

УДК 553.411:551.1/.4

## СТРУКТУРА ВОДОРАЗДЕЛЬНОЙ РУДНОЙ ЗОНЫ МНОГОВЕРШИННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА: ДАННЫЕ ПО ОТКРЫТЫМ ГОРНЫМ ВЫРАБОТКАМ И КЕРНУ СКВАЖИН

Сластников Виктор Валентинович<sup>1,2</sup>,  
v\_slastnikov@mail.ru

<sup>1</sup> Dongshan Investments Ltd., С/о BDO Chartered Accountants Advisors,  
LOB 16, Office No. 124, P.O. Box 261253, Jebel Ali Free Zone, Dubai, UAE

<sup>2</sup> Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,  
Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, 21 линия В.О., д. 2.

**Актуальность работы** обусловлена необходимостью доизучения структуры Многовершинного месторождения золота с целью повышения точности прогнозирования размеров потенциально рудных жил при проведении разведочных работ.

**Цель работы:** уточнение строения рудной зоны Водораздельная Многовершинного месторождения золота.

**Методы исследования.** Определение кинематики перемещений по разрывным нарушениям было выполнено методами стрейн-анализа. Прослеживание на глубину структур и увязка их пересечений в открытых выработках и керне скважин выполнено по разработанной нами методике учета структурных данных по неориентированному керну.

**Результаты.** Выдвинута гипотеза о генетической связи отдельных систем разрывных нарушений с перемещениями по крупным разломам, определяющим структуру месторождения. Выделены системы сопряженных трещин, соответствующие дорудному, рудному, пострудному этапам становления месторождения. Результаты структурного анализа показывают, что основными рудо-контролирующими структурами являются трещины скола – сместители разрывов северо-восточного простирания, заложенные в прерудный этап и испытавшие подновление в рудный. На основе предложенной методики статистической обработки и учета углов к оси неориентированного керна проведен поиск рудоконтролирующих разрывных структур, прослеженных как на поверхности, так и бурением. Была подтверждена высокая вероятность их идентификации в керне скважин. Глубина экстраполяции выбрана исходя из наиболее вероятной максимальной глубины влияния рудоконтролирующих разрывов и глубины эрозионного среза. Замеренные для контактов жил углы к оси керна были пересчитаны в углы и азимуты падения с шагом поворота вокруг оси керна в 10° – для каждого замера рассчитаны 36 равновероятных положения. Из полученного массива данных по углу и азимуту падения были выбраны с определенным допуском замеры по элементам, сонаправленным структурным элементам, выделенным по поверхности. Таким образом, была оценена глубина развития отдельных систем трещин, относящихся к рудному этапу. Полученные результаты дают количественную характеристику выдержанности рудовмещающих трещин. Сформулированы требования к результатам документации керна для применения использованной методики для увязки пересечений по неориентированному керну.

### Ключевые слова:

Дальний Восток России, Многовершинное месторождение, рудная зона Водораздельная, структурный анализ, стрейн-анализ, моделирование зон прожилкования, колонковое бурение.

Водораздельная рудная зона является фланговой частью Многовершинного месторождения золота (Многовершинный рудный район, Нижне-Амурский золоторудный пояс) [1]. Она расположена на водоразделе ручьев Улченка и Заманчивого, западнее г. Многовершинного, в лежачем боку северо-восточного окончания Главной рудной зоны, в юго-восточном экзоконтакте жерловины, контролирующей ее. Рудная зона изучалась в 1970–80-х гг. группами Э.П. Хохлова, Г.Е. Усанова, Н.Ф. Даниленко, С.И. Косова, С.И. Филина и др. По их данным, простирание рудной зоны северо-восточное. Состоит она из серии сближенных субпараллельных кварцевых жил и прожилок. Ее строение близко другим рудным зонам месторождения.

Решение производственной задачи по прогнозу перспективности флангов месторождения заставило нас провести ревизию данных о структуре месторождения и поставило ряд побочных задач, решение которых отражено в настоящей статье. Этими задачами стали: во-первых, выделение событий, определивших структуру рудной зоны и месторож-

дения в целом; во-вторых, разрешение методологического затруднения – провести геолого-структурное исследование только по имеющимся результатам документации открытых горных выработок и скважин и сформулировать его методику.

### Геологическое строение рудной зоны Водораздельная

Рудная зона Водораздельная довольно компактна: протяженность зоны прожилкования около 800 м, рудной зоны – около 200 м. Падение жил северо-западное под углом 50°–60°. Вмещающими породами является осадочная толща, относимая к падалинской свите (верхняя юра). Сложена она ороговикованными песчаниками и алевролитами, смятыми в куполообразную антиклиналь с падением крыльев к западу и востоку под углами 60°–70°. На юго-востоке площади рудопроявления описан остаток пород вулканогенной толщи, вероятно связанный с впадиной палеорельефа. Породы на площади рудопроявления прорваны рядом даек диоритовых порфиритов и разбиты серией субпараллельных разломов с простиранием от субширотного до севе-

ро-западного ( $280^{\circ}$ – $290^{\circ}$ ). Перемещения по ним оцениваются до 20–50 м. Золотая минерализация отмечена как собственно в кварцевых жилах, так и в кварц-серицитовых метасоматитах по осадочным породам [1–6]. Толща осадочных пород повсеместно в различной степени окварцована. Золоторудная минерализация в зонах окварцевания приурочена к тонким прожилкам и просечкам кварца. Рудная зона, как и все месторождение, сравнительно глубоко эродирована [5, 7].

#### Методика анализа структуры рудной зоны

Целью исследования стало получение модели структуры Водораздельной рудной зоны с увязкой ее с принятыми моделями Многовершинного месторождения. Для этого требовалось, во-первых, охарактеризовать деформации, проявленные в пределах рудной зоны; во-вторых, выяснить очередность выделенных тектонических событий и связать их с этапами становления всего месторождения, как это было выполнено в [8]. Практическим применением полученной модели структуры рудной зоны стало использование ее как рабочей гипотезы при интерпретации результатов документации открытых горных выработок и керна скважин.

Анализ структуры рудной зоны был выполнен по массиву замеров элементов залегания (207 замеров), полученному в ходе проведения документации канав и расчисток во врезках дорог преимущественно в 2011–2012 гг. Отбор образцов для проведения исследований методом Фрая или Эллиотта ( $Rf/\phi$ ) [9, 10] в песчаниках и алевролитах, слагающих рудную зону, не проводился: для применения метода Эллиотта в них отсутствуют маркеры, а применение метода Фрая инструментально затруднено в производственной организации. Таким образом, исследование было проведено по имеющимся, заслуживающим доверия данным. В пределах рудной зоны могут быть выделены несколько структурных доменов: структура рудной зоны анализировалась для замеров, проведенных в одном структурном домене, выделенном по [9, 11].

Для каждого из типов структур (контакты, прожилкование, трещиноватость) были построены диаграммы распределения полюсов трещин. По ним были отстроены основные системы трещин и контакты литологических разностей [9, 12, 13]. Разброс полученных значений не позволил однозначно интерпретировать их без выделения наиболее информативных систем трещин: систем сопряженных трещин, так как для них возможно установление направлений перемещений. Выделение систем сопряженных трещин было проведено по геометрическому признаку: три системы трещин пересекаются под равными углами [9, 11, 14], отдельно для систем кварцевых прожилков и сухих трещин. Такой же анализ был проведен автором для рудной зоны Чайная, также относящейся к Многовершинному рудному полю [15]. По его ре-

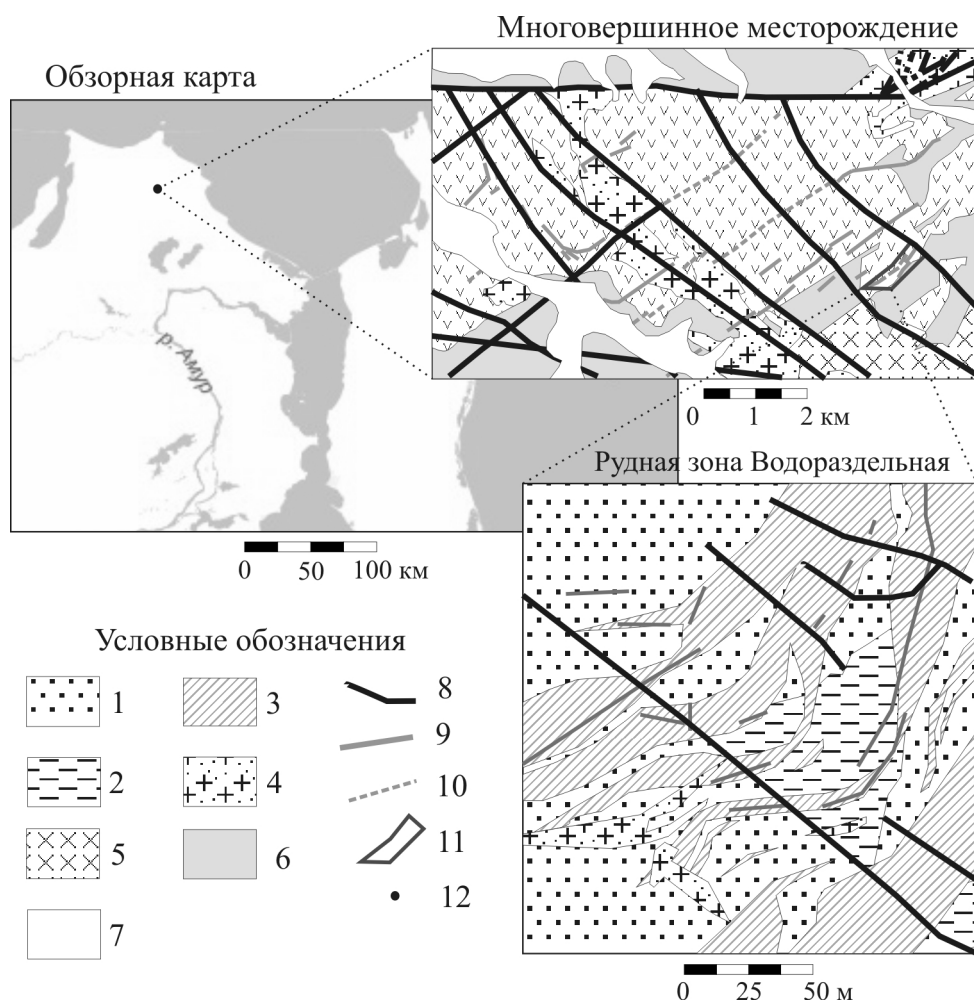
зультатам была построена модель потенциально рудных зон прожилкования и оценено влияние способа геометризации на их объем.

Всего в пределах южного и центрального блоков Водораздельной рудной зоны было выделено 5 сопряженных систем трещин отрыва и скалывания, три из них включают рудовмещающие структуры – кварцевые жилы и метасоматиты (рис. 1).

#### Результаты анализа структуры рудной зоны

Проведенный анализ позволил выдвинуть гипотезу о становлении структуры рудной зоны Водораздельная в рамках развития Многовершинного месторождения. Были выделены три этапа формирования структуры Водораздельной рудной зоны. Система сопряженных трещин 1 (рис. 2) интерпретируется как относящаяся к **дорудному этапу** и соответствует обстановке левостороннего сбросо-сдвига. Образование последнего может быть связано с перемещениями по Леоульскому разлому, интерпретируемому по направлению оперяющих трещин отрыва и эрозионному срезу на его бортах, так же как левосторонний сбросо-сдвиг. Заложённые на этом этапе крутопадающие трещины отрыва параллельны рудоконтролирующим разломам рудных зон Многовершинного месторождения (Главной, Промежуточной, пр.), рис. 3. По данным трещинам отрыва прошла циркуляция растворов, вызвавших образование кислых метасоматитов. Следует отметить, что образование пологопадающих тел метасоматитов Водораздельной рудной зоны, в отличие от таковых в центральной части Многовершинного месторождения, по условиям залегания скорее относятся к рудному этапу, а в дорудный этап сформировалась часть разломов северо-западного простирания. Последнее подтверждается соотношением жильных тел, рудных зон и грабеновой структуры.

**Рудный этап** развития структуры рудного поля представлен тремя системами сопряженных трещин (№№ 2, 3, 4), по части которых происходило образование кварцевых жил и метасоматитов. В пределах рудного поля происходила активизация Леоульского разлома в ситуации растяжения в грабеновой структуре, ограниченной Среднеульским и Кулибинским разломами. Плоскости сместителей отвечают трещинам отрыва дорудного этапа основных рудных зон Многовершинного месторождения (Главной и Промежуточной), только по ним шло образование кварцевых жил и метасоматитов (рис. 3). Представляется вполне вероятным, что метасоматоз предшествовал образованию кварцевых жил и отложению руды, как это происходило в остальных рудных зонах Многовершинного месторождения по данным разведочных работ, проведенных группой Э.П. Хохлова в период с 1976 по 1980 г. Сопряженные трещины скалывания и отрыва в этот период были закрыты, к ним не приурочены метасоматиты или жилы (рис. 1, 2).



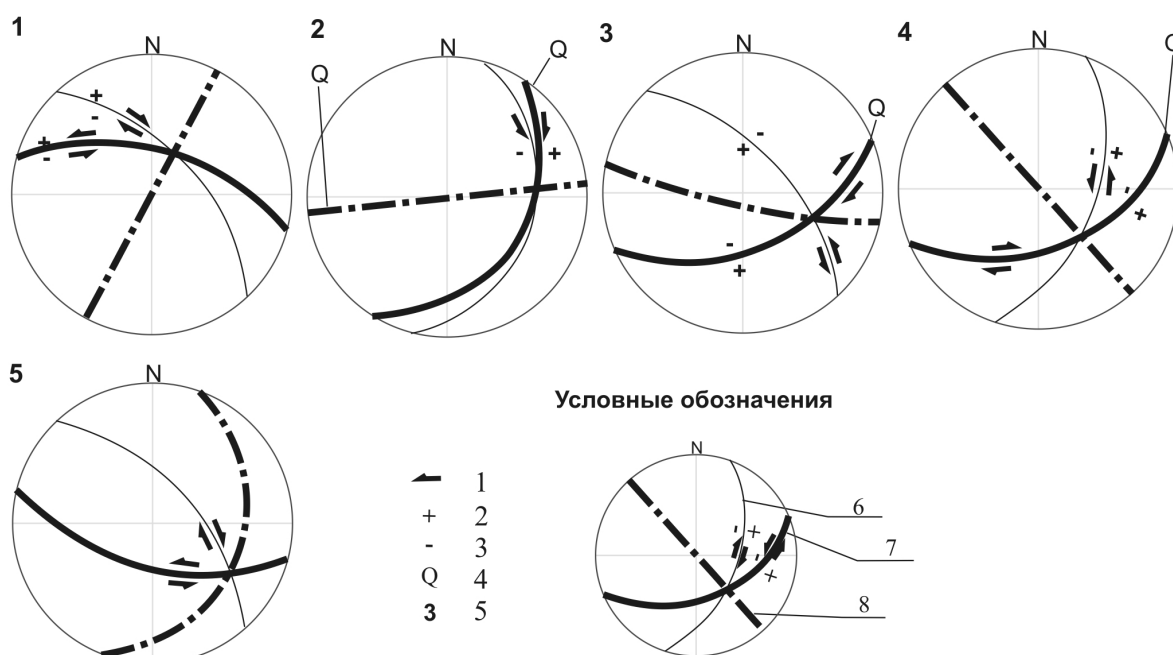
**Рис. 1.** Схема геологического строения Водораздельной рудной зоны и основных разломов Многовершинного рудного поля с элементами обзорной карты. По материалам: [16], отчетов по разведке Многовершинного золоторудного месторождения за 1979–1985 гг., [17]. Условные обозначения: 1 – песчаники; 2 – алевролиты; 3 – метасоматиты полнопроявленные кварцевые, кварц-серicits-адуляровые, дат-палеоценовый вулканоплутонический комплекс; 4 – дайки диорит-порфиров; 5 – гранодиориты, граниты; 6 – эффузивные и субвулканические фации андезитов; 7 – современные аллювиальные отложения; 8 – основные разрывные нарушения; 9 – кварцевые жилы и зоны прожилкования, выходящие на дневную поверхность; 10 – слепые кварцевые жилы и зоны прожилкования; 11 – контур рудной зоны Водораздельная; 12 – Многовершинное месторождение

**Fig. 1.** Scheme of geological structure of Vodorazdelnaya ore zone and the main faults of Mnogovershinnoye ore field with the area map. Based on the materials from [16], reports on exploration of the MNV gold deposit (1979–1985) and [17]. 1 are the sandstones; 2 are the siltstones; 3 are the quartz and quartz-sericite-adularite metasomatic rocks; 4 are the diorite-porphyr dykes; 5 are the granites, granodiorites; 6 are the effusive and subvolcanic andesite faces; 7 are the contemporary alluvial deposits; 8 are the main faults; 9 are the quartz veins and veinlet zones on the surface; 10 are the «blind» quartz veins and veinlet zones; 11 are the borders of the Vodorazdelnaya ore zone; 12 is the Mnogovershinnoye ore deposit

Размах открытия трещин можно оценить по мощности жил. Используя соотношение перемещения по разрыву к его мощности по падению и простиранию по [18] как 1:20:60, при мощности жил около 1 м, по данным бурения влияние растягивающей составляющей по падению может быть оценено от 20 до 60 м для погребенных жил. С другой стороны, большинство вскрытых канавами жил представляют серии линз и зон интенсивного прожилкования, прослеживающиеся по простиранию на 220–250 м. По падению они уверенно сле-

дятся на глубину 30–50 м, азимут и угол падения неизменны. Таким образом, зона влияния деформаций при условии неоднородности эрозионного среза, вызванной различным положением жил на склоне сопки, может быть оценена в 20–60 м. Данная оценочная глубина была использована нами как граница экстраполяции результатов структурного анализа на глубину.

**Пострудный этап.** Представлен системой сопряженных трещин № 5, отвечающей левостороннему взбросо-сдвигу. Наиболее вероятна его связь



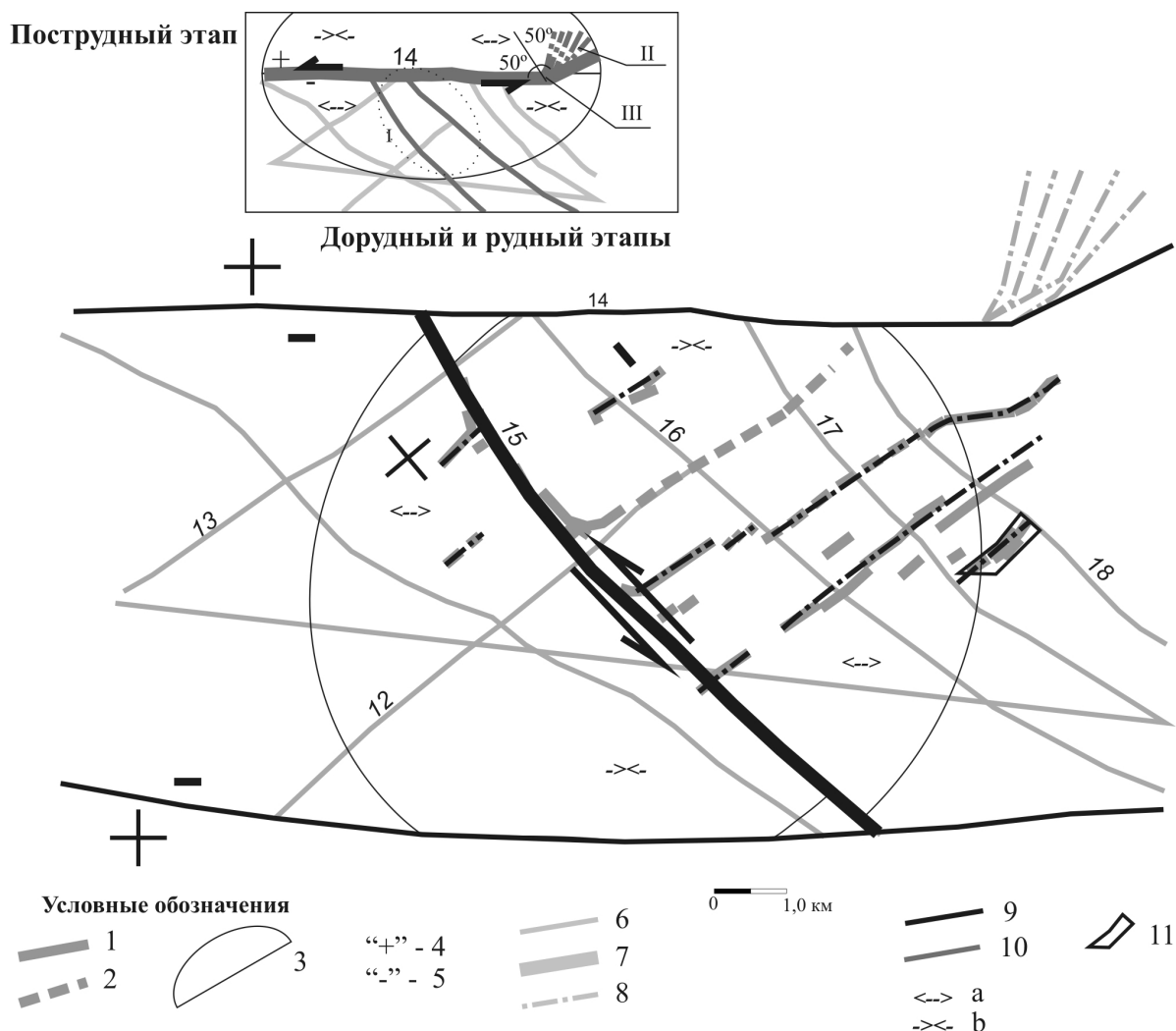
**Рис. 2.** Системы сопряженных трещин. Равноугольная проекция на верхнюю полусферу. 1 – направление смещения по горизонтали; направление смещения по вертикали: 2 – приподнятый блок, 3 – опущенный блок; 4 – развитие по трещине кварцевых жил или зон кислотного выщелачивания; 5 – номер сопряженной системы трещин; 6 – сопряженная трещина на скола; 7 – сместитель; 8 – трещина отрыва. Описание выделенных систем сопряженных трещин: 1 – сбросо-сдвиг левосторонний, близок по простиранию Лёвоулскому разлому. Предполагается обстановка растяжения и тангенциального сжатия, дорудный этап. 2, 3, 4 – сбросо-сдвиг правосторонний. Предполагается обстановка растяжения и тангенциального сжатия, рудный этап. 5 – взбросо-сдвиг левосторонний. Предполагается обстановка тангенциального сжатия, пострудный этап.

**Fig. 2.** Systems of conjugated fractures. Equiangular projection to the upper hemisphere. 1 is the horizontal shift; vertical shift: 2 is the elevated block, 3 is the downdip block; 4 are the quartz veins or acidic leaching zones upon the fracture; 5 is the number of the conjugated joint system; 6 is the conjugated shear fracture; 7 is the fault plane; 8 is the rupture. Description of the investigated systems of conjugated fractures: 1 is the left-down shift, direction is close to Levoulsky fault. The assumed conditions are dilation and tangential contraction, pre-ore stage. 2, 3, 4 is the right-down shift. The assumed conditions are dilation and tangential contraction, ore stage. 5 is the left-up shift. The assumed condition is the tangential contraction, post-ore stage

с подвижками по Среднеулскому разлому, сопровождавшимися внедрением даек пострудного комплекса эоценового возраста. Направление движения по разлому реконструируется как левосторонний сбросо-сдвиг по дайковому комплексу в трещинах отрыва в северном (приподнятом) борту, сопряженные трещины скалывания по простиранию параллельны Лёвоулскому и Южному разломам, между которыми прошло внедрение крупного дайкового массива (рис. 3). Отсутствие внедрения даек по рудным зонам северо-восточного простирания может объясняться как их косым положением относительно систем сопряженных трещин данного этапа, так и наличием мощной ослабленной зоны Лёвоулского разлома. Рудопроявление Водораздельное в пострудный этап находилось в зоне относительного сжатия, что доказывается как построениями по Среднеулскому разлому, так и системе сопряженных трещин 5. В рамках настоящей работы мы рассмотрели структуру рудной зоны Водораздельной и возможные связи со структурой Многовершинного рудного поля. Проведение дальней-

ших исследований структур отдельных рудных зон Многовершинного рудного поля, как разрабатываемых, так и периферийных, позволит установить ведущие факторы тектонической активности на разных этапах его становления. Так, влияние соседствующего Бекчи-Улского многофазного интрузивного массива, внедрение которого по [19] может быть отнесено к рудному и пострудному этапам, на становление структур рудного поля отмечалось, к примеру, в [1, 9, 15] и в отчетах о проведении разведочных работ на Многовершинном месторождении за 1973, 1975, 1980 гг., но в рамках исследований на отдельных структурных доменах выделение его из общей картины дискуссионно.

Верификация результатов исследования возможна повторными полевыми исследованиями на стадии эксплуатационной разведки рудной зоны Водораздельная, как это было сделано на золотосодержащем рудном поле Чартерс-Тауэрс в Австралии – с опорой на интерпретацию геофизических данных и стрейн-анализ [21]. Сопоставимые результаты могут быть получены при проведении исследова-



**Рис. 3.** Схема поэтапной активизации разрывных нарушений Многовершинного рудного поля [16, 20]. Кварцевые жилы и штокверки: 1 – достоверные, 2 – предполагаемые, «слепые»; 3 – эллипсоид деформации, вызванной перемещениями по разрывному нарушению; 4 – поднятый блок; 5 – опущенный блок. Разрывные нарушения: 6 – без уточнения генезиса; 7 – трещина скола – основной сместитель; 8 – трещина отрыва; 9 – разрывные нарушения, относимые к рудному этапу; 10 – разрывные нарушения, относимые к пострудному этапу; 11 – рудная зона Водораздельная. Разломы: 12 – Салалинский; 13 – Конечный; 14 – Среднеулский; 15 – Легоулский; 16 – Южный; 17 – Средний; 18 – Перевальный; а – сжатие, b – растяжение. I – внедрение даек по подновленным разломам СЗ простирания; II – внедрение даек по трещинам отрыва в условиях растяжения; III – трещины скола, параллельные Легоулскому разлому

**Fig. 3.** Scheme of stepwise activation of faults of Mnogovershinnoye ore field, based on [16, 20]. Quartz veins and stockworks: 1 – proved; 2 – assumed and «blind» ones; 3 is the ellipsoid of deformation; 4 is the elevated block; 5 is the downdip block. Faults: 6 – with undefined genesis; 7 is the cleavage crack (faults) – the main deposer; 8 is the tensile crack; 9 are the ore stage faults; 10 are the post-ore stage faults; 11 is the Vodorazdelnaya ore zone. Main faults: 12 – Salalinsky; 13 – Konechny; 14 – Sredneulsky; 15 – Levoulsky; 16 – Yuzhny; 17 – Sredny; 18 – Perevalny; a is the contraction, b is the dilation. I is the intrusion of dykes upon the renovated NW faults. II is the intrusion of dykes upon tensile cracks under dilation; III are the cleavage cracks, parallel to Levoulsky fault

ния тектонизированных пород [22]. Вторым способом проверки истинности выдвигаемой модели может стать дешифрирование аэрофотоснимков с верификацией гипотез о строении всего рудного узла, как это было сделано, к примеру, для области Оуачита (Ouachita) в Техасе [23] или складчатой области на Крите [24].

#### Методика учета результатов структурного анализа при интерпретации результатов документации керна

При документации керна в 2011–2012 гг. был накоплен массив замеров углов структурных элементов (контактов, зон брекчирования, дробления и пр.) к оси неориентированного керна.

Изучение структуры рудной зоны, ее тектонического строения является ключевым методом моделирования рудных тел и прогноза их размещения [25, 26]. Площадь рудной зоны была детально изучена с поверхности, однако не был до конца решен вопрос о прослеживании потенциально рудоносных структур на глубину: по имеющимся данным была возможность построения нескольких моделей. Получение результатов анализа структур по поверхности заставило провести проверку их репрезентативности при экстраполяции на некоторую глубину, которая эмпирически была определена как максимальная граница влияния деформаций, сформировавших структуры, выходящие на дневную поверхность. С учетом эрозионного среза эта величина оценена в 20–60 м – так как жилы простираются вкрест гребню, то минимальная эродированность и максимальная глубина границы приходится на гребень сопки, минимальная – на склоны в распадках. Подобная экстраполяция результатов анализа структур по документации открытых горных выработок была успешно использована при построении альтернативной модели рудовмещающих тел рудной зоны Чайная, расположенной на западном фланге Многовершинного рудного поля [15].

Для экстраполяции структурных данных была сделана выборка замеров углов к оси керна четко идентифицируемых контактов. Таким образом снижалось влияние «человеческого фактора», так как описание контактов строго контролируется при документации керна [27]. Массив данных прошел обработку по следующему алгоритму:

1. Произведена выборка замеров контактов, принадлежащих области до границы экстраполяции результатов структурного анализа.
2. Для полученной выборки произведен расчет всех возможных положений структурного элемента относительно оси керна с шагом вращения вокруг оси керна в  $10^\circ$ : удвоенной точности замера угла структурного элемента, которая составляет по опыту работы около  $5^\circ$ . Таким образом, для каждого замера рассчитаны 36 равновероятных положений. Применение данного способа базируется на равной вероятности положений, получаемых при повороте структурного элемента вокруг оси керна. Методика расчетов описана ниже.
3. Из полученного массива данных выбраны варианты, по углу и азимуту падения согласующиеся с элементами залегания отдельных систем трещин, выделенных по результатам анализа структуры рудной зоны в пределах определенного допуска. При повороте структурного элемента вокруг оси керна, моделирующем неупорядоченную его ориентацию, вектор направления падения структурного элемента описывает конус, форма которого задается углом элемента к оси керна. Таким образом, по расчетным положениям структурного элемента, замеренного

по керну, можно связать его со структурным элементом, азимут и угол падения которого были замерены на поверхности. Степень достоверности такого сравнения обратно зависит от ширины окна сравнения и выбора глубины экстраполяции: узкое окно сравнения, близкое к точности проведения полевых измерений, и малая глубина экстраполяции повышают достоверность [28, 29]. Лучшие условия проведения экстраполяции соблюдаются, если анализируемый интервал в скважине отстоит от горной выработки, где измерялись элементы залегания экстраполируемого структурного элемента, на расстояние меньшее, чем длина по падению зоны развития анализируемого структурного элемента – жилы, штокверка или системы сухих трещин.

Окно сравнения, примененное нами, составило  $\pm 5^\circ$  (высокая достоверность) и  $\pm 10^\circ$  (низкая достоверность, двойная случайная ошибка и допуск на неровности контактов). Более узкое окно сравнения не применимо, так как оно меньше шага пересчета элементов залегания и по опыту полевых работ соответствует точности измерения угла к оси керна документатором средней квалификации. Окно сравнения более  $20^\circ$  ( $\pm 10^\circ$ ) чрезмерно снижает достоверность экстраполяции, так как приближается к стандартному отклонению рассчитанных углов падения ( $31,13^\circ$ ), что неминуемо приведет к включению в выборку дублирующих значений.

Расчет возможных значений элементов залегания был проведен в табличном процессоре Open Office Calc по алгоритму, приведенному ниже:

**Поставим задачу:** рассчитать для структурного элемента набор возможных элементов залегания, соответствующих ряду его положений при повороте вокруг оси керна. Полученные данные должны быть пригодны и удобны для систематизации и анализа.

Пусть

$L$  – глубина замера по стволу скважины,  
 $A$  – пикет замера инклинометрии на глубине  $L-1$ ,  
 $B$  – пикет замера инклинометрии на глубине  $L+1$ ,  
 $\alpha$  – угол бурения от горизонта,  
 $\beta$  – азимут бурения,  
 $\gamma$  – угол падения элемента,  
 $\eta$  – азимут падения элемента,  
 $\theta$  – угол элемента к оси керна (о. к.), измеренный на глубине  $L$ ,  
 $M$  – плоскость бурения,  $A \in M, B \in M$ ,  
 $H$  – горизонтальная плоскость,  $\gamma_H = 0, M \perp H$ .

**1. Рассчитаем угол падения элемента по методу расчета в программном продукте Micromine** – как линейную сумму угла бурения и угла к о. к.

$$\gamma = \theta - \alpha.$$

Тогда  $\gamma \in [0^\circ; 180^\circ]$  – для бурения в нижней или верхней полусфере, и мы получаем два равновероятных положения элемента, отличных только поворотом элемента вокруг оси керна на  $180^\circ$  (ось керна в описываемом построении – ось второго порядка):

$\gamma_1 = \theta - \alpha$  такое, что  $\gamma_1 > \alpha$  и  $\gamma_2 = \alpha - \theta$  такое, что  $\gamma_2 > \alpha$ .

Чтобы разрешить эту неопределенность, примем, что  $\gamma < \alpha$ ;

$$\gamma = \alpha - \theta; \gamma \in [0^\circ; 90^\circ]; \gamma < \alpha.$$

**2. Азимут и угол падения структурного элемента** могут быть заданы в трехмерном пространстве с помощью вектора. Такой способ визуализации используется в программном продукте Micromine (инструмент «структурные диаграммы»). Необходимой и достаточной его характеристикой является его направление – он по построению может быть аппроксимирован единичным вектором.

Выберем декартову систему координат (ДСК) с началом отсчета в точке замера угла элемента к оси керны  $O$  на расстоянии  $L$  от устья скважины. Ориентировка осей стандартная для ГИС: ось  $Z$  направлена в зенит,  $X$  – на восток,  $Y$  – на север. Для каждой рассматриваемой ниже плоскости проецирования  $OD$  начало координат находится в точке  $O$ . Буквенное обозначение плоскости, на которую спроецирован вектор  $OD$ , указывается в виде нижнего индекса. Так же указываются оси координат. Пример:  $OD_M$  – проекция вектора  $OD$  на плоскость  $M$ .

**3. Вращение элемента вокруг трассы скважины** можно представить как поворот вектора  $OD_K$  вокруг начала координат на некоторый угол  $\varphi$ . Данное вращение переводит структурный элемент из стандартной ориентировки в нестандартную.

Пусть вектор  $OD$  такой, что

$$\gamma_{OD} = \gamma; \alpha_{OD} = \alpha; OD \in M.$$

Построим плоскость  $K$  такую, что  $K \perp M; AB \perp K$ .

В плоскости  $K$  зададим двумерную систему координат, так, чтобы

$$O(0; 0); Y_K = Y_M \cos \alpha; X_K = 0.$$

Спроецируем  $OD$  на плоскость  $K$ :

$$OD \rightarrow OD_K, X_K(D) = 0; Y_K(D) = \frac{Y_M(D)}{\cos \alpha}.$$

Выберем угол  $\varphi$ . Так как для решения задачи необходим и достаточен расчет положения структурного элемента в пределах одного полного поворота вокруг оси керны при одном известном положении, то  $\varphi \in \{0^\circ; 360^\circ\}$ . Получим величину необходимого и достаточного числа положений  $n$  структурного элемента, рассчитанную по углу  $\varphi$

$$n = 2\pi/\varphi.$$

Вычислим координаты  $OD_K$  после поворота на угол  $\varphi$ :

$$OD'_K(Y_K \sin \varphi; Y_K \cos \varphi) \rightarrow X(D')_K = Y(D)_K \sin \varphi;$$

$$X(D')_K = Y_K \cos \varphi.$$

**4. Вычисление элементов залегания для нестандартной ориентировки** структурного элемента производится проецированием полученного вектора на плоскости  $L$  и  $M$ .

**Вычисление угла падения.** Рассчитаем  $\theta'$ : спроецируем повернутый вектор обратно на плоскость  $M$ , тогда по соотношению проекций на  $Y_K$  до

и после вращения получим выполаживание тета через угол оси  $Y_M$  и  $OD'$ :

$$|\theta'| = \cos^{-1}(\cos Y(D')_M).$$

Знак зависит от квадранта поворота: если  $\varphi \in [0; 90]$ , то  $\theta' = \gamma_1 - \alpha$ ; если  $\gamma < 0$ , то азимут падения элемента равен азимуту бурения.

**5. Вычисление азимута падения для нестандартной ориентировки.**

Спроецируем полученный вектор  $OD'$  на плоскость  $H$ . Угол между плоскостями  $H$  и

$$KH \wedge K = \frac{\pi}{2} - \alpha.$$

Тогда

$$X_H = X_K \cos \alpha; Y_H = Y_K \sin \alpha;$$

$$X(D')_H = X(D')_K \cos \alpha; Y(D')_H = Y(D')_K \sin \alpha.$$

Обозначим отклонение азимута при вращении как  $\beta(\varphi)$ :

$$\beta(\varphi) \tan^{-1}(X_H / Y_H);$$

$$\beta' = \beta + \beta(\varphi);$$

$$\beta' = \beta + \tan^{-1} \left( \frac{X(D')_K \cos \alpha}{Y(D')_K \sin \alpha} \right).$$

Используя полученные соотношения, рассчитаем для каждого нестандартного положения угол и азимут падения. Выберем угол поворота, удовлетворяющий нашим задачам: во-первых, его величина должна быть сопоставима с ошибками замеров азимута и угла падения. Во-вторых, требуется учет природной изменчивости измеряемых элементов залегания. Таким образом, при обычной точности замеров около  $5^\circ$  для жильного месторождения 3–4 группы сложности, соответствующей исследуемой рудной зоне [30], угол поворота составит от  $10^\circ$  до  $30^\circ$ .

**6. Расчеты для угла к о. к., заданного в виде диапозона.** В практике документации керны часто встречается запись не всех углов для ряда систем структурных элементов, а только минимальный и максимальный. В таком случае с шагом, равным выбранному углу  $\varphi$  проводится расчет промежуточных значений угла к о. к.

#### Результаты интерпретации документации керны с учетом структурных данных и их обсуждение

Сравнение расчетных элементов залегания по неориентированному керну было выполнено для систем сопряженных трещин, отнесенных нами к рудному этапу.

Были выделены три системы трещин, по которым с наибольшей вероятностью образовывались кварцевые жилы и кварцевые или кварц-серицит-адуляровые метасоматиты (см. таблицу). Две из них соответствуют предполагаемым сместителям систем 3–5, одна – трещине отрыва системы 2. После пересчета получено соответствие им 16 (64 %) контактов кварцевых жил и тел метасоматитов,

**Таблица.** Результаты экстраполяции трещин с поверхности на контакты по неориентированному керну

**Table.** Results of extrapolation of fractures from surface to the contacts by random core

Параметры/тип трещины Fracture parameters/type	Сопряженные трещины Conjugated fractures	Трещина Fracture	Аз. пад. Azimuth of dipping	Угол пад. Dipping angle	Жильные тела Veins	Увязка Analog in the well	Падение Dipping	Альтернативная система трещин Alternative crack system
Сместитель (скола) Cleavage fractures (deposer)	2	11	303	29	Да/Yes	Линзы/Lens	Пологое/Fairly flat	10
	3	6	337	45				
	4	6	337	45				
Отрыва Tensile fractures	2	2	354	89	Нет/No	-	Крытое/Steep	-
	3	3	12	80				
	4	18	228	90				
Оперяющая (скола) Feather fractures (cleavage)	2	12	285	25	Да/Yes	Линзы/Lens	Пологое/Fairly flat	10
	3	15	227	55	Нет/No	-	-	-
	4	10	290	49	Да/Yes	Линзы/Lens	Крытое/Steep	2, 12

Примечание: трещины 2, 6, 11 на поверхности вмещают кварцевые и кварцсодержащие метасоматиты; серый фон ячеек для контактов жильных тел, элементы залегания измерены на дневной поверхности.

Note: fractures 2, 6, 11 contain quartz and quartz-bearing metasomatic rocks on the surface; gray cells are for quartz vein contacts, bedding elements are measured on the daylight surface.

5 (20 %) дайковых тел базальтов и диоритовых порфириров, 4 (16 %) слоев песчаников. Соответствие не установлено для 10 (53 %) контактов кварцевых жил и тел метасоматитов, 2 (11 %) дайковых тел базальтов, 7 (37 %) слоев песчаников. Во многих случаях одному замеру могли быть отнесены более одной системы трещин. Трещинам отрыва систем 3 и 18, оперяющей скола 15 не соответствуют контакты жильных тел, что подтверждает результаты анализа структур по данным документации открытых горных выработок. Система трещин 12 идентифицируется на краю окна сравнения  $\pm 10^\circ$  как альтернативная системе 10. Последняя система оперяющих трещин скола идентифицирована в качестве альтернативной для большинства остальных систем.

Результаты экстраполяции представлены в таблице.

Проведенное исследование показало, что выделенные при анализе структур рудного этапа потенциально рудоконтролирующие системы разрывных нарушений могут быть прослежены на глубину по контактам тел метасоматитов кварцевого, кварц-серцитового и кварц-серцит-адулярового состава.

Уточнение модели увязки геологических тел, пересеченных скважинами с неориентированным керном, с помощью экстраполяции структурных данных из поверхностных или подземных горных выработок может быть рассмотрено как перспективный метод уточнения моделей жильных тел. Его практическая применимость зависит от соблюдения следующих условий:

1. Относительная простота тектонической истории месторождения. Как следствие – возможность выделить одну систему рудоконтролирующих нарушений. Выделение трех потенциально рудоконтролирующих систем разрыв-

ных нарушений на рудной зоне Водораздельной закономерно привело к снижению однозначности идентификации их в массиве данных по неориентированному керну.

2. Наличие надежных замеров элементов залегания не только по открытым, но и по подземным горным выработкам, ориентированному керну. Как следствие – сокращение глубины экстраполяции данных и повышение надежности моделирования.
3. Использование при замере угла к оси керна шкал от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  (или  $\pm 90^\circ$ ) с заранее оговоренным направлением взятия замера, что позволяет учитывать встречные, пересекающиеся структурные элементы. Пример: угол к оси керна отсчитывается от забоя к устью скважины в диапазоне  $0^\circ$  до  $180^\circ$ .
4. Наличие в разрезе как крупных, хорошо прослеживаемых бурением жил, так и оперяющих их зон прожилкования. Для последних применение предлагаемого метода наиболее перспективно.
5. Высокие требования к качеству и полноте описания керна, ее унификации по единому шаблону [31], запись результатов документации керна в базы данных, позволяющие оперировать крупными объемами информации, до нескольких десятков тысяч замеров. Последнее было показано в [32]. Заметим, что использование баз данных так или иначе неизбежно при переходе от двумерного к трехмерному моделированию рудных тел или построению модели литологического строения участка (к примеру, для коллектора или водоносного горизонта) [33, 34], что является распространённым требованием для отчетных материалов на завершающих стадиях разведочных работ.



### Выводы

1. Выдвинута гипотеза о становлении структуры рудной зоны Водораздельная в рамках развития Многовершинного месторождения. Выделены три этапа формирования структуры Водораздельной рудной зоны: дорудный, рудный и пострудный. Каждому этапу соответствуют свои системы сопряженных трещин.
2. Дорудный этап: образование левостороннего сбросо-сдвига на рудной зоне Водораздельная наиболее вероятно связано с перемещениями по Североулскому разлому. Заложены на этом этапе круто падающие трещины отрыва параллельны рудоконтролирующим разломам рудных зон Многовершинного месторождения.
3. Рудный этап: плоскости сместителей отвечают трещинам отрыва дорудного этапа основных рудных зон Многовершинного месторождения (Главной и Промежуточной), только по ним шло образование кварцевых жил и метасоматитов. Сопряженные трещины скалывания и отрыва в этот период были закрыты, к ним не приурочены метасоматиты или жилы.
4. Пострудный этап: наиболее вероятно его связь с продвигками по Среднеулскому разлому, сопровождавшимися внедрением даек пострудного комплекса эоценового возраста. Отсутствие внедрения даек по рудным зонам северо-восточного простирания может объясняться как их косым положением относительно систем сопряженных трещин данного этапа, так и наличием мощной ослабленной зоны Североулского разлома.
5. Предложена методика статистического учета замеров элементов залегания плоскостных структурных элементов по неориентированному керну при проведении геолого-структурного исследования. Показана ее применимость на примере прослеживания систем сопряженных трещин рудного этапа на глубину: для каждой из выделенных в открытых горных выработках систем трещин были найдены наиболее вероятные ее следы в керне скважин.

*Автор благодарит директора ООО «РДМ» В.Ю. Орешина за предоставление массива данных для проведения исследования.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотоносность юга Дальнего Востока России и Северо-Восточного Китая / Н.П. Романовский, Ю.Ф. Малышев, Дуан Жуйянь, Чжу Цунь // Тихоокеанская геология. – 2006. – Т. 25. – № 6. – С. 3–17.
2. Пискунов Ю.Г., Моисеенко В.Г. Новые типы руд с высоким содержанием микро- и наночастиц благородных металлов // Материалы годичного собрания Российского минералогического общества. – СПб., 2006. – С. 51–54.
3. Секисов Г.В., Нигаи Е.В. Основные геолого-структурные типы золоторудных месторождений Дальневосточного региона России // ГИАБ. – 2008. – № 7. – С. 221–226.
4. Нигаи Е.В. Рудные формации и минералого-геохимические особенности месторождений благородных металлов Дальневосточного региона России // ГИАБ. – 2009. – № 6. – С. 245–254.
5. Фатьянов И.И., Хомич В.Г., Борискина Н.Г. Нетрадиционный метод типизации руд золотосеребряных месторождений (на примере Многовершинного месторождения, Нижнее Приамурье) // Вестник Том. гос. ун-та. – 2007. – № 304. – С. 211–217.
6. Юргенсон Г.А. Малоглубинные месторождения золота и серебра, условия образования и минералого-геохимическая технология их глубинных поисков и оценки // Ученые записки ЗабГГПУ. – 2011. – № 1 (36). – С. 136–145.
7. Эйриш Л.В., Сорокин А.П. Коренные источники золотоносных россыпей Дальнего Востока России, степень их эродированности // Тихоокеанская геология. – 2005. – Т. 24. – № 4. – С. 62–75.
8. Beaumont-Smith C.J., Lentz D.R., Tweed E.A. Structural analysis and gold metallogeny of the Farley Lake gold deposit, Lynn Lake greenstone belt (NTS 64C/16) // Report of Activities 2000, Manitoba Industry, Trade and Mines, Manitoba Geological Survey. – Winnipeg: Manitoba Geological Survey, 2000. – P. 73–81.
9. Родыгин А.И. Методы стрейн-анализа. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – 168 с.
10. Kassem O.M.K., Abd El Rahim S.H. Finite Strain Analysis of Metavolcanics and Metapyroclastics in Gold-Bearing Shear Zone of the Dungash Area, Central Eastern Desert, Egypt // Geotectonics. – 2014. – V. 48. – № 6. – P. 484–497.
11. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. – М.: Наука, 1975. – 536 с.
12. Coelho C., Silva F. The structural control of the gold deposits of the Fazenda Maria. Preta gold district at Rio Itapicuru greenstone belt, northeastern Brazil // Revista Brasileira de Geociências. – Setembro de 1998. – № 28 (3). – P. 367–376.
13. Знаменский С.Е., Мичурин С.В. Условия образования золото-сульфидного месторождения Миндяк (Южный Урал): структурные и изотопно-геохимические аспекты // Литосфера. – 2013. – № 4. – С. 121–135.
14. Старостин В.И., Дергачев А.Л., Семинский Ж.В. Структуры рудных полей и месторождений. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 352 с.
15. Сластников В.В., Пискунов В.В. Структурные особенности и моделирование зон прожилкования рудной зоны Чайная, Многовершинное золоторудное месторождение (Нижнее Приамурье) // Естественные и математические науки в современном мире: сборник статей по материалам XIX Междунар. науч.-практ. конф. № 6 (18). – Новосибирск: Изд-во «СибАК», 2014. – С. 116–126.
16. Фатьянов И.И., Хомич В.Г., Борискина Н.Г. Скрытая зональность низкосульфидного золото-серебряного оруденения Многовершинного месторождения (Нижнее Приамурье) // ГИАБ. – 2010. – № 6 – С. 127–133.
17. Яндекс карты. Онлайнный картографический сервис. URL: [https://yandex.ru/maps/? ll=139.722937 % 2C53.890959&z=10](https://yandex.ru/maps/?ll=139.722937%2C53.890959&z=10) (дата обращения: 20.11.2015).
18. Мишин Н.И., Степина Н.А., Панфилов А.Л. Структурная организация рудных полей. – СПб.: Полиграфическая фирма «Автор, Акционер и Ко», 2007 – 232 с.
19. Физико-химические условия формирования пропилитов района месторождения Многовершинное (Нижнее приамурье) / Л.П. Плюснина, Г.Г. Лихойдов, Ж.А. Щека, И.И. Фатьянов // Тихоокеанская геология. – 2004. – Т. 23. – № 3. – С. 14–21.
20. Золото-серебряные месторождения. Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов / М.М. Константинов, Н.П. Варгунина, Т.Н. Косолец, С.Ф. Стружков, Е.Д. Сынгаевский, Л.Н. Шишакова. – М.: ЦНИГРИ, 2000. – 239 с.

21. Ore controls in the Charters Towers goldfield, NE Australia: Constraints from geological, geophysical and numerical analyses / O.P. Kreuzer, T.G. Blenkinsop, R.J. Morrison, S.G. Peters // *Ore Geology Reviews*. – 2007. – № 32. – P. 37–80.
22. Fault rock lithologies and architecture of the central Alpine fault, New Zealand, revealed by DFDP-1 drilling / V.G. Toy, C.J. Boulton, R. Sutherland et al. // *Lithosphere*. – 2015. – V. 7. – № 2. – P. 155–173.
23. Caran C.S., Woodruff C.M. (Jr.), Thompson E.J. Lineament Analysis and Interference of Geologic Structure – Examples from the Balcones/Ouachita Trend of Texas // *Transactions – Gulf coast Association of Geological Sciences*. – 1981. – V. XXXI. – P. 59–69.
24. Papadaki E.S., Mertikas S.P., Sarris A. Identification of lineaments with possible structural origin using ASTER images and DEM derived products in Western Crete, Greece // *EARSeL eProceedings*. – 1/2011 – № 10. – P. 9–26.
25. Structural analysis and vein episode of the Penjom Gold Deposit, Malaysia: Implications for gold mineralisation and tectonic history in the Central Belt of Malaysia / Z. Endut, T.H. Ng, J.H.A. Aziz, G.H. Teh // *Ore Geology Reviews*. – Sept. 2015. – V. 69. – P. 157–173.
26. Sylla S., Gueye M., Ngom P.M. New Approach of Structural Setting of Gold Deposits in Birimian Volcanic Belt in West African Craton: the Example of the Sabodala Gold Deposit, SE Senegal // *International Journal of Geosciences*. – 2016. – № 7. – P. 440–458.
27. Marjoribanks R. *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining*. Second ed. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. – 238 p.
28. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. В 2-х томах. Т. 1: пер. с англ. – М.: Мир, 1984 – 528 с.
29. Devore J. *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*. Ninth ed. – USA, Boston: Cengage learning, 2016. – 623 p.
30. Викентьев В.А., Карпенко И.А., Шумилин М.В. Экспертиза подсчетов запасов рудных месторождений. – М.: Недра, 1988. – 199 с.
31. *Geotechnical engineering manual: Rock core evaluation manual. Revision #2* // State of New York Department of transportation, Geotechnical engineering bureau. – 2015. – 21 p.
32. Sakurai M., Masuda F. Construction of Subsurface Geological Structures Using a Drilling Database: a Case Study for an Intra-Arc Basin, the Osaka Plain, Southwest Japan // *Open Journal of Geology*. – 2013. – № 3. – P. 39–43.
33. 3D Geology Modeling from 2D Prospecting Line Profile Map / Q.I. Li, Y. Cui, Ch.M. Chen et al. // *International Journal of Geosciences*. – 2015. – № 6. – P. 180–189.
34. Nouayti N., Khattach D., Hilali M. Contribution of the 3D Geological Model to the Study of the High Basin Ziz Jurassic Aquifers Structure (Central High Atlas, Morocco) // *Journal of Geographic Information System*. – 2015. – № 7. – P. 294–300.

*Поступила 30.11.2015 г.*

#### **Информация об авторах**

**Сластников В.В.**, ведущий геолог, Dongshan Investments Ltd., С/о BDO Chartered Accountants Advisors; аспирант кафедры геологии и разведки месторождений полезных ископаемых Национального минерально-сырьевого университета «Горный».

UDC 553.411:551.1/.4

## STRUCTURE OF VODORAZDELNAYA ORE ZONE OF MNOGOVERSHINNOYE (MNV) GOLD DEPOSIT: DATA ON OPEN SURFACE WORKINGS AND DIAMOND DRILLING CORE

Viktor V. Slastnikov<sup>1,2</sup>,  
v\_slastnikov@mail.ru

<sup>1</sup> Dongshan Investments Ltd., C/o BDO Chartered Accountants Advisors,  
LOB 16, Office no. 124, P.O. Box 261253, Jebel Ali Free Zone, Dubai, UAE.

<sup>2</sup> National Mineral Resources University (Mining University),  
2, 21 line of Vasilievsky Island, Saint-Petersburg, 199106, Russia.

**The relevance** of the discussed issue is caused by the need of further investigation of the MNV gold deposit tectonic structure.

**The main aim** of the study is to increase the probability of forecasting the spatial properties of ore-bearing vein zones.

**The methods used in the study:** strain-analysis of vein-containing structures and a new method of recognizing geological structures between the surface and the deep horizons using statistic data obtained from core documentation.

**The results.** The author has put forward the hypothesis on a genetic relation of individual fault systems in the Vodorazdelnaya ore zone and the movements upon major faults. These faults define the structure of the whole Mnogovershinnoye deposit. Few systems of ajoint cracks were dedicated. These fractures were formed before, after and exactly in the ore stage. The carried out analysis shows that shear cracks (the main faults with North-Eastern strike) were the ore-controlling structures. They were formed in pre-ore stage and then they were reactivated in the ore stage. The proposed method for recognizing geological structures is based on finding intersections (data extrapolation) between structural data obtained by open mining and the accounted results of undirected diamond drilling core documentation. The depth of extrapolation was chosen as a maximum dipping depth of single investigated fractures due to erosion. Strike and dip angles for contacts, measured against core axis, were calculated in 36 positions of equal probability as if the plane of the contact was turned around the core axis with 10° discretion. A pair of dipping azimuth and angle was the key to recognize the same structures in trenches and in the core. So the author could measure the vertical dimension of cracks and veinlets as well as their consistency and proposed the requirements for documentation of core for implementation of the discussed method.

### Key words:

Russian Far East, Mnogoverchinnoye (MNV) ore deposit, Vodorazdelnaya ore zone, geological structures analysis, strain-analysis, modeling of veinlet zones, core drilling, diamond drilling.

The author thanks V.Yu. Oreshin, the director of «RDM», for the data for researches.

### REFERENCES

- Romanovsky N.P., Malyshev Yu.F., Duan Zhuian, Chzu Tsun. Gold potential of the southern Far East, Russia, and Northeast China. *Russian Journal of Pacific Geology*, 2006, vol. 25, no. 6, pp. 3–17. In Rus.
- Piskunov Yu.G., Moiseenko V.G. *Novye tipy rud s vysokim soderzhaniam mikro i nanochastits blagorodnykh metallov* [New types of ores with high bearing of micro and nano particles of precious metals]. *Materialy godichnogo sobraniya Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva* [Proc. of the annual meeting of the Russian Mineralogical Society]. Saint-Petersburg, 2006. pp. 51–54.
- Sekisov G.V., Nigay E.V. Main structural types of gold peposits of the Russian Far Eastern region. *GIAB*, 2008, no. 7, pp. 221–226. In Rus.
- Nigay E.V. Ore formations, mineralogical and geochemical features of precious metals deposits of the Russian Far East region. *GIAB*, 2009, no. 6, pp. 245–254. In Rus.
- Fatyanov I.I., Khomich V.G., Boriskina N.G. Non-traditional method for typing ores from gold-silver deposits (by the example of Mnogovershinnoye deposit, Lower Amur river region). *Tomsk State University Journal*, 2007, no. 304, pp. 211–217. In Rus.
- Yurgenson G.A. Subsurface gold and silver deposits, conditions of their genesis and mineralogical-geochemical method for their deep underground prospecting. *Scholarly Notes of Transbaikals State University*, 2011, no. 1 (36), pp. 136–145. In Rus.
- Eyrish L.V., Sorokin A.P. Mother lodes of gold-bearing placers of the Russian Far East, their erosional features. *Russian Journal of Pacific Geology*, 2005, vol. 24, no. 4, pp. 62–75. In Rus.
- Beaumont-Smith, C.J., Lentz, D.R., Tweed, E.A. Structural analysis and gold metallogeny of the Farley Lake gold deposit, Lynn Lake greenstone belt (NTS 64C/16). *Report of Activities 2000, Manitoba Industry, Trade and Mines, Manitoba Geological Survey*. Winnipeg, Manitoba Geological Survey, 2000. pp. 73–81.
- Rodygin A.I. *Metody strain-analiza* [Strain-analysis methods]. Tomsk, Tomsk State University Publ. house, 2006. 168 p.
- Kassem O.M.K., Abd El Rahim S.H. Finite Strain Analysis of Metavolcanics and Metapyroclastics in Gold-Bearing Shear Zone of the Dungash Area, Central Eastern Desert, Egypt. *Geotectonics*, 2014, vol. 48, no. 6, pp. 484–497.
- Gzovsky M.V. *Osnovy tektonofiziki* [Fundamentals of tectonophysics]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 536 p.
- Coelho C., Silva F. The structural control of the gold deposits of the Fazenda Maria. Preta gold district at Rio Itapicuru greenstone belt, northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociencias*, Setembro de 1998, no. 28 (3), pp. 367–376.
- Znamenskiy S.E., Michurin S.V. Conditions of formation of Mindyak gold-sulfide deposit (Southern Ural): structural and isotopic geochemical aspects. *Lithosphere*, 2013, no. 4, pp. 121–135. In Rus.
- Starostin V.I., Dergachev A.L., Seminskiy Zh.V. *Struktury rudnykh poley i mestorozhdeniy* [Structures of ore fields and deposits]. Moscow, MSU Publ. house, 2002. 352 p.
- Slastnikov V.V., Piskunov V.V. *Strukturnye osobennosti i modelirovanie zon prozhilkovaniya rudnoy zony Chaynaya, Mnogovershinnoye zolotorudnoye mestorozhdenie (Nizhnee Priamure)* [Structural features and modeling of vein zones of the Chainoye

- ore zone, MNV gold deposit (the Lower Amur River Region)]. *Estestvennyye i matematicheskie nauki v sovremennom mire. Sbornik statey po materialam XIX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Natural and mathematical sciences in the modern world. Proc. of XIX international science-practical conference]. Novosibirsk, SibAK Publ., 2014. No. 6 (18), pp. 116–126.
16. Fatyanov I.I., Khomich V.G., Boriskina N.G. Concealed zonality of gold and silver mineralization with low content of sulphide at the multi-apical deposit (Lower area of Amur river region). *GIAB*, 2010, no. 6, pp. 127–133. In Rus.
  17. Yandex maps. Online maps. Available at: <https://yandex.ru/maps/?ll=139.722937%2C53.890959&z=10> (accessed 20 November 2015).
  18. Mishin N.I., Stepina N.A., Panfilov A.L. *Strukturnaya organizatsiya rudnykh poley* [Structural organization of ore fields]. St. Petersburg, Avtor, Aktsioner i Ko. Publ., 2007. 232 p.
  19. Plyusnina L.P., Likhoydov G.G., Shcheka Zh.A., Fatyanov I.I. Physico-chemical conditions of propylite and pyroxene skarn formation of the Mnogovershinnoye deposit (Lower Amur River Region). *Russian Journal of Pacific Geology*, 2004, vol. 23, no. 3, pp. 14–21.
  20. Konstantinov M.M., Vargunina N.P., Kosovets T.N., Struzhkov S.F., Syngaevsky E.D., Shishakova L.N. *Zoloto-serebryanye mestorozhdeniya. Seriya: modeli mestorozhdeniy blagorodnykh i tsvetnykh metallov*. [Gold-silver deposits. Series: models of precious and base metals deposits]. Ed. by A.I. Krivtsov. Moscow, TsNIGRI Publ., 2000. 239 p.
  21. Kreuzer O.P., Blenkinsop T.G., Morrison R.J., Peters S.G. Ore controls in the Charters Towers goldfield, NE Australia: Constraints from geological, geophysical and numerical analyses. *Ore Geology Reviews*, 2007, no. 32, pp. 37–80.
  22. Toy V.G., Boulton C. J., Sutherland R. Fault rock lithologies and architecture of the central Alpine fault, New Zealand, revealed by DFDP-1 drilling. *Lithosphere*, 2015, vol. 7, no. 2, pp. 155–173.
  23. Caran C.S., Woodruff C.M. (Jr.), Thompson E.J. Lineament Analysis and Interference of Geologic Structure – Examples from the Balcones/Ouachita Trend of Texas. *Transactions – Gulf coast Association of Geological Sciences*. – 1981. – V. XXXI. – P. 59–69.
  24. Papadaki E.S., Mertikas S.P., Sarris A. Identification of lineaments with possible structural origin using ASTER images and DEM derived products in Western Crete, Greece. *EARSel eProceedings*, 1/2011, no. 10, pp. 9–26.
  25. Endut Z., Ng T.H., Aziz J.H.A., Teh G.H. Structural analysis and vein episode of the Penjom Gold Deposit, Malaysia: Implications for gold mineralisation and tectonic history in the Central Belt of Malaysia. *Ore Geology Reviews*, Sept. 2015, vol. 69, pp. 157–173.
  26. Sylla S., Gueye M., Ngom P.M. New Approach of Structural Setting of Gold Deposits in Birimian Volcanic Belt in West African Craton: the Example of the Sabodala Gold Deposit, SE Senegal. *International Journal of Geosciences*, 2016, no. 7, pp. 440–458.
  27. Marjoribanks R. *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining*. Second ed. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2010. 238 p.
  28. Feller V. *Vvedenie v teoriyu veroyatnostey i ee prilozheniya* [Introduction into probability theory and its application]. Moscow, Mir Publ., 1984. Vol. 1, 528 p.
  29. Devore J. *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*. Ninth ed. USA, Boston, Cengage learning, 2016. 623 p.
  30. Vikentiev V.A., Karpenko I.A., Shumilin M.V. *Ekspertiza podschetov zapasov rudnykh mestorozhdeniy* [Expertise for calculating ore deposits stocks]. Moscow, Nedra Publ., 1988. 199 p.
  31. *Geotechnical engineering manual: Rock core evaluation manual*. Revision #2, State of New York Department of transportation, Geotechnical engineering bureau. 2015, 21 p.
  32. Sakurai M., Masuda F. Construction of Subsurface Geological Structures Using a Drilling Database: a Case Study for an Intra-Arc Basin, the Osaka Plain, Southwest Japan. *Open Journal of Geology*, 2013, no. 3, pp. 39–43.
  33. Li Q.I., Cui Y., Chen Ch.M. 3D Geology Modeling from 2D Prospecting Line Profile Map. *International Journal of Geosciences*, 2015, no. 6, pp. 180–189.
  34. Nouayti N., Khattach D., Hilali M. Contribution of the 3D Geological Model to the Study of the High Basin Ziz Jurassic Aquifers Structure (Central High Atlas, Morocco). *Journal of Geographic Information System*, 2015, no. 7, pp. 294–300.

Received: 30 November 2015.

#### Information about the authors

**Viktor V. Slastnikov**, leading geologist, Dongshan Investments Ltd., C/o BDO Chartered Accountants Advisors; postgraduate, National Mineral Resources University (Mining University).