ISSN 0135-3500. Зап.Санкт-Петербургского горного ин-та. 1993. Том 137

УДК 38.17.19

Н.И.МИШИН, З.А.СТЕПИНА

УНИВЕРСАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ РУДНЫХ ПОЛЕЙ В ПРИЛОЖЕНИИ К МЕСТОРОЖДЕНИЯМ ЗОЛОТА

На основе универсальной структурно-геометрической модели рудных полей как закономерно соотносящихся систем рудовмещающих нарушений, сопряженных магистральному рудоконтролирующему разлому сдвигового типа, рассмотрены позиции ряда золоторудных месторождений Северо-Востока и Дальнего Востока России.

Проблема прогнозирования, поисков и оценки рудных месторождений на основе изучения структур рудных полей существует уже не одно десятилетие, но до сих пор не может считаться решенной. Наиболее очевидным свидетельством этого является отсутствие практически применимой универсальной структурной модели рудных полей.

Возможности структурно-геометрического моделирования впервые были показаны авторами на примере Дукатского золото-серебряного месторождения на Северо-Востоке России [4]. Его теоретической основой явились положения полевой тектонофизики [1] и геометризации дизъюнктивов [5, 7]. Последние были разработаны по материалам шахтной геологии, что, по-видимому, субъективно осложняет восприятие их результатов геологами-рудниками. В данной работе авторы предлагают структурно-геометрическую модель разрывного нарушения в качестве универсальной для интерпретации структуры рудного поля гидротермального месторождения и приводят конкретные примеры ее применения к месторождениям золота.

Структурно-геометрическая объемная модель дизъюнктива аппроксимируется пространственной фигурой эллипсоида, положение которого в земной коре определяется ориентировкой осей тектонических напряжений, обусловивших образование разрыва в региональном или локальном поле напряжений [4-6]. Этот эллипсоид по аналогии с классической фигурой эллипсоида вращения, характеризующегося наличием трех осей симметрии второго порядка, можно было бы назвать эллипсоидом смещения. Не рассматривая пока аспектов его внутреннего строения и своеобразно проявленной, искаженной за счет смещений, симметрии, остановимся на характеристике основных элементов и параметров модели.

Две оси эллипсоида (большая и малая) лежат в плоскости смесителя – основного элемента дизъюнктива (рис.1), а третья ось, определяющая развитие сопряженных парагенезов более мелких рангов, нормальна к смесителю. Соотношение осей эллипсоида $H:L:B \approx 1:2:3$. Максимальная амплитуда соответствует центру эллипсоида на пересечении его осей, перемещение постепенно затухает к периферии. Граница эллипсоида смещений опре-

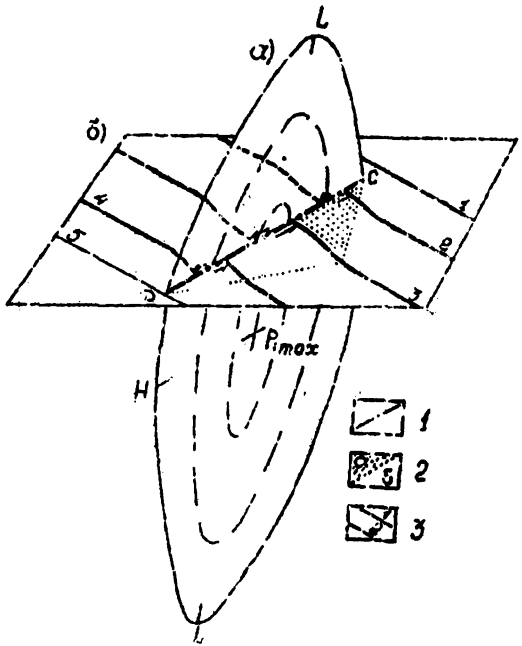


Рис.1. Структурно-геометрическая модель сдвига: а – вилка сместителя; б – горизонтальное сечение
1 – след сместителя на сечении; 2 – оолазьюнктивные зоны (а – сжатые, б – растяженные); 3 – пересекаемые сместителем геологические элементы

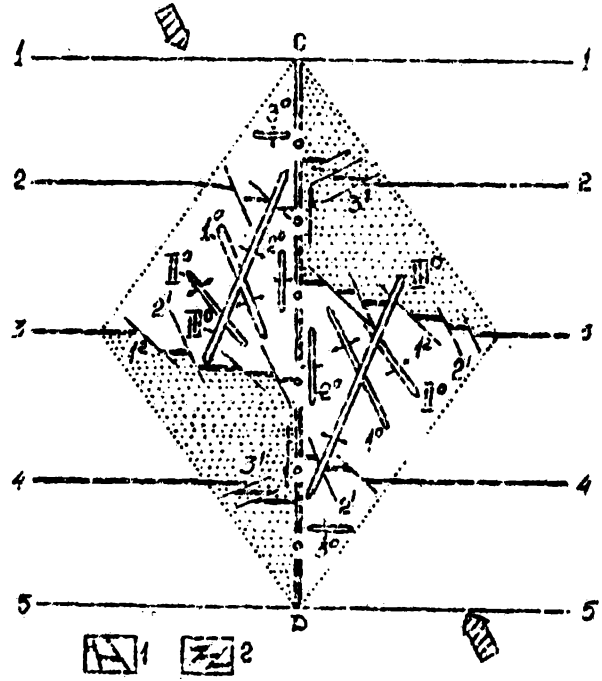


Рис.2. Принципиальная схема формирования сопряженных зон сжатия и растяжения и сопутствующих им парагенезов разрывов второго порядка вблизи сместителя дивъюнктивного сдвигового типа
1 – разрывы скалового типа (1 – сбросовой и 2 – взбросовой формы)

деляется нулевой амплитудой дифференциальных перемещений. Поверхность сместителя делит эллипсоид на две равные части. В каждой из них в направлении перемещения крыльев вначале развивается зона содизъюнктивного растяжения и амплитуда смещения увеличивается, а затем формируется зона содизъюнктивного сжатия и амплитуда смещения уменьшается (рис.2). Термин содизъюнктивный, используемый для определения этих зон, подчеркивает их отличие от зон «растяжения», возникающих в земной коре за счет действия других возможных механизмов.

В массиве пород эти зоны различаются структурными особенностями: проявлением трещин «открытого» или «закрытого» типа. В зоне растяжения это трещины отрыва и сколовые трещины сбросовой формы, а в зоне сжатия – только сколовые трещины взбросовой формы. Содизъюнктивные трещины находятся в определенных угловых соотношениях друг с другом и со сместителем основного разлома (рис.2).

Как пример дешифрирования структур рудных полей с позиций предлагаемой модели и прогноз на ее основе скрытого неизвестного еще геологам оруденения (рудолокализующей ловушки) рассмотрены два месторождения – Бамское и Наталкинское.

Бамское рудопроявление золота в Амурской области локализовано на юго-западном фланге крупного Чульбангринского массива гранитоидов раннепротерозойского возраста, который прорывает верхнеархейские гнейсы, сохранившиеся в юго-восточной части площади рудопроявления (рис.3). Общее структурно-тектоническое положение рудопроявления определяется влиянием зоны регионального глубинного разлома – Станового, или Южно-Алданского, который рассматривается как сдвиговая структура и состоит из серии кулисообразных разрывов восток-северо-восточного и запад-северо-западного простирания.

Наиболее крупной разрывной структурой на площади рудопроявления является широтный Чульбангринский разлом, совпадающий с протиранием одного из линеаментов регионального глубинного разлома. В его северном крыле наблюдается примыкание также крупного и прекрасно выраженного на местности в виде широкой полосы интенсивно трещиноватых и катаклазированных пород – Близширотного разлома, генеральное залегание которого совпадает с другим запад-северо-западным линеаментом глубинного разлома. Эти разломы рассматривались геологами как единая рудоконтролирующая структура, поскольку в зоне их влияния, на правобережье ручья Чульбангро локализованы все известные до 1990 г. золоторудные кварцевые жилы и минерализованные зоны.

Структурно-геометрическое моделирование Бамского рудопроявления золота с последующим прогнозом невскрытого с поверхности оруденения на левобережье ручья Чульбангро было выполнено авторами в августе 1990 г. Оно проводилось на основе результатов массовых измерений трещиноватости при документации канав, вскрывающих рудные тела, которые были выполнены и любезно предоставлены нам А.В.Ложниковым.

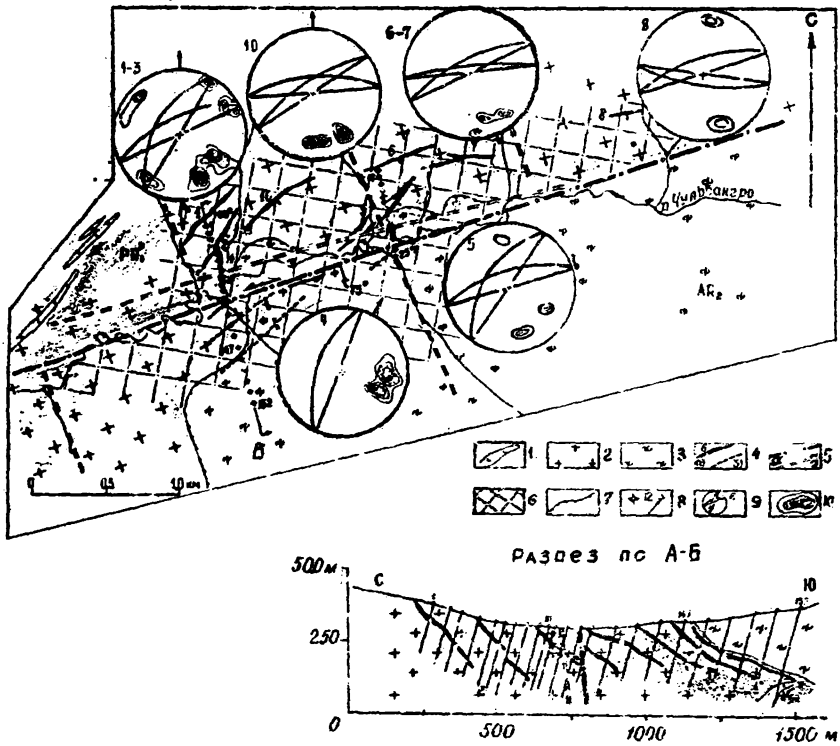


Рис.3. Интерпретация структуры рудного поля Бамского рудопроявления с позиций структурно-геометрической модели

1 – дайковые тела; 2 – граниты; 3 – гнейсы; 4 – кварц-золоторудные тела (а – выходящие под наносы, б – скрытые); 5 – разломы (а – Чульбангринский МРР; б – Близширотный – пострудный); 6 – зоны растяжения; 7 – контакт гранитов с гнейсами; 8 – разведочные скважины; 9 – круговые диаграммы трещиноватости; 10 – изолинии плотности полюсов трещин

Основной операцией структурно-геометрического моделирования рудн поля является выделение магистрального рудоконтролирующего разлома (М Он должен иметь дорудный характер, обуславливающий выклинивание рудны тел в приближении к сместителю МРР. Этими признаками и отличается сла выраженный на местности Чульбангринский разлом, тогда как многочислен случаи смещений рудных тел другим, Близширотным, разлома.. неоспоримо свидетельствуют о его пострудном характере и более молодом возрасте.

Второй необходимой операцией структурно-геометрического моделиро ния является определение „генетического" типа МРР. Термин „генетическ используется в тектонофизике для выражения закономерной зависимости т разлома от ориентировки осей главных нормальных напряжений. Известные элементы залегания Чульбангринского разлома (азимут падения 170-180°, ∠ 70°); направление следов скольжения на сместителе (угол γ = 150÷17

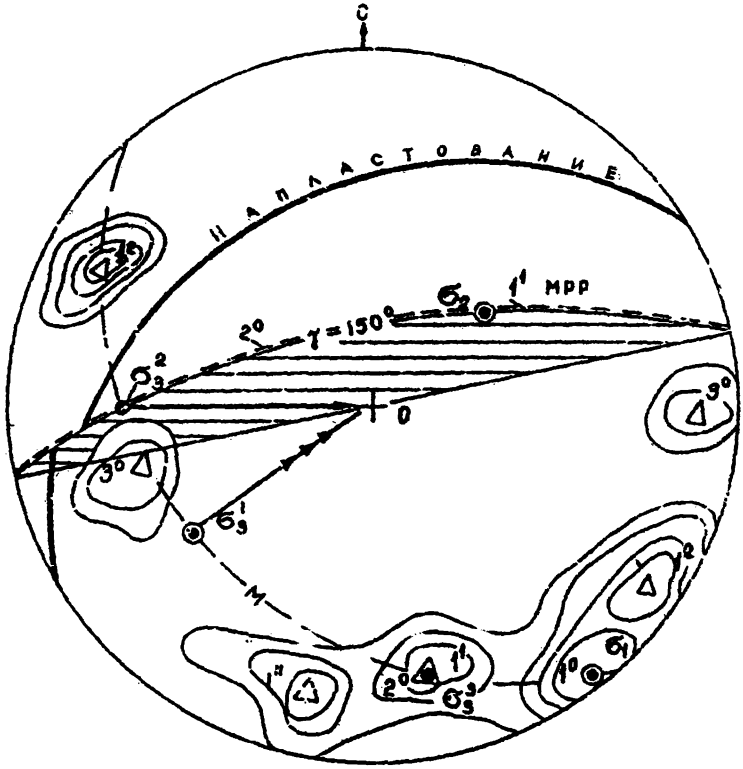


Рис.4. Сводная диаграмма трещиноватости рудовмещающих пород Бамского рудопроявления в изолиниях полюсов трещин

и положение смещенных толщ архейских гнейсов в разных крыльях позволили по известной методике [5, 7] восстановить поле напряжений, обусловивших формирование данного разлома.

Разлом сформирован в сдвиговом поле напряжений (рис.4), для которого характерно близгоризонтальное положение оси σ_3 максимальных главных нормальных напряжений при близвертикальном положении оси σ_2. Ось σ_3 направлена со стороны висячего крыла к северо-востоку, что обуславливает его перемещение в направлении падения сместителя по линии $\sigma_3^2 - 0$ и позволяет интерпретировать рассматриваемое нарушение как левосторонний сдвиг, с незначительной сбросовой составляющей.

Сдвиговый характер поля напряжений площади рудопроявления доказывается и анализом трещиноватости, представленной сводной диаграммой более двух тысяч замеров трещин. Содизъюнктивные трещины и разрывы, сформированные в зоне влияния Чульбангринского сдвига, идентифицированы как системы I^1. С ними сопряжены трещины и разрывы сколового I^2 и отрывного I^0 типа, а также трещины отрывного типа 2^0 и 3^0, ориентированные соответственно параллельно и перпендикулярно сместителю МРР [3, 7].

Измерения трещиноватости, выполненные А.В.Дожниковым, относились к известным в лежачем крыле сдвига рудным телам. Диаграммы, построенные по этим станциям наблюдений для каждого рудного тела (см. рис.3), отражают, как правило, две системы трещин, одна из которых совпадает с ориентировкой рудного тела, а вторая – с элементами залегания Чульбангринского разлома. Из диаграмм видно также, что рудные тела отчетливо коррелируют с выделенными сдвиговыми трещинами: рудные тела I-3 – с системой сопряженных сколовых трещин I^2; рудные тела 5 и I0 – с трещинами отрыва I^0, а рудные тела 6-8 параллельны простиранию сместителя МРР, т.е. соответствуют системе трещин, индексированных как 2^0. Наконец, положению системы трещин отрыва 3^0 отвечает ориентировка 4-го рудного тела.

Исходя из полученных результатов, авторы обосновали и представили схему структуры рудного поля и прогнозирования скрытого оруденения в висячем крыле Чульбангринского сдвига. В ней для определения местонахождения второй структурно-тектонической ловушки была использована сдвиговая модель системы МРР (см. рис.2). Ловушка располагается перекрестно-симметрично с известной частью рудопроявления и разделена с ней сместителем Чульбангринского разлома. Кроме того, учтено «нырнние" вмещающих рудные тела протерозойских гранитов под безрудные архейские гнейсы за счет сбросовой составляющей перемещения.

После принятия нашего прогноза и сосредоточения разведочных работ на левом берегу ручья Чульбангро, представляющего трудно проходимую заболоченную местность, в висячем (южном) крыле разлома были вскрыты слепые рудные тела II-I4 (см. рис.3). По углу встречи с сместителем МРР их можно идентифицировать как трещины отрыва I^0. Следует также отметить, что на сводной диаграмме трещиноватости и на некоторых локальных диаграммах (например, диаграмма I-3 на рис.3) видно, что вблизи системы трещин I^1 выделяется еще одна система I'', отвечающая полосу Близширотного разлома. Сопряженными с ними являются многочисленные субмеридиональные нарушения, наследуемые современной речной сетью ручья Чульбангро.

Амплитуда перемещения по Чульбангринскому разлому, с учетом ее горизонтальной составляющей, достигает, по-видимому, 300 м, а протяженность в пределах четко устанавливаемых участков его затухания в восточном и западном направлении не превышает 6 км. Близкая к простиранию сместителя ориентировка следов скольжения (γ = I50÷I70^0) и хорошая сохранность структурно-тектонической ловушки в висячем крыле разлома позволяют предположить, что мы имеем дело с центральным сечением сместителя МРР, проходящим через его малую ось (высоту) [5, 7]. Приняв во внимание, что оси сместителя соотносятся друг с другом как I:3, можно заключить, что максимальный размер сместителя МРР составлял не менее I8 км. В таком случае в направлении падения сместитель МРР может иметь развитие на глубину еще I0 км. С учетом расположения ловушки в висячем крыле под покровом архейских гнейсов можно ожидать положительных перспектив развития известных рудных тел на глубину и открытия новых слепых рудных тел.

Наталкинское месторождение. Наталка – крупное, хорошо разведанное и давно эксплуатируемое месторождение золота в Магаданской области. Оно входит в Омчакский рудный узел (Центральная Колыма), приуроченный к Тенькинской антиклинали. Ближайшей структурой второго порядка является Наталкинская брахисинклиналь, сложенная породами нижне- и верхнепермского возраста, которые по составу можно соотнести с черносланцевой формацией.

Месторождение приурочено к крутому западному крылу Наталкинской брахисинклинали, где проходит серия разновозрастных разломов северо-западного простирания с различием ориентировок в пределах 15°. Один из них – Главный – играет роль МРР.

По Главному разлому площадь Наталкинского рудного поля с поверхности до эксплуатируемого в настоящее время горизонта 600 м разграничена на рудоносную и безрудную (рис.5). Если бы Главный разлом имел нерудный характер, это можно было бы объяснить смещением рудных тел с их последующей эрозией. Однако по всем признакам Главный разлом является рудной структурой, поскольку в приближении к нему выклиниваются как все рудные тела, так и дайки магматических пород основного и кислого состава.

Протяженность Главного разлома в сечении современного эрозионного среза по следу его сместителя составляет около 6 км (от ручья Геологического на севере до ручья Глухариного – на юге). Известное положение смещенных крыльев – опущенное висячее (восточное) и поднятое лежачее (западное), а также определенное по следам скольжения (γ = 100°-120°) направление перемещения крыльев позволяют классифицировать тип Главного разлома в целом как сброс.

Анализ диаграмм тектонической трещиноватости, рудных тел, а также дорудных даек спессартитов и порфиритов позволили выявить три этапа в развитии Главного разлома, соответствующие изменениям структурных планов рудного поля. Первый из них соответствует распределению даек спессартитов (диаграмма I на рис.5). В этот период Главный разлом развивается в северо-западном направлении как левый сбрососдвиг с зиянием, возникший под действием перемещений в направлении субвертикально ориентированной оси максимальных тектонических напряжений. На диаграмме отчетливо выделяются четыре системы содизъюнктивных трещин (I^1, I^2, I^0 и 2^0), три из которых (I^2, I^0 и 2^0) маркируется дайками спессартитов как разрывы открытого типа.

Второй этап характеризуется сменой действия максимальных тектонических напряжений (поворот оси σ_3 с северо-западного направления на южное), что обусловило перемещение висячего крыла в юго-восточном направлении по падению сместителя. На этом этапе Главный разлом развивался как правосторонний сбрососдвиг с перекрытием. Ему содизъюнктивны трещины систем I^1, 2^0 и 3^0. Две последние системы отрывного типа маркируются дайками порфиритов (диаграмма II на рис.5).

Реконструированное поле напряжений третьего, рудного, этапа привело к образованию третьего структурного плана, полностью совпадающего с рудным структурным планом месторождения (см. диаграммы I и III на рис.5).

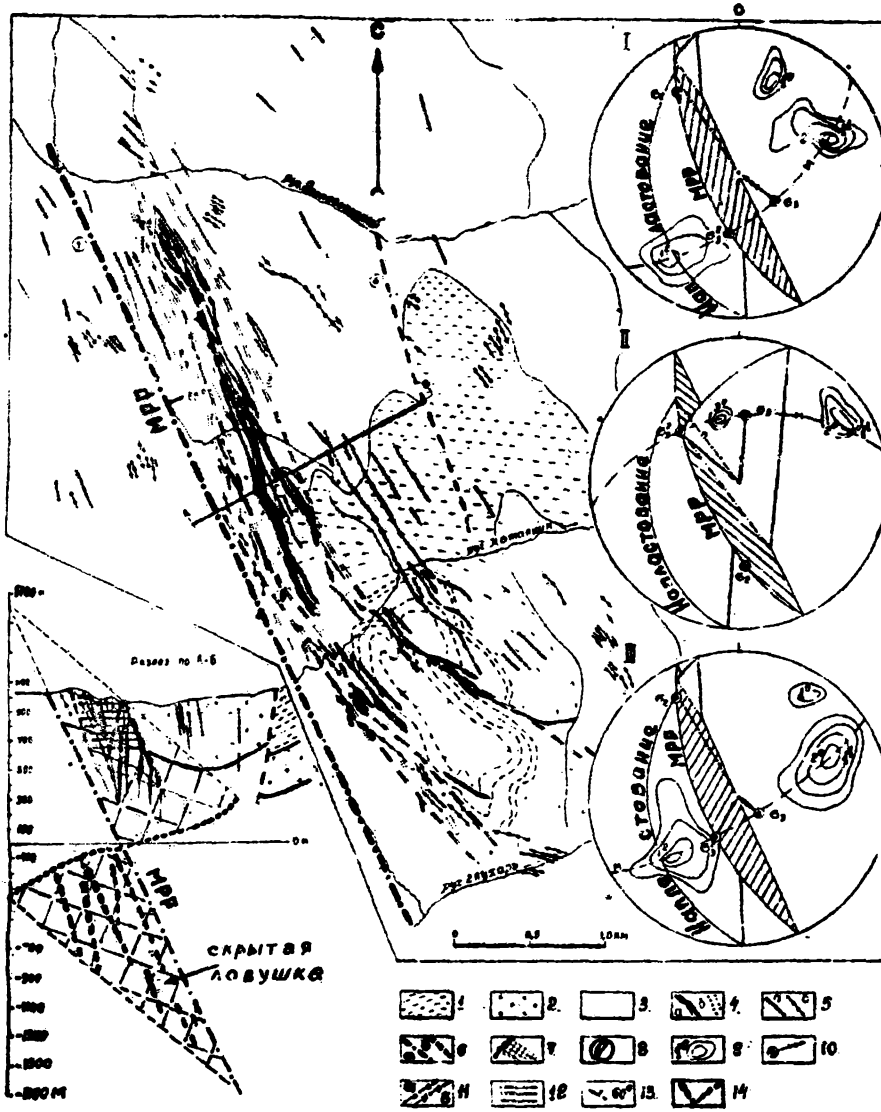


Рис.5. Интерпретация структуры рудного поля Наталкинского месторождения с позиций структурно-геометрической модели

1 – глинисто-алевритовые песчаники и сланцы верхнинской толщи; 2 – алевритоглинистые сланцы актанской свиты; 3 – углистые алевролиты тасской свиты; 4 – кварц-золоторудные зоны минерализации (а – промышленные содержания, б – следы); 5 – дайковые тела (а – спессартитов, б – порфиритов); 6 – разломы (а – Главный МРР, б – *пострудные*); 7 – зоны растяжения (а – отрабатываемая; б – прогнозная); 8 – круговые диаграммы реставрации полей тектонических напряжений различных структурных планов; 9 – системы рудных тел и линз в изолиниях плотности их полюсов; 10 – положение оси максимальных главных нормальных напряжений; 11 – линии скрещения (а – висячего, б – лежачего крыла); 12 – подземные горные выработки; 13 – элементы залегания; 14 – предполагаемые рудные тела в скрытой ловушке

Именно этот факт объясняет наложение рудной минерализации на дайковый комплекс спессартитов, а не воздействие «рудно-магматического» пучка, глубинным источником которого предполагается интрузия гранитоидного состава на северо-восточном фланге месторождения [2]. Отсутствие рудных проявлений в дайках порфиритов – разрывах второго структурного плана – обусловлено тем, что трещины и разрывы, составляющие этот план и подновившиеся в поле напряжений третьего этапа, приобретали взбросовую форму, которая не способствует отложению в них рудного материала. В целом на третьем этапе формировался крутопадающий сбрососдвиг с зеркалом.

Исходя из параметров Главного разлома можно рассчитать глубину залегания структурно-тектонической ловушки в его лежачем крыле [6, 7]. Вскрытый эрозией след сместителя Главного разлома является «случайным» сечением, т.е. сечением, не проходящим через центр эллипсоида МРР [7]. По нашим расчетам, центральное сечение приходится на нулевой горизонт и будет иметь максимальную амплитуду перемещения 200–250 м. Исходя из этого значения амплитуд построена эпюра сместителя Главного разлома (рис.6). До указанной отметки как амплитуда, так и размеры МРР будут увеличиваться, а затем пойдет постепенное затухание до полного исчезновения разлома на глубине 3–3,5 км от поверхности (см. разрез А-Б на рис.5). Ловушка висячего крыл с глубиной должна увеличиваться в размерах и в объеме за счет развития большего числа и протяженност трещин и разрывов отрывного типа. Это нашло подтверждение при разведке горизонта 550 м, где впервые на месторождении выявлено три слепых рудных тела, представленных кварц-золоторудными жилами мощностью до 3 м с высокими содержаниями золота. Выклинива-

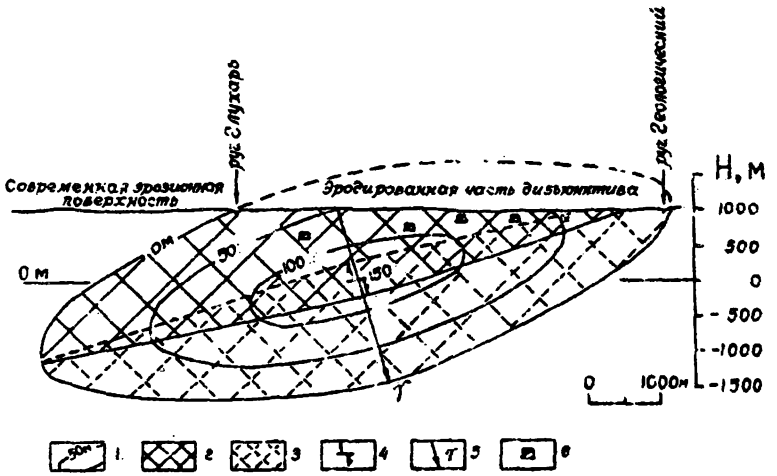


Рис.6 Продольная проекция сместителя Главного разлома, отражающая по отношению к уровню эрозионного среза залегание верхней и нижней структурно-тектонических ловушек

1 – изолинии амплитуд; 2, 3 – структурно-тектонические ловушки (2 – в висячем и 3 – в лежачем крыльях); 4 – максимальная амплитуда перемещения; 5 – направление перемещения висячего крыла; 6 – штольни

ние контуров верхней ловушки с известными и новыми рудными телами сжимается вблизи границы горизонта с нулевой отметкой (см. разрез А-Б на рис.5).

Прогнозируемая „нижняя" структурно-тектоническая ловушка в лежачем крыле Главного разлома по конфигурации будет зеркальным отражением верхней, т.е. с глубиной должно наблюдаться постепенное уменьшение количества и размеров богатых рудных тел жильного типа и появление вплоть до выклинивания ловушки более бедных золотом минерализованных зон.

Приведенные примеры прогноза золотого оруденения, ранее не обнаруженного с поверхности, а во втором случае - скрытого на большой глубине, могут, по убеждению авторов, служить прямым доказательством универсальности предлагаемой структурно-геометрической модели рудных полей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Гзовский М.В. **Основные вопросы тектонофизики и тектоники Баджальского антиклинория.** М.: Изд-во АН СССР, 1963. 236 с.

Калинин А.И. **Структуры месторождений золота и серебра Северо-Востока России** // Отечеств. геология. 1992. 9. С. 21-29.

3. Любич Г.А., Мишин Н.И. **Методы изучения трещиноватости с целью оценки горно-геологических условий отработки угольных пластов:** Учеб.пособие / Ленингр. горный ин-т. Л., 1988. 73 с.

4. Мишин Н.И., Степина З.А. Структурно-геометрические закономерности локализации золото-серебряного оруденения Северо-Востока СССР // Зап. Ленингр. горного ин-та. 1990. Т. 121. С. 26-36.

5. Мишин Н.И. Структурно-геометрический анализ разрывных нарушений с применением картографических сеток / Ленингр. горный ин-т. Л., 1987. 72 с.

6. Мишин Н.И., Степина З.А. Формирование структур жильных рудных полей магистральным рудоконтролирующим разломом (МРР) Докл. РАН. 1992. Т. 323. 2. С. 349-353.

7. Разрывные нарушения угольных пластов (по материалам шахтной геологии). Л.: Недра, 1978. 190 с.