

## Систематизация признаков сложноструктурных месторождений

*В статье предлагается общая характеристика и систематизация качественных признаков сложноструктурных эндогенных месторождений по геолого-морфологическому строению и горно-технологическим условиям добычи руды, обосновывается количественный показатель сложности эксплуатационных блоков. Также предлагается для реставрации геологических условий в период формирования месторождения использовать метод определения зон оруденения эндогенных месторождений по оценке процесса формирования палеонапряжений растяжения-сжатия, вызванных движением потоков магмы из очага к поверхности.*

Изучение и обработка сложноструктурных месторождений всегда была и остаётся трудной задачей для горной науки и практики. Последней инструкцией ГКЗ (1997 г.) выделяют четыре группы месторождений по сложности строения; для каждой из них требуется определённое соотношение разведанных запасов по категориям «А, В, С<sub>1</sub> и С<sub>2</sub>». При этом величины погрешности определения запасов по категориям инструкцией ГКЗ не регламентируются. Однако предшествующие исследования, нормативные документы и многолетняя практика геологоразведочных работ [1], так или иначе, ориентируются на следующие величины погрешностей: для категории «А» - не более  $\pm 10\%$ , для «В» -  $\pm 25\%$  и для «С» -  $\pm 50\%$ . В настоящее время точность определения запасов рассматривается многими специалистами как один из **экономических** признаков инвестиционной привлекательности или, наоборот, инвестиционного риска при проектировании горных предприятий.

В зависимости от степени изменчивости основных свойств и сложности месторождения определяют необходимую плотность геологоразведочной сети [2] и, тем самым, объёмы и затраты на поисково-разведочные работы. Для месторождений (или участков) весьма сложного строения, с резко изменчивыми контактами и мощностью рудных тел, с исключительно невыдержанным распределением полезных компонентов, как правило, экономически нецелесообразно выявлять запасы даже по категории «В», и допускается проектирование и строительство горных предприятий на базе оценки запасов по категории «С<sub>1</sub>». В общем случае, в зависимости от сложности месторождения, расстояния между разведочными скважинами (или выработками) принимаются следующими: 25, 50, 100, 200 и 400 м. Так, для выделения запасов по категории «В» обычно достаточна сетка разведочных выработок 50x50 м, а по категории «С<sub>1</sub>» - 100x100 м. Например, на сложноструктурных гидротермальных уран-молибденовых месторождениях «Стрельцовского рудного поля» детальная геологическая разведка и подсчёт запасов [2, 3] проводились по первоначальной сетке скважин 50x25 м, на основании чего разрабатывались технические проекты строительства рудников, определялись - способ от-

работки месторождения, схема вскрытия, производительность и другие основополагающие параметры предприятия. Проекты же отработки отдельных участков и блоков составлялись на базе ещё более детальной эксплуатационной разведки (по сетке 10x5 м). В результате, по данным керна, гамма- и рентгено-радиометрического каротажа разведочных скважин, а также накапливаемой при проведении горно-подготовительных выработок информации, - определяли форму и положение в пространстве рудных тел, уточняли физико-механические свойства, устойчивость пород и руд, положение в пространстве и размеры зон тектонических нарушений, контакты пород различного состава. По полученным данным принимали решение о выборе системы разработки для каждого эксплуатационного блока и подсчитывали запасы - для оперативного планирования добычей руды и металла, учёта движения запасов блока в процессе его отработки.

Известна характеристика эндогенных сложноструктурных месторождений всех генетических типов по Ф.И.Вольфсону [5], известно и распределение эндогенных месторождений по глубинным уровням дислокационного метаморфизма по Г.Ф.Яковлеву [6]. Автором же предлагается обобщающая и дополняющая **систематизация** сложноструктурных образований (см. рис. 1) и признаков сложноструктурных рудных месторождений, участков и блоков (см. рис. 2), позволяющая качественно оценить степень сложности эксплуатационного блока.

Для количественной же характеристики эксплуатационных блоков предлагается подсчитывать общий **показатель сложности** геолого-морфологического строения (впервые предложен проф. Б.П.Юматовым для открытых горных работ [7]) и горно-технологических условий добычи руды в эксплуатационном блоке ( $\Omega$ ).

Этот общий показатель сложности зависит, по мнению автора, от структурного типа месторождения, от характера контактов рудных и безрудных участков, от характера распределения металла в руде, проявлений напряжённо-деформированного состояния (НДС) горного массива и, следовательно, - от характера горно-технологических условий добычи руды в эксплуатационном блоке.

Общий показатель сложности, включает несколько частных, отдельных показателей.

Во-первых, - показатель сложности структурного типа эндогенных рудных месторождений ( $\Omega_1$ ), учитывающий: структуру рудного поля, осложнённую разрывными нарушениями; тип рудного месторождения; тип рудоносного вулканического сооружения;

Во-вторых, - показатель сложности контактов рудных и безрудных участков ( $\Omega_2$ ) – по Б.П.Юматову.

В третьих, - показатель сложности распределения металла в руде ( $\Omega_3$ ), определяемый на основании подсчёта: а) или общего коэффициента вариации содержания и мощности слоя металла в руде [4]; б) или комплексного показателя расширенного качества полезного ископаемого [8] – по Г.Г.Ломоносову.

В четвёртых, - показатель сложности проявлений НДС горного массива ( $\Omega_4$ ), учитывающий: а) коэффициент структурного ослабления прочности пород на одноосное сжатие [9]; б) показатель удароопасности [10]; в) коэффициент концентрации напряжений [11].

В пятых, - показатель сложности горно-технологических условий добычи руды ( $\Omega_5$ ), учитывающий: а) способ разработки (подземный, открытый, геотехнологический, комбинированный); б) способ вскрытия (стволами, штольнями, траншеями, комбинированно); в) систему разработки; г) вариант управления горным давлением (целики, крепление, разгрузка, закладка, обрушение, сооружение пространственных опорных конструкций); д) способ проветривания очистных и проходческих выработок (включая пылеподавление, дегазацию); е) способ борьбы с водопритоком; ж) меры по управлению качеством, стабильностью состава рудной массы.

Понятно, что чем **выше значение показателя сложности ( $\Omega$ )** – подсчитанного в баллах или в относительных единицах, - тем более тяжёлые условия добычи месторождения, тем выше инвестиционный риск проектирования и тем больше будут расходы на геологоразведочные работы, на управление состоянием горного массива, тем выше будут величины потерь и разубоживания при добыче, т.е. возрастает экономический ущерб и падает прибыль предприятия.

В условиях конкретного месторождения **эксплуатационные блоки** каждого типа можно систематизировать по степени сложности, используя для этого полученные значения общего показателя сложности, например, следующим образом: а) в высшей степени сложный; б) весьма сложный; в) сложный; г) средней сложности эксплуатационный блок.

Для каждого блока, на основании аналитических прогнозов и опытно-промышленных испытаний, можно выбрать наиболее рациональную технологию ведения валовых или селективных добычных работ, систему разработки, оптимальные параметры буровзрывных работ, выпуска и доставки рудной массы, поддержания подземного и закладки выработанного пространства, варианты последующего использования подземных пустот и т.п.

Показатель сложности может быть также использован для оптимизации прогнозно-поисковых геологоразведочных работ и для нормирования минимального разубоживания руды  $R_{\text{норм}}$ , соответствующего применяемой технологии отработки конкретного эксплуатационного блока (чем выше значение  $\Omega$ , тем выше и  $R_{\text{норм}}$ ). Также этот показатель может быть использован при переносе практики ведения горных работ в новые, аналогичные условия - на других участках, блоках и месторождениях.

Оценим **рудогенез** сложноструктурных, например, гидротермальных месторождений. Как «геологам приходится иметь дело не с напряжениями, а со следами вызванных ими деформаций» (по образному выражению Вольфсона Ф.И.), так и геомеханикам, при оценке влияния пустот на сдвигения в горном массиве, приходится иметь дело лишь со следами этих сдвижений – деформациями и экзогенными трещинами. Расшифровка структуры месторождений требует постановки детальных и трудоёмких исследований на основе знаний структурной геологии, тектонофизики [12, 13] и геомеханики.

Как известно, региональные тектонические воздействия, вызывающие локальные высокие сжимающие напряжения, выводят каркасно-флюидную систему горных пород из термодинамического равновесия. В областях сжатия происходит их уплотнение, сокращение порового пространства, что приводит к росту плотно-

сти и температуры флюидной фазы. В результате в межзёрновом пространстве горных пород, насыщенных растворами, развивается высокое избыточное давление (величина его в замкнутых системах - функция температуры и плотности флюида), и возникает геобарический градиент. Число возможных в такой ситуации форм массопереноса ограничено: это фильтрация, бародиффузия и файлюация.

Для гидротермальных, редкометальных и полиметаллических рудных объектов известно, что по мере возрастания касательных напряжений плотность оруденения увеличивается, а по мере снижения сжимающих напряжений - происходит их рассеивание. Поэтому гидротермальное оруденение размещается обычно не в крупных зонах разломов, а в более мелких разрывных нарушениях II и III порядков, опережающих крупные разрывы. И области максимального высвобождения сейсмической энергии также располагаются в структурах II порядка, а не в шовной зоне основного разлома. Т.е. в условиях преобладания напряжений сжатия в литосфере, под воздействием купола-диапира на надинтрузивную область - именно сколы и сдвиги являются доминирующим типом разрывных нарушений, в том числе рудоконтролирующих.

Практика изучения геологами рудных месторождений даёт многочисленные примеры того, что локальные палеонапряжения и деформации, возникавшие при формировании структуры, в значительной степени определяют участки локализации, морфологию, размеры рудных тел, а зачастую и содержание полезных компонентов. Например, главной особенностью штокверков является локализация рудоносных прожилков в таких зонах геосреды, где была максимальная концентрация напряжений сжатия - тектонической либо магматической природы. А затем, в результате возникновения трещин скола в условиях одновременного действия **сжатия со сдвигом**, произошла **инверсия напряженного состояния** надинтрузивного массива и локальное длительное сжатие сменяется относительно непродолжительным растяжением.

В целом картина локализации оруденения на регрессивном этапе развития интрузив-надинтрузивной зоны представляется следующей: в зонах разрывных нарушений произошла разрядка избыточных напряжений, приведших к разнообразным тектоническим деформациям. В этих зонах резко повышается пустотность пород, что способствует проникновению магматических расплавов и дальнейшему их остыванию в виде интрузивных образований. Последующие тектонические деформации приводят к проникновению рудоносных флюидов и растворов по тем же каналам, что и магматические расплавы. Характерная **«пульсационная зональность»** распределения минеральных образований по рудным телам и по месторождению в целом геологами объясняется условиями возникновения трещин скола, разрыва (и затухания процесса трещинообразования) и остывания рудоносных растворов. Известны три основные гипотезы: 1) поступление флюидов в зону рудоотложения рудных поясов из различных магматических очагов; 2) поступление флюидов из мантии вдоль зон крупнейших рудоконтролирующих структур; 3) поступление флюидов в зону рудоотложения рудных поясов из различных глубинных уровней остывающего магматического очага.

Для сложноструктурных месторождений глубину формирования эндогенного (например, гидротермального) оруденения определяют геологи [5], осуществ-

ля полную или частичную (по разрезу) **реставрацию геологических условий** в период формирования месторождения, при этом используется следующее:

1) метод реставрации среза (по С.С.Смирнову), основанный на детальном изучении стратиграфии рудовмещающих толщ и воссоздании мощности пачек пород, под которыми заканчивалось по восстанию оруденение;

2) учёт данных экспериментальных исследований и изучение минерального состава руд, процесса распада твёрдых растворов, определение давления при рудообразовании, по газово-жидким включениям, содержащим жидкую углекислоту;

3) определение наличия или отсутствия колломорфных руд, исследование структур интрузивных или субвулканических пород, с которыми ассоциируется оруденение.

Без расшифровки истории развития и напряжённо-деформированного состояния рудоносной площади до оруденения, в процессе минерализации трудно оценить структуру рудного поля и месторождения, правильно осуществить прогноз. Так, структурно-петрофизическим анализом можно выявить палеотектонические поля напряжений и, используя тектонофизику и геомеханику, спрогнозировать оруденение.

Автором предлагается ещё один метод определения зон оруденения эндогенных месторождений [14, 15] – по оценке процесса формирования палеонапряжений растяжения-сжатия, вызванных движением потоков магмы из очага к поверхности. На новых месторождениях, используя предложенный метод, можно по данным геологической разведки и оценки размеров вулканических сооружений ориентировочно определить **радиус и местоположение магматического очага, а затем и вероятные кольцевые зоны оруденения**. На эксплуатируемых же месторождениях этот метод позволяет по уже известным геологам кольцевым зонам оруденения обратным расчётом получить действующие напряжения в горном массиве (ещё до натуральных исследований).

Сильное поглощение упругих волн всегда отмечается под действующими и потухшими вулканами, что говорит о наличии здесь зон плавления литосферы, эти измерения постоянно проводят сотрудники института геологии и геофизики Сибирского отделения Академии наук и сотрудники института физики Земли (именно по этим замерам можно определить **глубину и радиус магматического очага**). По сейсмическим данным камера (магматический очаг) обычно располагается на глубине от 5÷6 до 10÷11 км, занимая объём около 20 км<sup>2</sup>. Так было определено, что большинство известных гидротермальных месторождений заканчиваются на глубинах, не превышающих 1÷1,5 км от современной земной поверхности и вертикальный размах гидротермального оруденения всех типов достигает 4÷5 км, но обычно не превышает 0,6÷0,8 км на одном месторождении (от верхней границы оруденения до нижней).

Знание объёмной фигуры поля напряжений при формировании сложноструктурного месторождения даёт возможность выявлять скрытое оруденение и более обоснованно осуществлять глубинный прогноз, ограничивая площади поискового бурения.

# Систематизация сложноструктурных образований

## I. Типы рудных месторождений

Собственно магматические  
месторождения

Пегматитовые  
месторождения

Карбонатитовые  
месторождения

Грейзеновые  
месторождения

Скарновые  
месторождения

Гидротермальные  
месторождения

## II. Структуры эндогенных рудных полей

Рудные поля сложного  
строения, обусловленного  
сочетанием нескольких  
структурных типов

Рудные поля, приуроченные  
к полям развития трубчатых  
возникших в результате  
прорыва газов

Рудные поля, приуроченные  
к вулканическим сооруже-  
ниям (купола, депрессии,  
кальдеры и др.)

Рудные поля, приуроченные  
к многофазным интрузив-  
ным массивам кольцевого  
строения  
(центрального типа)

Рудные поля, приуроченные  
к расслоенным интрузив-  
ным массивам

Рудные поля, приуроченные  
к зонам контактов интрузив-  
ных массивов, осложжён-  
ных разрывными нару-  
шениями

Рудные поля, приуроченные  
к складкам, осложнённым  
разрывными нарушениями

## III. Рудоносные вулканические сооружения (по Ф.И.Вольфсону)

Поля трубчатых взрывов, свя-  
занных с вулканическими  
выбросами и сложными  
брекчиями

Поля развития субвулка-  
нических интрузивов и  
корневых частей вулкани-  
ческих аппаратов, с типич-  
ными прерывистыми це-  
почками даек вдоль круп-  
ных разрывных нарушений  
и в местах пересечения  
разломов конструкций

Линейные вулканические  
сооружения, с характер-  
ными перемещениями вул-  
канических покровов вдоль  
продольных разломов и  
поперечных нарушений

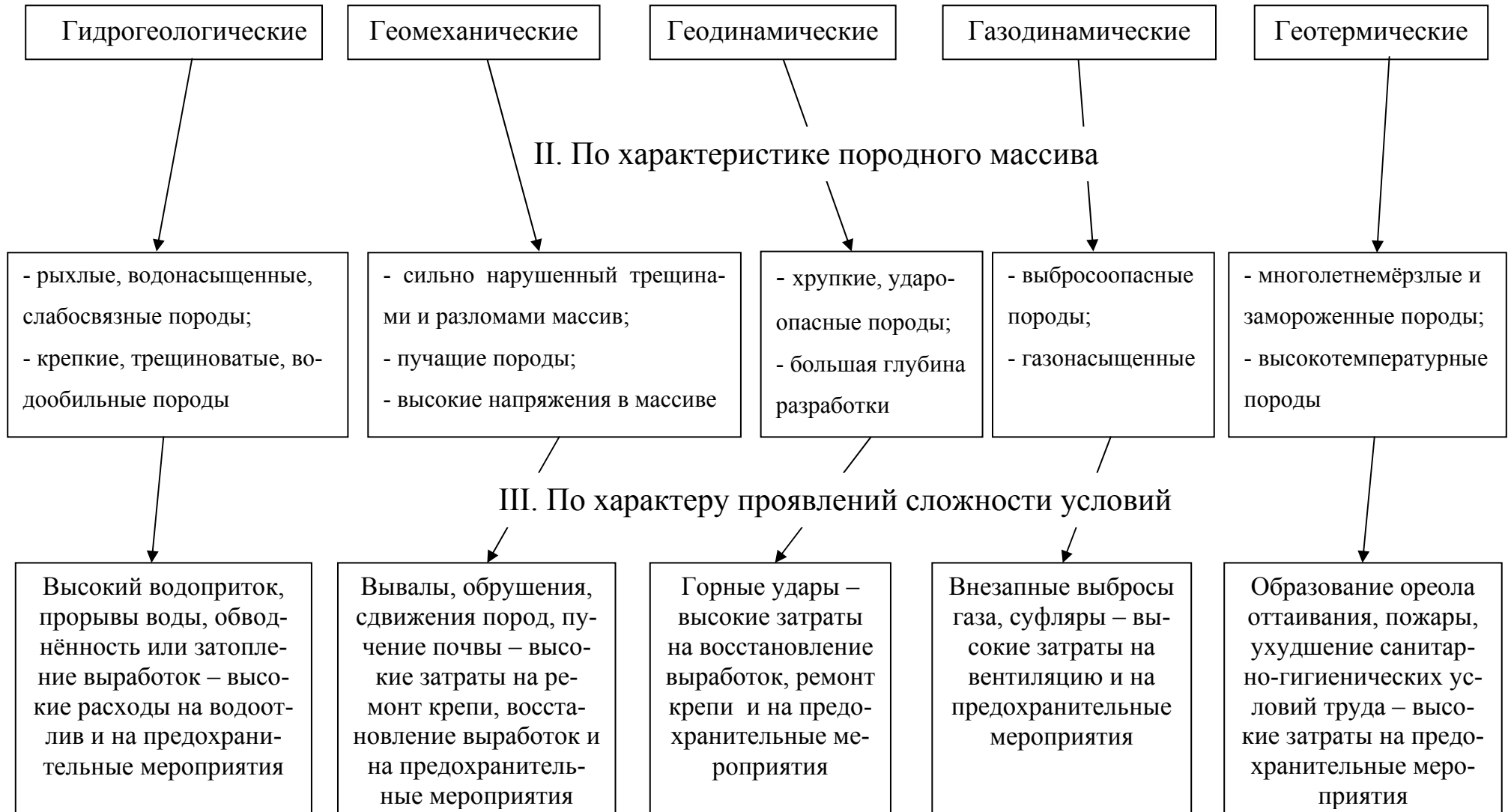
Кальдеры, отличающиеся  
проседанием всего вулка-  
нического сооружения по  
кольцевым разломам

Вулканические мульты и  
депрессии (без кальдеры  
оседания), характеризиру-  
ющихся пологим падением  
слоёв вулканогенно-  
осадочных пород, про-  
рванных субвулканиче-  
скими телами

Крупные овальные или  
изометрические (в плане)  
вулканические купола  
сложенные породами по-  
кровной фации, прован-  
ные вулканическими жер-  
лами и субвулканическими  
телами

# Систематизация признаков сложноструктурных рудных месторождений, участков и блоков

## I. По типу сложных условий



#### IV. По геолого-морфологическим типам

Месторождения с гнездовым характером оруденения

Жильные и линзообразные рудные тела неправильной формы

Штокверки с неравномерным прожилковатом оруденением

Пластообразные рудные тела переменной мощности с разными углами падения

#### V. По характеру распределения металла в руде

Наличие нескольких сортов монометаллических руд

Полиметаллические руды с изменяющимся содержанием отдельных компонентов

Наличие участков окисленных, смешанных и сульфидных руд

Наличие сложных криволинейных контактов между рудными и безрудными участками

Наличие чётких контактов между рудными и безрудными участками

Закономерное изменение содержания металлов в определённом направлении

#### VI. По характеру проявлений НДС массива

Резкие перепады зон нагружения и разгрузки, разделённые трещинами тектонического происхождения

Плавные изменения степени устойчивости участков горного массива от зоны к зоне

Потенциально удароопасные зоны

Потенциально вывалоопасные зоны, зоны обрушения

#### VII. По характеру горно-технологических условий добычи

Валовая добыча камерными системами разработки

Селективная добыча камерными системами разработки

Селективная добыча слоевыми системами разработки

Селективная добыча камерными и слоевыми системами разработки с твердеющей закладкой

Заблаговременное приведение горного массива в равновесное состояние сооружением опорных пространственных конструкций



## Список литературы

1. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Авт.: Е.О.Погребницкий, С.В.Парадеев, Г.С. Поротов и др. – М.: Недра, 1977. - 405 с.
2. Хоментовский Б.Н., Овсейчук В.А. Эксплуатационная разведка при разработке урановых и молебденово-урановых месторождений Стрельцовского рудного поля. - Журнал «Горный вестник», 1999, № 6. - С. 42-49.
3. Геологические исследования и горнопромышленный комплекс Забайкалья. Под ред. Г.А.Юргенсона. – Новосибирск: изд. Наука, 1999. - 574 с.
4. Рациональная сеть предварительной разведки. Авт.: В.И.Бирюков, М.Н.Денисов, Е.К.Казаков и др. – М.: Недра, 1978. - 262 с.
5. Вольфсон Ф.И., Яковлев П.Д. Структуры рудных полей и месторождений. – М.: Недра, 1975. - 271 с.
6. Яковлев Г.Ф. Геологические структуры рудных полей и месторождений. – М.: изд. МГУ, 1982. - 270 с.
7. Юматов Б.П., Байков Б.Н., Смирнов В.П. Открытая разработка сложноструктурных месторождений цветных металлов. – М.: Недра, 1973, 192 с. (с. 10-15).
8. Ломоносов Г.Г. Управление качеством продукции горного предприятия. - М.: изд. МГИ, 1984. - 94 с.
9. Методические указания по определению устойчивости пород в зависимости от их нарушенности на рудных месторождениях. - Л.: изд. ВНИМИ, 1974. - 36 с.
10. Галаев Н.З. Управление состоянием массива горных пород при подземной разработке рудных месторождений. - М.: Недра, 1990. - 176 с.
11. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. - Л.: Недра, 1989. - 488 с.
12. Белов С.В. Напряжённо-деформируемое состояние геосреды, магматизм и рудогенез. - М.: изд. ВИМС, 2004. - 190 с.
13. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. - М.: изд. Наука, 1975. – 536 с.
14. Порцевский А.К. К вопросу прогнозирования палеонапряжений и рудоносности в вулканических кальдерах. – Журнал «Цветная металлургия», 1992, № 7-8. - С. 35-36.
15. Порцевский А.К. Выбор рациональной технологии добычи руды. Геомеханическая оценка состояния недр. Использование подземного пространства. Геоэкология. - М.: изд. МГГУ, 2003. - 767 с.

## Подрисуночные подписи

Рис. 1. Систематизация сложноструктурных образований

Рис. 2. Систематизация признаков сложноструктурных рудных месторождений, участков и блоков