

Ю.Г. ВИЛКУЛ, д-р техн. наук, проф., академик, вице-президент АГН Украины,
А.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, проф.

ПРОБЛЕМЫ РАСШИРЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ И УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ГОРНОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.

В Украине твердых отходов накоплено около 25 млрд. тонн. Эти отходы занимают площадь около 150 тыс. га плодородных земель и негативно влияют на природные ландшафты и экологические условия.

Техногенные месторождения приводят к исключению из хозяйственного оборота больших площадей земель, занятых отходами производства. Кроме того, происходит уничтожение или снижение качества земель из-за пылевых заносов с отвалов и хвостохранилищ.

В Кривбассе, по разным оценкам, в отвалах содержится от 10 до 13 млрд. тонн вскрышных пород, а в хвостохранилищах – от 4 до 6 млрд. тонн отходов обогащения бедных железных руд. В последние годы все активнее изучается возможность использования накопленной в отвалах и хвостохранилищах Криворожского бассейна минеральной массы. Ставится вопрос о придании им статуса техногенных месторождений. Очевидно, что отсутствие принятых на государственном уровне методов оценки техногенных месторождений тормозит начало их полномасштабной разработки.

К примеру, в индустриальных странах мира уровень использования промышленных отходов достигает 70-80%, тогда как в Украине и ближнем зарубежье он не превышает 12-15%. В США, например, из промышленных отходов получают 20% алюминия, 33% железа, 50% свинца и цинка, 44% меди от общего объема производства этих металлов. Подобная тенденция использования вторичных ресурсов наблюдается в Канаде, Великобритании, ЮАР, Испании и других странах.

Исходя из различий в способах формирования, транспортировки, складирования отходов, техногенные месторождения Кривбасса и аналогичных месторождений можно разделить на **два класса**:

- залежи природных полезных ископаемых;
- залежи техногенных полезных ископаемых.

К **первым** относятся отвалы горнодобывающих предприятий бассейна, которые сложены извлеченными из недр, перемещенными и складированными вскрышными горными породами.

Ко **вторым** относятся, главным образом, отходы обогащения бедных железных руд (магнетитовых, в значительно меньшем количестве гематитовых) – т.н. “лежалые хвосты” обогатительных фабрик.

Для Украины, Казахстана и России, производящих значительную долю минеральной продукции мира и обладающих мощным горнопромышленным потенциалом, проблема утилизации промышленных отходов имеет первостепенное значение. Важным обстоятельством является то, что себестои-

мость товарной продукции из промышленных отходов как правило, ниже, чем из добываемых традиционными способами руд месторождений полезных ископаемых. Активное использование промышленных отходов минерального сырья позволит получить ежегодно прибыль в миллиарды долларов. Например, вторичная переработка 150 млн. тонн отходов обогащения марганцевых руд Никопольского района и 800 млн. тонн отходов обогащения железных руд Криворожского бассейна могут дать товарной продукции более чем на 10 млрд. долларов. Эти, а также другие данные, доказывают необходимость изучения и утилизации техногенных месторождений Украины.

Вовлечение в переработку техногенного сырья обеспечивает сокращение расходов на поиски новых и разведку эксплуатируемых месторождений, а также освобождение занимаемых им земель и их рекультивацию, ликвидацию источников загрязнения окружающей среды, улучшая тем самым экологическую обстановку вокруг действующих предприятий. На рис.1 приведена классификация техногенных месторождений.



Рис.1 Классификация техногенных месторождений

Вопросы комплексного использования минерального сырья и утилизации различных отходов с каждым годом привлекают все большее внимание науки и практики. Одним из важнейших разделов современной геоэкологии является повышение уровня безотходности технологических процессов, максимальное использование всех видов природного сырья при минимальном ущербе окружающей среде.

Решение проблемы комплексного использования минерального сырья и утилизации промышленных и бытовых отходов — это сокращение площадей нарушенных ландшафтов и подработанных земель, снижение загрязнения атмосферного воздуха, особенно взвешенными веществами, уменьшение поступления в водоемы техногенных вредных веществ, предотвращение загрязнения почв и подземных вод, получение дополнительной продукции из уже добытого из недр и в значительной мере обработанного сырья [1].

Проблема переработки техногенных месторождений Украины на сегодняшний день становится все более важной производственной и экологической задачей

Одним из вариантов технологии переработки техногенных месторождений являются ядернофизические методы сепарации минерального сырья, основанные на плотностных свойствах горных пород.

В условиях дефицита сырья вовлечение в сферу добычи и переработки бедных руд, а также разработка техногенных месторождений являются реальной возможностью увеличения объемов добычи и обеспечения более рационального использования минеральных ресурсов. Для расширения сырьевой базы и обеспечения необходимого объема добычи руд можно использовать один из следующих вариантов либо их сочетание:

- снижение бортового содержания на действующих месторождениях;
- разработка месторождений бедных руд;
- повторная разработка и добыча "потерянных" руд;
- вовлечение в процесс переработки складов некондиционных руд.

Например, снижение бортового содержания железа до 40% и 35% в Кривбассе увеличит запасы железорудного сырья в 2.05 и 3.48 раза соответственно. "Потерянные" руды по Кривбассу, как показал анализ, проведенный научными сотрудниками НИГРИ, составляют более 300 млн. тонн со средним содержанием железа 58%. Реализация вариантов обеспечения необходимого объема добычи и расширения сырьевой базы возможна только при наличии в технологии добычи и переработки руд оперативного контроля и управления качеством минерального сырья.

Проблемы разработки техногенных месторождений, переработки промышленных отходов и обогащения окисленных руд Кривбасса являются весьма актуальными. Особенность данной проблемы состоит в том, что шахты Кривбасса расположены по всей территории города Кривого Рога, где отсутствуют свободные участки земли для складирования отходов обогатительного передела. Прогнозные запасы железорудного сырья в Украине оцениваются примерно в 32 млрд. т, из них больше 70% сосредоточено в Криворожском бассейне. При этом балансовые запасы железных руд в проектных контурах действующих предприятий Кривбасса по состоянию на 01.01.2008 года составляли около 6,0 млрд. т. Обеспеченность балансовыми запасами только в проектных контурах действующих предприятий (из расчета фактической добычи в 2007 году) в среднем составляет: по богатым рудам 34 года (до глубины 1500 м); по магнетитовым кварцитам 38 лет (до глубины 700 м). Общая

же обеспеченность балансовыми запасами составляет около 129 лет. Для освоения этих мощностей должны быть разработаны новые, рациональные способы добычи и переработки руды. Таким образом, в Кривбассе сосредоточены огромные запасы железной руды, которых при рациональном использовании хватит еще на длительный период.

В Академии горных наук Украины проводились исследования по захоронению отходов в выработанные пространства шахт. С этой целью выполнен проект Криворожского рудоподготовительного комбината гематитовых руд (КРПК). Исследована и теоретически обоснована перспектива добычи и переработки железных руд и разработки техногенных месторождений руд черных металлов Украины. Сформулированы задачи экологически безопасного ведения горных работ, при которых объемы выработанных пространств и объемы существующих хвостохранилищ и отвалов в регионе будут равняться объемам неиспользованных отходов добычи и обогащения руды.

Концепция на основе такого подхода была сформулирована в виде эколого-экономической модели развития Кривбасса, где за целевую функцию была принята минимизация экологических ущербов[1].

Для реализации такой концепции необходимо на законодательном и нормативном уровнях изменить технологию ведения горных работ в направлении поэтапной или опережающей отработки карьеров с возможным последующим переходом на подземную отработку, перейти на системы разработки с твердеющей закладкой и выполнять принцип сбалансированности производства руды и складирования отходов по принципу: "где и сколько добыто руды, туда же и столько же нужно положить отходов".

Частично этот принцип реализуется при формировании внутренних отвалов в действующих карьерах, что было нормировано Положением о проектировании внутреннего отвалообразования и складирования отходов производства в железорудных и флюсовых карьерах. Положение утверждено приказом Министерством промышленной политики от 17.08.2004 №412 и зарегистрировано в Минюсте 19.08.2004 за №1027/9626.

Проблема управления качеством полезных ископаемых всегда являлась одной из актуальных проблем при разработке месторождений. Это касается не только железных, но и полиметаллических руд, углей, жидких и газообразных полезных ископаемых.

В производственной задаче по управлению качеством можно выделить несколько последовательных этапов:

- первый – это опробование качества руд в массиве, в отбитой горной массе и в процессе ее транспортирования.
- второй – это геометризация качества железных руд при отработке месторождений.
- третий – это планирование горных работ в режиме стабилизации качества полезных ископаемых и вывода качества на определенный уровень значимости.

- четвертый – это управление горными процессами в режиме стабилизации качества.

- пятый – это усреднение качества на прикарьерных складах, в бункерах дробильной фабрики, на складах товарной руды.

Для получения информации о геометрических и качественных характеристиках месторождения полезных ископаемых используют методы математического моделирования, обеспечивающие автоматизированное решение горно-геометрических задач с требуемой точностью.

Анализ работ, посвященных использованию метода многогранника для дискретно-аналитического моделирования месторождений полезных ископаемых, показывает на наличие целого ряда нерешенных вопросов теоретического и практического характера.

Среди них наиболее важным является вопрос о выборе оптимальной сети непересекающихся треугольников, обеспечивающей минимум погрешностей интерполяции. Использование принципов минимальности периметров треугольников триангуляции, как показывает анализ, в некоторых случаях приводит к ошибкам моделирования. Путь к устранению указанного недостатка заключается в методике построения сети непересекающихся треугольников, учитывающей пространственное размещение исходных точек моделируемой топоповерхности.

Задача построения многогранной поверхности распределения качественных и геометрических показателей месторождения математически заключается в построении кусочно-линейной непрерывной поверхности линейной сплайн функции переменных $S_1(x, y)$ по значениям функции моделируемого параметра на множестве хаотически расположенных точек, полученных при проходке геологоразведочных скважин $P_i = P(X_i, Y_i)$, $i = 1, 2, \dots, N$.

При этом априори устанавливается, что для моделируемой топоповерхности $P(x, y)$ выполняются условия теории геохимического поля, разработанной проф. П.К. Соболевским: однозначности, непрерывности, плавности, и конечности. П.П. Бастаном установлено, что эти условия выполняются для рудных месторождений, геохимические поля которых представлены главным образом колебаниями, имеющими период больший, чем расстояние между точками, по которому определяются качественные свойства руд.

Кроме традиционного требования совпадения значений сплайна в исходных точках накладывается условие минимизации функционала погрешности моделирования.

Сущность метода линейных сплайн функций двух переменных (метод многогранника) заключается в представлении моделируемой топоповерхности $P(x, y)$ в виде совокупности плоскостей треугольников с вершинами в исходных точках

Для этого необходимо произвести триангуляцию множества точек (x_i, y_i) координатной плоскости XOY , т.е.

а) построить в плоскости XOY многоугольник такой, чтобы вершинами его были только точки из заданного множества, а остальные точки, не являющиеся вершинами, лежат внутри него;

б) полученный многоугольник разбить на треугольники с вершинами в точках (x_i, y_i) таким образом, чтобы каждая точка области, ограниченной многоугольником, принадлежала только одному из треугольников.

Если точка (x, y) находится внутри какого-либо треугольника триангуляции, то значение искомого параметра P для этой точки определяется путем решения уравнения плоскости, проходящей через три точки математической модели.

Построение многогранной аппроксимирующей поверхности осуществляется в два этапа. На первом для каждой исходной точки T_i , участвующей в моделировании, определяется значение локальной характеристики (признака выпуклости - вогнутости). Для этого среди точек XOY , $T_j, j=1,2,\dots,N$, выбираются три ближайшие точки, образующие треугольник ненулевой площади, и не содержащий других точек множества $T_j, j=1,2,\dots, N$ кроме рассматриваемой. Если точка T_i лежит выше плоскости, проходящей через выбранные точки, ей присваивается признак выпуклости $\alpha_i=+1$, если ниже, то признак вогнутости $\alpha_i=-1$ и, $\alpha_i=0$ если четыре точки лежат в одной плоскости. В случае, когда для рассматриваемой точки не существует трех ближайших точек, удовлетворяющим указанным условиям, ей присваивается признак ближайшей. Таким образом, каждая точка, участвующая в моделировании, может быть охарактеризована определенным признаком выпуклости - вогнутости.

На втором этапе производится триангуляция. Основная идея алгоритма триангуляции разведочной сети заключается в формировании на каждом i -ом шаге выпуклого многоугольника границы и формировании треугольников с учетом признаков выпуклости - вогнутости. Разбиение четырехугольника производится согласно установленного критерия выбора триангуляции таким образом, чтобы объемы тела, ограниченного моделируемой топоповерхностью и поверхностью сплайна был минимальным. Для этого в случае выпуклости топоповерхности выбирается та диагональ четырехугольника, которая в пространстве лежит выше, а в случае вогнутости наоборот. Для плоского случая погрешность моделирования не зависит от выбора диагонали и поэтому разбиение производится произвольным образом.

Для случая, когда признаки выпуклости в вершинах рассматриваемого четырехугольника различны, разбиение производится по принципу минимальности параметров треугольников, т.е. по меньшей диагонали.

Процесс триангуляции заканчивается, когда все точки являются либо внутренними, либо граничными выпуклого многоугольника

Изложенный алгоритм реализован в подсистеме "Моделирование топоповерхностей качественных и геометрических показателей" автоматизированной системы планирования горных работ "Карьер".

Работоспособность разработанного комплекса программ была проверена на большом количестве тестовых примеров и подтверждается результатами

опытно-промышленной эксплуатации в составе системы "Карьер" (Бызов В.Ф., Вилкул Ю.Г., Завсегдашний В.А.)

Важнейшей задачей автоматизации планирования является проектирование структур данных и алгоритмов набора объемов горных работ. Горно-геометрическая модель для планирования горных работ должна отражать положение фронта горных работ на начало планового периода, обеспечить получение линии фронта горных работ на конец планового периода, позволить формирование контуров выемочных блоков и манипулирование ими, учитывать связки по подвиганию фронта горных работ на смежных участках и по вертикали и обеспечивать подсчет запасов руды в набираемых объемах. Перечисленное требует построения ряда моделей, специфических для каждого уровня планирования. При перспективном планировании подвигание фронта горных работ моделируется полосами, равными ширине экскаваторной заходки, перемещающимися в направлении углубки карьера. При текущем планировании заходки формируются в пределах квартальных блоков, а при оперативном – в пределах месячного экскаваторного блока. Причем на уровне текущего и оперативного планирования они не обязательно должны формироваться параллельно фронту горных работ в блоке, а иметь и более сложную форму. Таким образом, развитие фронта горных работ в блоках моделируется семейством линий от положения на начало планового периода до максимально возможного. На этом семействе линий строятся элементарные блоки для подсчета запасов и выполняется поиск оптимального или нескольких рациональных вариантов. В зависимости от уровня планирования способ построения, форма и протяженность семейства линий будет неодинакова, однако структура данных для моделирования будет в общем похожей, различаясь во второстепенных деталях. Такая структура данных позволяет одинаково просто манипулировать и координатами линий фронта горных работ и совокупностями элементарных блоков.

Оптимизация планов горных работ осуществляется по трем группам критериев. В программах предусмотрена возможность выбора одной из трех групп критериев оптимальности: экономические, технологические и технические. Каждая из групп имеет в своем составе несколько критериев. Так, среди экономических критериев можно выбрать критерий приведенных затрат на добычу и переработку руды или критерий ожидаемой прибыли при реализации решений, заложенных в план. Критериями второй группы являются поддержание рабочих площадок заданной величины, обеспечение равномерного подвигания фронта горных работ на смежных участках карьерного поля, заданная интенсивность отработки различных горизонтов. К группе технических критериев относятся получение в допустимых пределах заданных показателей плана, их максимальные или минимально возможные значения.

Система ограничений включает требования выполнения директивных показателей по объемным и качественным характеристикам типов и сортов руд; условия равномерного развития горных работ, сохранение рабочих площадок указанных размеров и заданного соотношения сортов руд. По каждому

показателю, входящему в систему ограничений, оперативно задаются допустимые отклонения в большую и меньшую стороны. Если ограничения задачи несовместны, предлагается ослабить их или оставить прежними и перейти к следующему интервалу планового периода. В первом случае осуществляется возврат к меню корректировки допусков, при помощи которого можно изменить допустимые вариации по тому или иному показателю в большую или меньшую стороны и, тем самым, ослабить или ужесточить требования к конкретному показателю. После расчета варианта плана по каждому интервалу планового периода на экран выводятся набранные блоки для визуальной оценки формируемых вариантов плана.

Таким образом, применение предложенного подхода к построению автоматизированного планирования горных работ на основе информационных систем позволит внедрить современные достижения компьютерной техники в горное производство, позволит существенно автоматизировать перспективное, текущее и оперативное планирование горных работ и проектирование буровзрывных работ. В настоящее время реализовано в виде информационной системы перспективное планирование горных работ и проектирование буровзрывных работ, что обеспечивает многовариантный подход при разработке планов. Выполненные контрольные и реальные просчеты годовых планов на близких к реальным данным ГОКов Кривбасса показали работоспособность системы в различных режимах эксплуатации, требуемые скорость расчетов и точность подсчета запасов, правильность набора планов. На шести горизонтах было выделено 14 участков, для которых задали ширину полосы 15 м, длину элементарного блока 15 м при высоте уступа 15 м. Всего автоматизированным способом построено около 12000 блоков. Время, затраченное на формирование блоков, составило 8 мин, на подсчет запасов - 14 мин с учетом диалога технолога с системой по выбору горизонтов, участвующих в расчетах, параметров полос и блоков, метода и параметров интерполяции при подсчете запасов. Указанные параметры эксплуатации системы являются приемлемыми на уровне перспективного и текущего планирования и позволяют использовать модель в составе АСУП и САПР на карьерах цветной и черной металлургии [2].

Особенно важную роль в управлении качеством, в осуществлении всех этапов управления, безусловно, принадлежит методам опробования. В отличие от химических методов анализа, которые очень длительны и трудоемки, эти методы дают возможность быстро определять содержание магнитного железа, содержание общего железа на всех этапах добычи и переработки руды.

Известно, что для оперативного контроля и управления качеством минерального сырья используется в основном 3 параметра горной массы: содержание полезного компонента, динамика (изменчивость) содержания полезного компонента и объем горной массы.

Каждая операция управления качеством руд состоит из двух основных стадий:

* определение содержания полезного компонента в каждой партии руды;

* применение к ней управляющего воздействия.

Управляющие воздействия могут быть двух видов:

* разделение, которое направлено на изменение абсолютного значения содержания полезного компонента (так называемая массовая доля)

* объединение (смешивание, усреднение), которое призвано уменьшить диапазон изменчивости содержания полезного компонента.

К процессу разделения можно отнести селективную выемку, сортировку и радиометрическую сепарацию[3].

Ясно, что как разделение, так и объединение преследуют единственную цель – стабилизацию качества руды, что в конечном итоге снижает энергозатраты, потери руд, разубоживание и стабилизирует режим работы обогатительных установок, т. е. в итоге снижает себестоимость 1 т. товарной руды.

Особо важную роль в управлении качеством минерального сырья играет опробование. В отличие от традиционных методов, наиболее целесообразным и экономически эффективным являются ядернофизические методы опробования. Эти методы, благодаря технологичности, сравнительно низкой стоимости и оперативности практически мгновенно выдают информацию о качестве руд в естественном залегании в отбитой, дробленной и измельченной горной массе, а так же осуществляют каротаж взрывных скважин. Кроме того, эти методы позволяют сортировать горную массу на стадии отбойки руды.

Для эффективного извлечения запасов из недр данных эксплуатационной разведки недостаточно, т. к. для этого требуется оперативные сведения о фактических границах рудных тел, а решение подобной задачи возможно с помощью ядернофизических методов.

Теория опробования полезных ископаемых, как и теория любого процесса, определяет выбор комплекса условий, обеспечивающих научно обоснованный путь достижения поставленной цели.

К сожалению, на сегодня нет четкой концепции и методического подхода к обоснованию пригодности ядернофизических методов и их возможностей при решении различных задач технологического контроля.

Как правило, вопрос о пригодности того или иного метода оперативного контроля качества минерального сырья сводится к простому сопоставлению результатов контроля с данными химического анализа. Подобный подход является ошибочным, т. к. сравнивают практически несопоставимые методы.

Химический метод анализа качества является достаточно точным методом, но погрешность отбора и подготовки пробы (субъективный фактор) снижает эффективность химического метода.

Для качественной оценки пригодности любого устройства целесообразно использовать сопоставление результатов анализа параллельных проб, но это только для того, чтобы установить принципиальную пригодность.

Количественная оценка пригодности любого радиоизотопного устройства или же метода должна быть основана на критерии эффективности.

При этом прямой результат управления качеством руд можно характеризовать пределом изменчивости содержания полезного компонента в горной массе (т. е. степенью объединения - усреднения).

Следует отметить, что снижение колебания содержания полезного компонента на 1% дает экономический эффект примерно в 1 доллар на 1 тонну руды.

Если же оценивается эффективность управления качеством руд, то, очевидно, что основными характеристиками средств контроля и управления являются показатели качества концентрата и его выход, а также выход и качество хвостов. Также эффективность управления качеством руд также зависит от среднего содержания полезного компонента в добываемой горной массе, от величины изменчивости содержания полезного компонента и от объема добычи.

С целью стабилизации качественных показателей, усреднения руд, а также разделения исходной руды по сортам, в Криворожском горнорудном институте были разработаны различные типы радиометрических сепараторов. Работа в этом направлении в Криворожском горнорудном институте началась более 40 лет назад под руководством академика Г.М. Малахова. К этому времени в КГРИ был разработан макет первого сепаратора на рентгеновской трубке типа РУБ-250. Таким образом, было начато принципиально новое направление в области предобогащения руд с использованием эффектов взаимодействия гамма-излучения с горными породами. Для железорудного сырья Кривбасса между содержанием железа и интегральным потоком как обратно рассеянного, так и прошедшего гамма-излучения имеется тесная корреляционная связь.

Все разработанные сепараторы были основаны на использовании рассеянного, либо прошедшего через горную массу гамма-излучения. Интенсивность как рассеянного, так и прошедшего гамма-излучения зависит от содержания железа в контролируемой горной массе.

Совместно с сотрудниками ЦНИЛа (г. Желтые Воды) были разработаны, изготовлены и испытаны радиометрические сепараторы на железных, хромовых и марганцевых рудах[3].

В течение последующих 7 лет были разработаны 6 модификаций радиометрических сепараторов для сортировки руд класса от 20 до 350 мм.

Результаты сортировки руд шести рудоуправлений Кривбасса на ленточном сепараторе РС-2Ж показали, что повышение содержания железа в концентрате составило от 5 до 12.2%, а извлечение металла от 75 до 90%.

Как известно, самым энергоемким процессом при переработке руд является дробление. Отсечение до 10% некондиционной руды позволит с учетом энергозатрат на дробление и транспортировку только по Кривбассу сэкономить более 12 млн. долларов в год.

Известно, что применение управления качеством руд на ранних технологических этапах позволяет повысить общий эффект. Например, если осуществить призабойную сортировку или же сортировку горной массы в шахте, то это исключит дополнительные транспортные затраты и энергозатраты на дробление.

Проблема управлением качеством руд достаточно многогранна и однозначного обобщенного решения ее не существует.

Выводы

1. Доказано, что вовлечение в переработку техногенных месторождений расширяет сырьевую базу страны и обеспечивает сокращение расходов на поиски новых и разведку эксплуатируемых месторождений.

2. Обосновано, что вовлечение в переработку месторождений техногенного сырья освобождает занимаемые ими земли, улучшая тем самым экологическую обстановку вокруг действующих предприятий.

3. Исследована и теоретически обоснована перспектива добычи и переработки железных руд и разработки техногенных месторождений руд черных металлов Украины.

4. Сформулированы задачи экологически безопасного ведения горных работ, при которых объемы выработанных пространств и объемы существующих хвостохранилищ и отвалов в регионе будут равняться объемам неиспользованных отходов добычи и обогащения руды.

5. Для эффективного извлечения запасов из недр и расширения сырьевой базы необходимы сведения о фактических границах рудных тел, что достигается с использованием геофизических методов оперативного контроля качества минерального сырья.

Список литературы

1. **Вилкул Ю.Г., Азарян А.А., Азарян В.А., Трачук А.А.**, Проблемы переработки минерального сырья техногенных месторождений Украины, НТ журнал «Горная промышленность», Москва, 2011, с. 13-15.

2. **Бызов В.Ф., Азарян А.А.** Управление качеством минерального сырья. СНТ, Ялта, 1999, с.6-14

3. **Азарян А.А., Колосов В.А., Ломовцев Л.А., Учитель А.Д.** Монография «Качество минерального сырья», Кривой Рог, Минерал, 2001, 203С.