УДК 550.8:553.492.1+681.3.06

В.А.БРОНЕВОЙ, Т.Н.ГУТНИКОВА,
В.И.СИРОТИН, С.А.ТИХОМИРОВ
ОАО «ВАМИ», Санкт-Петербург

ОПЫТ РАБОТЫ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ И ПРОЕКТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ РОССИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ В АЛЮМИНИЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Сопоставление данных разведки и эксплуатации бокситовых залежей за многолетний период показывает высокое качество их предпроектного изучения. Разведочные работы в России обеспечивали достоверный подсчет запасов и оценку месторождений. Компьютерные системы открывают широкие возможности анализа, операций с большими массивами данных, резко сокращают сроки выполнения работ, однако не следует ограничивать базу моделирования только первичными материалами разведки. У месторождений, прошедших экспертизу Государственной комиссии по запасам и включенных в государственный баланс запасов, есть утвержденные трехмерные контуры, их оцифровка – чисто техническая задача. Недопустимо пренебрегать сводной документацией (планы, разрезы, проекции и т.п.), выполненной специалистами, изучившими объект в натуре. Во всех случаях вариант подсчета запасов, утвержденный ГКЗ МПР РФ (СССР), должен считаться базовым; если компьютерная модель от него отклоняется, требуется ее документальное обоснование и согласование с государственной экспертизой. Особая проблема компьютерных технологий – их доступность для пользователей без профессионального опыта, возможность формального моделирования и подсчета запасов без критического анализа вводимых параметров и получаемых результатов. Регламент применения компьютерных моделей должен сопровождаться разработкой российского аналога «JORC Code» («Нормы и правила по составлению отчетов о ресурсах и запасах руды»).

Comparison between data of exploration and real mining of bauxite ore fields for a long-term period demonstrates high quality of their geological investigations. Exploratory operations in Russia ensured authentic evaluation of reserves and estimation of mining conditions. The computer systems open out ample opportunities of analysis operating with huge volumes of data, they abbreviate sharply the time needed for designing works, but it is necessary that the base of modeling should not be limited by the primary exploratory data only. The ore fields passed through expertise of SEC, included in a state reserve balance do have affirmed three-dimensional outlines actually, their digitization is the mere technical problem. It is invalid to neglect the summary documentation (plans, sections, projection, etc.), compiled by the specialists having studied the ore deposit in its nature. In all cases, the evaluation of reserves approved by the SEC of Russian Federation (USSR) should be considered as a baseline; its deviating alternatives provided by the computer modeling ought to require a documentary justification and to be coordinated with the state expertise. Computer technologies impact the special problem – their accessibility to users lacking professional experience, the possibility of a formal modeling and calculations, and, thus, appraisal of reserves without proper analysis of input arguments and obtained results. Rules of application of the computer modeling should be supported by the Russian analog of the «JORC Code» («Norms and rules on compiling reports about ore resources and reserves»).

За полвека в стране накоплен богатый опыт строительства новых и реконструкции действующих предприятий по добыче и переработке глиноземного сырья. Как правило, эти работы проводились крупными межведомственными коллективами геологоразведочных и проектных организаций. Подготовка сырьевой базы алюминия и создание мощностей по добыче бокситов (до 10,0 млн т/год и более) проводились на тер-

ритории СССР, а также в Китае, Индии, Турции, Югославии, Румынии, Гвинее и других странах, с суммарным выпуском глинозема более 7,5 млн т/год. Общее сопоставление данных разведки и результатов эксплуатации бокситовых залежей за 60-летний период позволяет получить следующие выводы о качестве предпроектной подготовки сырьевой базы.

1. Совпадение параметров количества и качества добытого глиноземного сырья и показателей, предусмотренных в проектах добычи, свидетельствует о полном подтверждении результатов разведки. Алгоритмы и приемы традиционной методики подсчета запасов, с их простым математическим аппаратом, обеспечили до начала эксплуатации достоверную информацию по всем основным горно-геологическим аспектам:

– о количестве реально извлекаемых запасов в отдельных рудных телах, в целом во всех залежах месторождения или рудного района (провинции);

– о товарном качестве глиноземного сырья с учетом потерь и разубоживания при добыче;

– о пространственном положении и форме рудных тел, их геометрии в трехмерном пространстве недр.

2. Запасы всех месторождений, в полном их объеме, прошли в свое время экспертизу в Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ МПР РФ, ранее – ГКЗ СССР) для включения в государственный баланс: при утверждении временных и постоянных кондиций, затем при самом подсчете с оценкой достоверности разведки.

3. Соответственно, можно утверждать, что методика и практика разведочных работ, выполнения ТЭО кондиций и подсчет запасов месторождений (в данном случае алюминиевого сырья) опирались в России на вполне корректные требования инструктивных документов:

– к необходимой плотности разведочной сети;

– к контролю качества бурения, отбора и обработки проб;

– к внешнему и внутреннему контролю аналитических работ;

– к принципам оконтуривания рудных тел и определения исходных данных подсчета;

– к методике и техническим приемам геометризации этих тел, расчету объемов и запасов.

При ручном расчете (как и при машинном, с программами любого типа) неизбежно возникают сомнения в точности экстраполяции и интерполяции данных в краевых частях залежей, в зоне редкой разведочной сети, на границе «руда – не руда». Обычно эксперты ГКЗ решают эти сомнения достаточно просто: все, что сомнительно, отсекается. Значение и знак возникающей при этом ошибки можно оценить по фактическому приросту добытых запасов, по сравнению с разведанными и подсчитанными. Материалы полувекового опыта эксплуатации показывают, что по крупным месторождениям и рудным провинциям реально отработанные запасы на 5-15 % и более превышают подсчитанные и утвержденные по данным детальной разведки. Кроме того, в России по месторождениям алюминиевого сырья не известно ни одного случая неподтверждения запасов в масштабе рудного тела.

Можно констатировать, что уровень квалификации геологов-разведчиков, действовавший в России регламент проведения разведки и подсчета запасов месторождений (методические указания и рекомендации, инструкции и директивные положения), система экспертизы кондиций и подсчета запасов, контроля и надзора за деятельностью добывающих предприятий (Госгортехнадзор, Геолконтроль и др.) более 60 лет обеспечивали вполне достоверную оценку месторождений алюминиевого сырья, без каких-либо существенных ошибок.

Возникает вопрос: «Нужны ли нам программные комплексы для подсчета и оценки запасов, со всеми их возможностями и сложностями, или и без них хорошо?». Разумеется, ответ очевиден: профессиональные компьютерные системы безусловно нужны. Они открывают геологу ши-

рокие возможности для анализа, исследований и оценок с поливариантными расчетами, позволяют оперировать большими массивами исходных данных, выполнять работу в краткие сроки, исключать механические ошибки, обусловленные «человеческим фактором».

Если создана представительная база данных и сформирована цифровая модель месторождения, то компьютерные программы позволяют оперативно получать новые оценки размера запасов и качества руды в зависимости от изменения технических, технологических, экономических факторов. Но важно, как не раз бывало в истории геологической науки и практики, не «впадать в ересь» – не приписывать компьютерным технологиям и программным комплексам магические свойства, которых у них нет по определению.

Вряд ли стоит признавать за каким-либо изломом на кривой распределения содержаний компонента ранг «параметра, ограничивающего рудную формацию», «природной границы рудной минерализации» без учета значительного объема общей геологической информации (факторов литологического контроля, минерального состава, характеристики геологических структур, систем тектонических разрывов и др.). Однако такого рода информация или пока принципиально не формализуется до уровня геостатистической оценки, или присутствует в недостаточном для ее выполнения объеме.

В Гвинее распространение бокситовых залежей, в сравнении с масштабом развития латеритной коры выветривания, не превышает отношения 1:1000; по площади и массе два эти типа объектов различаются на много порядков. Разведочные работы ограничиваются обычно площадями локализации бокситов, за их пределами просто не бурят. Как в этом случае программный комплекс (Micromine или любой другой) выделит рудную формацию для оперативного выявления и оконтуривания собственно бокситовых залежей? Каким образом выделение этой формации приблизит геологов к оценке месторождения бокситов как сырьевой базы рентабельного производства? Очевидно, что чем шире принятая для каркасной модели «природная граница рудной минерализации», тем больше доля и сильнее влияние вовлекаемых в интерполяцию при построении блочной геологической модели проб с низким содержанием глинозема, которые вообще не принадлежат бокситам.

Печальный опыт показывает, что безоглядное привлечение к расчетам всего, что попадает в «поле зрения» исследователя, увлеченного «магией чисел», приводит к предсказуемому для опытного геолога-проектировщика результату. В блочной модели появляется большое количество элементарных блоков с неоправданно низким, чисто расчетным содержанием глинозема, полученным интерполяцией данных между пересечениями бокситов и интервалами опробования аллитов, сиаллитов, каолинитовых глин и т.д. (см. рисунок).

Легко представить, что количество таких блоков в модели будет тем больше, чем сильнее желание использовать «всю накопленную информацию» и чем скромнее представления исполнителя о геологической природе объекта и методике проведенных на нем разведочных работ. Совершенно очевидно, что оценка и запасов, и среднего качества руды по такой блочной модели будет искусственно занижена. Предупредительной мерой в подобном случае может быть построение литологической модели месторождения с использованием ее для контроля площадей распространения бокситов. Однако зачастую перевод в электронный формат информации о литологическом составе оказывается более трудоемким, чем ввод в базу данных опробования. А времени обычно и так не хватает.

Поэтому было, есть и еще, наверное, будет необходимо на первом этапе построения модели месторождения (а лучше конкретной залежи, рудного тела) выбирать эффективный набор параметров, фиксирующих рудное тело как сырьевой объект, интересующий нас с точки зрения будущей эксплуатации. А уже затем по хорошо известной и отработанной методике создавать алгоритм и программу набора рудной мощности по разведочным пересечениям.



Блочные модели рудного тела бокситов (Средний Тиман), рассчитанные: *а* – по параметрам оконтуривания; *б* – по условной «природной границе минерализации» $Al_2O_3 > 25{,}3$ %; *в* – по условной «природной границе минерализации» $Al_2O_3 > 25{,}3$ % с оконтуриванием по данным, принятым в ГКЗ

На следующем этапе, поэкспериментировав, можно принять ту или иную функцию для интерполяционных и экстраполяционных оценок по периферии рудных тел и, наконец, построить 3D-контуры рудного тела в вертикальных сечениях и нулевой контур площади распространения рудного тела.

Полученный таким образом трехмерный контур (контуры) можно вводить в качестве исходного параметра в любой апробированный программный комплекс и делать с объемом внутри этого контура все, что необходимо и что позволяет программа; грубые ошибки будут уже маловероятны.

В России у месторождений, прошедших экспертизу ГКЗ и включенных в государственный баланс запасов, такие контуры уже есть, они зафиксированы и утверждены. Чисто техническая задача – выполнение их оцифровки. Любой новый пользователь материалов разведки может их оцифровать и принять в качестве базового варианта. Далее можно делать все что угодно, в том числе создавать любые новые варианты контуров (с расширением, «ужесточением» и другими изменениями граничных условий), но всегда в обязательном порядке сравнивая полученный результат с базовым, утвержденным ГКЗ.

Только при таком подходе все будут говорить на одном языке: и геолог-разведчик, и горняк-эксплуатационник, и государственные органы, контролирующие их обоих. И только таким образом можно использовать все результаты, все данные и весь опыт ранее выполненных разведочных и оценочных работ, высокое качество и эффективность которых не может отрицать ни один грамотный геолог из любой страны мира.

Кстати, в среде юных и самостоятельных исследователей, вооруженных профессиональными компьютерными комплексами, распространено заблуждение, что интерес и ценность могут представлять только первичные материалы разведки (результаты опробования, координаты, инклинометрия, данные топографической съемки и чуть-чуть литологии). Оно далеко не так невинно, как может показаться.

Отказ от использования любых результатов интерпретации, в частности, тех же контуров рудных тел, построенных на разрезах, планах, проекциях и т.д., может приводить к ошибкам, иногда смехотворным, иногда трагическим для исследуемого объекта. Интерпретация, выполненная квалифицированными специалистами, которые разведывали и изучали объект в натуре, –

это аккумуляция их бесценного опыта, и пренебрегать им по меньшей мере непрофессионально. К сожалению, мир сейчас напуган неподтверждением запасов на нескольких месторождениях, иногда в связи с откровенными аферами (в основном за пределами России).

Российские инжиниринговые компании пока еще не создали себе имени: у них нет достаточного багажа проектов, успешно реализованных за рубежом. Поэтому обычно приглашается зарубежная, хорошо «раскрученная» компания, которая получает от заказчика срочно скомпонованную базу данных и проводит некоторый комплекс стандартных операций с помощью того или иного известного в мире программного комплекса.

Если компания ответственно подошла к заказу, в качестве базового варианта приняла подсчет запасов, утвержденный ГКЗ, привлекла к работе российских геологов, хорошо знающих это месторождение, то все закончится более или менее благополучно. Иными словами, оценки ГКЗ более или менее подтверждаются, разрабатывается банковское ТЭО, все на время забывают о геостатистике или, наоборот, внедряют программный комплекс в свою практику и, как правило, получают солидный эффект от его использования – оптимизацией затрат на руднике, на рудном дворе, при транспортировке.

Иная ситуация возникает, когда, не зная особенностей месторождения, деталей технологии разведки, специфики состава руд, иностранные специалисты за короткое время пытаются решить проблему с «чистого листа», полагаясь только на «интеллектуальный потенциал» программного комплекса. Тогда в итоге получаются малопривлекательные результаты:

– запасы занижаются;

– качество руды, как ни парадоксально при таком подходе к оценке, также занижается;

– результаты судорожно проводимых заверочных работ в лучшем случае ни о чем не свидетельствуют, в худшем – требуют новой заверки с возрастающими объемами бурения.

И, главное, без оснований ставятся под сомнение результаты ранее выполненной разведки и, соответственно, бизнес-репутация проекта.

Для того чтобы исключить эти и другие малопривлекательные последствия применения компьютерных технологий в России и, наоборот, взять от них то, что бесспорно облегчает труд геологов и проектировщиков, представляется необходимым выполнить следующий комплекс мероприятий.

1. Разработать и принять, может быть на государственном уровне, адаптированный к российским условиям «JORC Code».

2. Для всех новых месторождений считать обязательным формирование электронных баз данных при проведении разведочных работ.

3. Признать, что оценка ресурсов и подсчет запасов на всех стадиях разведочных работ могут технически выполняться любым способом: вручную или с использованием компьютерных программ, но с обязательным соблюдением следующих условий:

– обоснование граничных условий для подсчета запасов;

– осуществление «набора» рудных мощностей по всем разведочным пересечениям и построение контуров рудных тел в вертикальных сечениях;

– построение «нулевого» контура распространения рудного тела по площади;

– использование полученных таким образом трехмерных контуров в качестве исходных параметров модели, по которой будут подсчитываться запасы.

4. Подсчет запасов, выполненный с применением компьютерного комплекса, должен быть проверяем, его исполнители обязаны представлять реализуемый механизм такой проверки.

5. Для всех без исключения месторождений, учтенных в государственном балансе полезных ископаемых, в качестве базового в обязательном порядке, принимается вариант подсчета запасов, утвержденный ГКЗ МПР РФ (СССР). Сопоставление с результатами подсчета, утвержденного ГКЗ МПР РФ (СССР), – обязательное условие рассмотрения любых вариантов оценки такого объекта.

6. Отклонение от базового варианта (утвержденного ГКЗ МПР РФ или СССР) должно иметь документальное обоснование и согласовываться с государственными органами надзора за недропользованием.

В заключение могут быть сформулированы следующие выводы и рекомендации.

• Основные преимущества компьютерных технологий в оценке запасов месторождений:

– высокая скорость поливариантных расчетов;

– возможность обработки больших массивов исходных данных;

– инструмент, обеспечивающий геологу самые широкие возможности для исследований;

– исключение ошибок, связанных с «человеческим фактором».

• Основные проблемы применения компьютерных технологий при оценке запасов месторождений:

– инструмент, открывающий широкие возможности для принципиальных ошибок, при отсутствии опыта и глубоких знаний о геологии объекта;

– возможность выполнения модели месторождения и подсчета его запасов (на уровне формальных результатов) исполнителями, не имеющими профессионального опыта, достаточного для критического анализа и рациональной интерпретации;

– высокий уровень формализации, при котором даже явная геологическая некорректность введенного параметра не мешает выполнению расчетов.

• Негативные аспекты применения компьютерных технологий в оценке запасов месторождений:

– занижение извлекаемых запасов месторождения;

– занижение оценки среднего качества руды;

– безосновательность априорных сомнений в достоверности подсчета запасов и оценки месторождения, выполненных ранее по результатам разведки;

– ущерб бизнес-репутации проекта освоения месторождения при ревизии ранее выполненного подсчета запасов.

• Рекомендации к применению компьютерных технологий при оценке запасов месторождений:

– разработка российского аналога «JORC Code» («Нормы и правила по составлению отчетов о ресурсах и запасах руды») с утверждением на государственном уровне;

– обязательное формирование электронных баз данных при проведении разведочных работ;

– использование в составе исходных данных не только первичных материалов, но и сводной документации (планов, разрезов, проекций и т.п.), выполненной при проведении разведки;

– обязательный статус базового варианта для подсчета запасов, утвержденного ГКЗ МПР РФ (ГКЗ СССР);

– документальное обоснование причин при существенных отклонениях компьютерной оценки запасов и качества руды от базового варианта.