

Настоящее время – это третий этап, когда в наличии есть и компьютеры, и их программное обеспечение, и надо готовить специалистов, а в государственной системе – развивать правовую основу применения компьютерных технологий.

После приобретения систем компьютерного моделирования месторождений российские геолого-разведочные и добывающие компании сразу сталкиваются с проблемой квалифицированных кадров – с острым недостатком грамотных пользователей такими профессиональными системами. Преподавание методики компьютерного моделирования только сейчас начинают вводить в учебные планы российской высшей школы.

Высокий профессиональный уровень российских геологов очевиден, но сам по себе он не компенсирует отсутствие навыков работы с компьютерными системами. Даже когда российские компании заказывают выполнение подсчета запасов с блочным моделированием месторождения в российских проектных институтах для утверждения этих материалов в ГКЗ, качество работы, как правило, оставляет желать лучшего. Даже когда исполнитель умеет оперировать компьютерной системой обработки разведочных данных, отсутствие практических навыков в работе с конкретным программным продуктом приводит к серьезным методическим ошибкам, принципиально меняющим оценку проекта. Понимание методических основ оказывается важнее, чем умение оперировать системой моделирования.

Проблемы настоящего времени выглядят следующим образом:

- дефицит квалифицированных кадров, обученных компьютерному моделированию месторождений;

- слабое понимание самой концепции компьютерного моделирования у специалистов, выполняющих оценку запасов.

И, как следствие:

- низкое профессиональное качество компьютерных моделей, выполненных специалистами даже в государственных проектных организациях;

- «синдром» конструирования не геологических, а «условно-экономических» моделей месторождения.

В этих условиях необходима организация специальных курсов повышения квалификации для геологов-практиков и горных инженеров, введение дисциплины «Математическое моделирование месторождений» в учебные программы высшей школы. Необходимо тесное сотрудничество между компаниями – поставщиками компьютерных систем, учебными заведениями и компаниями – потребителями систем. «Micromine» тратит значительные силы и средства на то, чтобы вначале ознакомить пользователей своих систем с методическими основами и лишь затем – с техникой их применения. На сайте компании в Интернете представлено подробное описание методических основ моделирования с использованием продуктов «Micromine»; методических руководств такого типа не предлагают никакие другие компании.

В чем состоит главное различие между традиционным методом полигонального оконтуривания подсчетных блоков на чертежах и компьютерным моделированием тех же рудных тел, из-за которого российским пользователям так сложно освоить новую для них методику? Основная проблема заключается не в сфере управления многофункциональными программами, а в преодолении своеобразного психологического барьера, стереотипов многолетнего следования требованиям методических указаний и инструкций по оценке запасов с их оконтуриванием по линейке, вручную. Истори-

чески сложилось так, что в России основой подсчета запасов всегда служили некоторые экономические показатели, «предельные требования» – кондиции. При таком подходе даже такой естественный параметр, как форма рудного тела, может радикально меняться, в зависимости от граничного значения «бортового содержания».

В западном мире геолог стремится моделировать геологическую среду месторождения в том виде, в каком она была сформирована природой. Действует принцип: «Геология первична, экономика – вторична», и экономические критерии исключаются из рассмотрения до получения геологической модели, максимально близкой к действительности. Для оконтуривания зоны минерализации (рис.1), ее геологических границ, а не «рудных тел» определяют естественное для нее, природное значение бортового содержания (рис.2).

По традиционной схеме в России геологи, прежде чем подсчитать запасы месторождения, составляют обоснование кондиций и официально утверждают их значения, затем, в соответствии с этими кондициями, оконтуривают рудные тела; тем самым геологический объект моделируется через экономические параметры. Как правило, выполняется повариантная оценка запасов, с использованием нескольких разных значений бортового содержания или другого параметра кондиций (рис.3). Для каждого варианта работа по оконтуриванию границ и подсчету запасов в этих контурах повторяется в полном объеме, что означает, в частности, многократные затраты времени и средств.

При компьютерном моделировании фиксируются естественные границы рудной минерализации и получается модель геологической среды. К ней можно применить любые экономические параметры: посчитать запасы с набором бортовых содержания, оценить при разных значениях минимальной промышленной мощности или для разных коэффициентов вскрыши. Оценка месторождения будет производиться по разным экономическим показателям, но его геологическая модель от этого меняться не



Рис.1. Условная схема минерализованной зоны

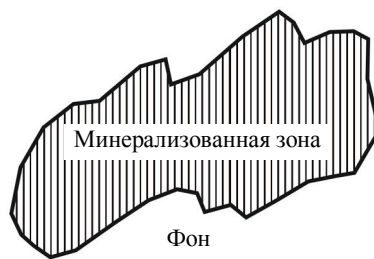


Рис.2. Оконтурирование минерализованной (рудной) зоны по ее естественной геологической границе (подход западных геологов)

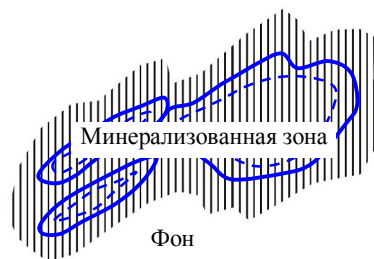


Рис.3. Оконтурирование рудных тел при двух разных значениях бортового содержания

будет. Обновление геологической модели потребует лишь в том случае, если существенно пополнятся данные опробования или изменятся представления о структуре и морфологии рудной зоны.

При традиционном российском подходе получаемая модель месторождения жестко связана с введенными исходными параметрами. Она пригодна для использования, только пока эти параметры сохраняются. Если изменится любой из них, то потребуются полный пересчет запасов, заново, начиная с оконтурирования. В условиях рыночной экономики кондиции на минеральное сырье – величины такие же переменные, как и его цены. Например, изменение цен на золото вполне может потребовать перехода от бортового содержания 2 г/т к 2,2 или 1,8 г/т, с соответствующим изменением контуров рудных тел и объемов рентабельной добычи. Традиционный подход предполагает в этом случае длительную процедуру переутверждения кондиций и полного пересчета и переутверждения запасов. Когда геологическая модель месторождения, включая распределение содержаний в его объеме, зафиксирована в компьютере, то пересчет его балансовых запасов при новых условиях – дело нескольких минут.

Для многих месторождений выбор бортового содержания – ключевой элемент их моделирования: его значение определяет контуры рудной минерализации и конструкцию каркасных моделей, которые, в свою очередь, задают объемы рудных тел и выборки проб для интерполяции содержаний. Таким образом, бортовое содержание

определяет и общие запасы, и средние содержания в рудах месторождения. Геологи-производители часто не могут понять: как для интерпретации границ и структуры промышленного оруденения можно использовать «естественное бортовое» содержание, которое заведомо ниже минимально-промышленного? Принципиальное решение этой проблемы можно рассмотреть на примере месторождений золота (рис.4).

Гистограмма показывает, что распределение золота близко к логнормальному, и по ней можно наметить границу естественного бортового содержания для концентрированной золоторудной минерализации – 0,4 г/т. Если же ориентироваться на экономически обусловленное бортовое содержание, около 2 г/т, то в моделировании месторождения будет участвовать далеко не весь объем природной концентрации золота (в модели не будут учтены около 20 % проб). Следствием их исключения станет низкая надежность оценки распределения содержаний, с вероятным завышением среднего содержания золота в рудных телах.

При традиционном для России подходе рудное тело будет оконтурировано как мало-мощное, с объемом значительно меньшим, чем естественные границы рудной зоны (рис.5). Для всего объема рудной залежи в межскважинном пространстве содержание будет принято выше, чем бортовое; на самом деле может быть и не так. При интерпретации разведочных данных в полном объеме рудной минерализации, в ее естественных границах, в оценку распределения

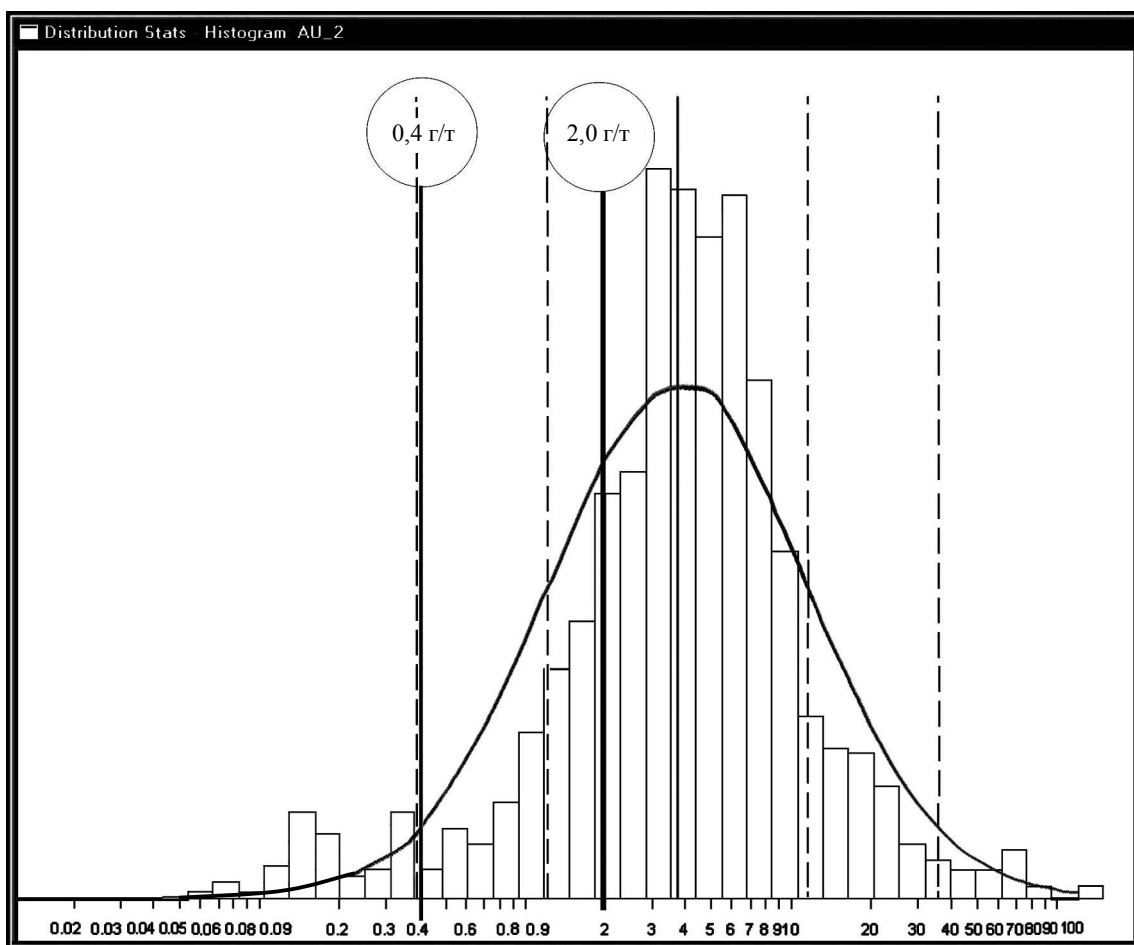


Рис.4. Гистограмма распределения содержаний золота на одном из австралийских месторождений

содержаний вовлекаются все пробы выборки, и она получается более обоснованной.

Известно, что полигональные модели месторождений – с блоками, оконтуренными на чертежах, по линейке, по «экономически обоснованному» бортовому содержанию, часто завышают среднее содержание металла в руде и занижают его общие запасы в месторождении. Поэтому экономическое бортовое содержание должно быть применено к блочной модели только после создания полной геологической модели на основе природного бортового содержания.

При экспертизе материалов подсчета запасов (рис.6) может возникать такой вопрос: «Почему модель промышленного оруденения срезается линией, за которой коэффициент вскрыши превышает его предельно допустимое значение? Ведь оруденение на этой границе не заканчивается». По россий-

ской традиции, однажды утвержденные параметры «постоянных кондиций» имеют абсолютное значение, выходить за их пределы категорически нельзя. Очевидно, что при таких жестких ограничениях не только искажается представление о реальной форме и размерах залежей, но и неверно оценивается качество руды в их краевых частях, где данные опробования «законтурных» выработок не участвуют в расчете средних содержаний в межскважинном пространстве.

Искажение реального объема рудного тела происходит и когда его границы фиксируются таким параметром, как минимальная промышленная мощность (рис.7). В этом примере очевидно, что минерализация не заканчивается между скважинами, геологическое тело непрерывно. Кроме объема искажается и представление о распределении содержаний, так как пробы по сред-

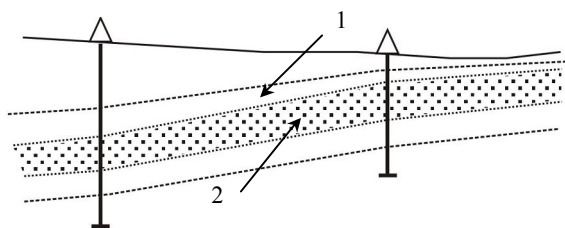


Рис.5. Оконтуривание залежи по «природному» 1 и «экономическому» 2 значениям бортового содержания

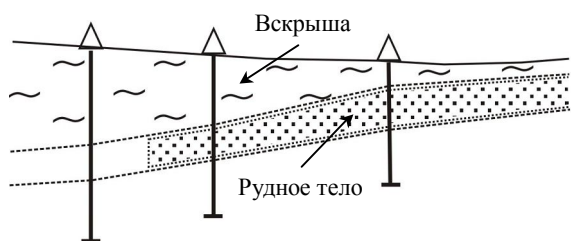


Рис.6. «Потеря» запасов в краевой части залежи, искажающая общую оценку ее запасов

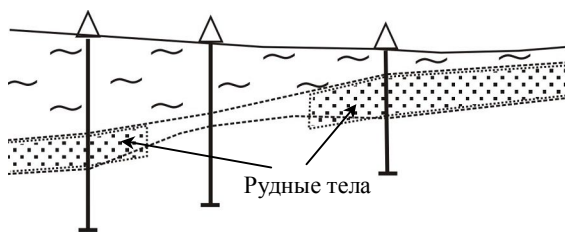


Рис.7. Искажение реальных запасов залежи формальным исключением блока с некондиционной мощностью

ней скважине исключаются из статистического и геостатистического анализов, они не участвуют в интерполяции содержаний.

В западных компаниях геологи не обрезают рудные тела параметрами кондиций, а моделируют зону рудной минерализации, интерпретируя всю имеющуюся разведочную информацию с максимальной полнотой. Вопросы целесообразности отработки тех или иных блоков на основе такой полной геологической модели решает горный инженер.

В целом методика компьютерного моделирования, в сравнении с традиционным в России полигональным оконтуриванием, имеет следующие преимущества:

- создание исходной геологической модели, независимой от переменных экономических критериев;

- возможность многовариантной экономической оценки запасов (например, при разных значениях бортового содержания, с различными методами учета ураганных проб) на основе неизменной, первичной геологической модели месторождения;

- возможность быстрой оценки эластичности (чувствительности) запасов по отношению к переменным экономическим параметрам (бортовое содержание, коэффициент вскрыши, минимальная промышленная мощность и т.д.);

- возможность одновременной оценки запасов несколькими независимыми методами (кригинга, ближайшего района и полигональным);

- минимальные затраты времени и средств на оценку и переоценку запасов: объемы и распределение кондиционных блоков меняются в системе неизменной геологической модели.

Сама по себе компьютерная оценка запасов имеет следующие несомненные преимущества перед черчением и расчетами вручную:

- Г быстрота, оперативность оценки запасов; все задачи, которые решаются вручную, выполняются и в компьютере, но гораздо быстрее;

- Г специалисты западных инвестиционных фондов, эксперты банков примут к рассмотрению технико-экономические обоснования (ТЭО) только с компьютерным подсчетом запасов; компьютерная обработка разведочных данных – необходимое условие привлечения западных партнеров и инвесторов;

- Г при пополнении аналитической базы данных или изменениях представлений о геологическом строении месторождения компьютерное моделирование обеспечивает быструю переоценку запасов; для месторождения, смоделированного один раз, разработанная методика, процессы и макросы могут быть многократно использованы заново;

- Г наглядность отображения разведочных данных в трехмерной среде, Micromine

позволяет просматривать модели месторождений в любых ракурсах трехмерных стереопроекций;

Г возможность быстрого выполнения разведочной графики: планов, разрезов, проекций – с полиграфическим качеством печати;

Г возможность детальной проверки первичной геологической информации, результатов опробования, аналитических данных;

Г возможность детальной проверки всех элементов выполняемой оценки и полученных результатов, поскольку сохраняется доступ ко всем выполненным операциям.

Следует подчеркнуть, что само по себе наличие компьютера и пакета программ для оценки запасов вовсе не означает, что запасы

будут посчитаны достоверно. Так же, как покупка редактора Word не гарантирует, что его обладатель сразу станет грамотно писать. Любая компьютерная система – всего лишь набор инструментов для решения специальных задач. Конечный результат полностью зависит от грамотности специалиста-исполнителя, от его понимания геологии месторождения и методологии его моделирования.

Переход к компьютерным методам обработки разведочных данных неизбежен и в России. Преимущества этой технологии очевидны, есть и инструмент для работы – система программ Micromine.