

На правах рукописи



УДК 551.242/243.1/6+553.45(571.620)

КАСАТКИН Сергей Алексеевич

**ГЕОДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ
РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИХ СТРУКТУР
ФЕСТИВАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
(КОМСОМОЛЬСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН)**

Специальность 25.00.11 – геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых; минерагения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Владивосток – 2011

**Диссертационная работа выполнена
в Дальневосточном геологическом институте
Дальневосточного отделения Российской академии наук**

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук Уткин Валентин Павлович

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук Бакулин Юрий Ильич
(ДВФ «Горнопромышленники России», г. Хабаровск).

кандидат геолого-минералогических наук Антонов Петр Никитич
(Приморгеолком, г. Владивосток),

Ведущая организация:

кафедра петрологии и рудных месторождений ДВФУ, г. Владивосток

Защита состоится 27 октября 2011 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д-005.006.01 в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН по адресу:

690022, г. Владивосток, проспект 100-летия Владивостока, 159,
Дальневосточный геологический институт.

Тел.: (4232) 318750

Факс: (4232) 317847

E-mail: fegi@vlad.ru, office@fegi.ru

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке Дальневосточного отделения РАН /адрес тот же/.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат геолого-минералогических наук



Б.И. Семеняк

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Восполнение минерально-сырьевой базы региона требует совершенствования методов локального прогнозирования оруденения, которое невозможно без специального изучения геодинамических условий формирования структур рудных месторождений. Однако, геодинамика структурообразования (характер полей напряжения, связанные с ними движения тектонических блоков) исследуется все еще недостаточно. Описание структур месторождений проводится чаще всего статично, без исследований динамики, обуславливающей процессы структурирования объекта. Собственно динамические параметры процесса структурообразования, а, следовательно, и генетические соотношения между элементами структурного комплекса остаются, как правило, вне поля зрения специалистов, изучающих геологию рудных объектов. Многие исследования, проведенные в рудных районах Сихоте-Алиня, в том числе и в Комсомольском рудном районе (КРР) (Родионов 1974; Уткин 1980, 1989; Касаткин и др., 1994; Сорокин и др., 1995; Митрохин и др., 1999; и др.) показали, что структурно-динамический фактор, реализованный комплексом сдвиговых дислокаций, оказался решающим не только в локализации и распределении, но и в миграции рудоносных растворов.

Настоящая работа посвящена изучению структурно-динамических условий формирования Фестивального вольфрам-медно-оловянного месторождения, одна из главных особенностей которого заключается в двухъярусном строении разреза вмещающих стратифицированных образований. Интенсивно дислоцированные породы доаптского терригенного основания несогласно перекрыты слабо деформированными отложениями апт-кампанского вулканогенно-осадочного чехла. Рудные зоны пересекают эти различные по реологическими свойствами толщи, локализуясь преимущественно в разрывах с признаками сдвиговой кинематики. Исследование эволюции геодинамических условий сдвиговых дислокаций и выявление влияния структурно-динамических факторов на закономерности размещения руд в обоих структурных этажах является актуальным не только в научном, но и в практическом отношении.

Цель и задачи исследований. Основная цель работы состояла в изучении геодинамики формирования рудоконтролирующих структур Фестивального месторождения на основе исследования особенностей их пространственно-временного развития и поиске закономерностей локализации продуктивного оруденения. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучение пространственно-кинематических характеристик доминирующих разрывных нарушений и сравнение их типов в терригенном основании и вулканогенном чехле;
- выявление признаков вертикальной миграции сдвиговых дислокаций от нижних гипсометрических уровней к верхним;
- выяснение характера распределения полезных компонентов

в рудовмещающих структурах с учетом стадийности рудоотложения в условиях сдвиговых дислокаций;

– определение роли структурно-динамических факторов в формировании рудных столбов.

Фактический материал. В основу диссертации положены результаты исследований автора при проведении тематических работ по изучению геодинамики формирования структуры и условий рудораспределения Фестивального месторождения.

В ходе полевых наблюдений автором осуществлялись массовые замеры ориентировок структурно-кинематических элементов и фотодокументация на поверхности (естественные обнажения, канавы, расчистки) и в подземных горных выработках. Было обработано и систематизировано 1746 замеров слоистости, 14580 – разрывов и 2725 – штрихов скольжения. В работе использовались фондовые материалы Солнечного ГОКа и ПГО «Дальгеология» (Онихимовский и др. 1961 г.; Селезнев и др., 1964 г.; Рабчевский и др., 1971 г., 1978 г.; Ткаченко и др., 1975 г.; Огнянов и др., 1977 г.; Асманов и др., 1978 г., 1985 г.; Рудаков и др., 1990 г.; Огнянов, 1991 г.), а также материалы тематических отчетов лаборатории геодинамики магмо- и рудоконтролирующих структур ДВГИ ДВО РАН (Уткин и др., 1989 г., 1991 г.), в которых автор принимал непосредственное участие.

Морфология и структура рудных зон анализировались на плане поверхности, 11-ти подземных эксплуатационных горизонтах и 32-х разведочных профилях. Наиболее характерные из них представлены в аксонометрических проекциях.

Использовались данные бороздowego и кернового опробования (2490 проб) основных рудных зон месторождения (Геофизической и Ягодной), содержащие значения их мощности и процентные содержания вольфрама, олова и меди.

Методы исследований. Основной метод исследования – изучение структурных парагенезисов (Лукьянов, 1965 и др.), который заключается в анализе закономерных сочетаний тектонических структур, а также морфологии, пространственных и временных соотношений разноранговых складок, разломов и их составляющих – структурных и кинематических элементов (слоистости, разрывов, штрихов и зеркал тектонического скольжения, полосчатости, кливажа). Этот подход широко используются в трудах российских и зарубежных тектонистов (Буртман и др., 1963; Гончаров, 1996; Лукьянов, 1965; Николаев, 1992; Семинский, 2003; Уткин, 1980; Шерман, Днепровский, 1989; Tshalenko, 1970; и др.). По доминирующему положению элементов структурных парагенезисов определялись направления сжатия, исходя из известных закономерностей наиболее распространенных типов деформаций с применением методов динамического анализа (Данилович, 1953, 1961; Гзовский, 1975; Паталаха, 1981; и др.) и метода морфогенетических аналогий структур разных иерархических уровней (Уткин, 1980, 1989).

Замеры ориентировок структурных и кинематических элементов

обрабатывались по методике В.П. Уткина (1980) при помощи стереографической проекции Ю.В. Вульфа (верхняя полусфера) и планисферы А.В. Пронина, а также специализированных программ RockWare STEREO и StereoNett 2.46.

Для комплексного анализа морфологии рудных зон автором был применен метод объемного геометрического моделирования (Мандыч, 1986), который заключается в аксонометрическом совмещении и, как следствие, корректировке графических данных.

Обработка данных опробования для построения изолиний мощности, содержаний и продуктивности оруденения (метропроцента) по вольфраму, олову и меди в проекции на вертикальную плоскость проводилась с использованием программного пакета Golden Software SURFER 7.0 методом Кригинга.

Научная новизна заключается в следующем:

– установлено различие стилей пликативных и дизъюнктивных деформаций как в терригенном основании, так и в вулканогенном чехле, отражающее направленность развития дислокаций снизу вверх;

– выявлено, что дуплексы растяжения, сформированные в зонах смыкания несоосных левых сдвигов, в сочетании со сбросами образовали участки повышенной мощности, наиболее благоприятные для локализации основных запасов руды;

– подтверждена и научно обоснована тесная связь стадийности рудоотложения с последовательностью развития структур скола и растяжения;

– найдена прямая зависимость между распределением продуктивного вольфрамового, оловянного и медного оруденения и развитием сдвиговых дислокаций при доминирующем влиянии структурно-динамического фактора, и второстепенной роли реологических и литологических свойств рудовмещающих стратифицированных образований;

– впервые для месторождений КРР, имеющих двухъярусное строение, построена объемная геометрическая модель;

– показаны важность и необходимость объемных геометрических построений и компьютерной обработки данных, значительно повышающих эффективность структурно-динамического анализа и наглядность представления его результатов.

Защищаемые положения.

1. Формирование структуры Фестивального месторождения обусловлено левосдвиговым геодинамическим режимом, который определил особенности пликативных и дизъюнктивных дислокаций как в терригенном основании, так и в вулканогенном чехле.
2. Главными рудолокализирующими структурами на месторождении являются дуплексы растяжения, сформированные в зонах смыкания несоосных левых сдвигов, которые в сочетании со сбросами образуют наиболее благоприятные участки для локализации оруденения.

3. Стадийность рудоотложения согласуется с последовательностью развития структур скола и растяжения – производных сдвиговых дислокаций, – от нижних гипсометрических уровней к верхним.
4. Формирование крутонаклонных рудных столбов обусловлено сдвиговыми дуплексами растяжения, а пологих – проявленных, главным образом, в вулканогенном чехле, – развитием структур растяжения сбросовой природы, инициированных сдвиговыми структурами растяжения терригенного основания.

Практическое значение. На примере Фестивального месторождения, имеющего двухъярусное строение, показана необходимость и возможность структурно-тектонических исследований на разных этапах изучения объекта. Использование объемного геометрического моделирования и компьютерная обработка данных значительно упрощают поиск и выявление закономерностей структурных и временных факторов, повлиявших на рудораспределение. Получена основа для решения практических задач локального прогнозирования и предварительной оценки скрытого оруденения. На первичных этапах исследований часть полученных результатов и рекомендаций были переданы Солнечному ГОКу, что позволило существенно повысить эффективность эксплуатационно-разведочных работ на месторождении.

При помощи объемного геометрического моделирования выявлены структурные закономерности строения и особенности морфологии южного фрагмента Перевальненского сдвига и приуроченных к нему минерализованных зон, включая дуплексы растяжения. Для рудных зон Геофизической и Ягодной выявлены пространственные параметры наиболее благоприятных участков локализации основных запасов руд. Установлена тесная связь стадий рудоотложения с последовательностью развития структур скола и растяжения. Показано пространственное положение рудных столбов для вольфрама, олова и меди на различных структурных этажах.

Апробация работы. Результаты работ по теме диссертации докладывались на конференциях молодых ученых ДВГТУ «Молодежь и научно-технический прогресс» (Владивосток, 1998 г.) и Ученом совете ДВГИ (2008 г.), представлены на международном междисциплинарном симпозиуме «Закономерности строения и эволюции геосфер» (Хабаровск, 1994 г.) и международных конференциях: IAGOD «Металлогения северо-западной патики: Тектоника, магматизм и металлогения активных континентальных окраин» (Владивосток, 2004 г.), «Современное состояние наук о Земле» (Москва, 2011 г.). Материалы проведенных исследований были использованы в написании отчета по договорной тематике. По теме диссертации опубликовано 7 работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения; содержит 150 страниц машинописного текста, 43 рисунка, 3 таблицы и список литературы из 188 наименований.

Благодарности. Работа выполнена в лаборатории геодинамики

магмо- и рудоконтролирующих структур ДВГИ ДВО РАН под руководством д.г.-м.н. В.П. Уткина, которому автор выражает глубокую признательность.

Автор искренне благодарен за участие в обсуждении результатов исследований к.г.-м.н. П.Г. Коростелеву, д.г.-м.н. В.Г. Гоневчуку, к.г.-м.н. А.Н. Митрохину, к.г.-м.н. П.Л. Неволину, к.г.-м.н. Б.И. Семеняку, а также за ценные советы и критические замечания д.г.-м.н. В.И. Гвоздеву, д.г.-м.н. В.В. Голозубову, к.г.-м.н. В.В. Иванову, д.г.-м.н. В.Т. Казаченко, д.г.-м.н. В.Г. Хомичу.

Автор чтит память своих учителей: Л.А. Неволина, В.А. Мандыча и Б.К. Сорокина, давших базовые знания по структурной геологии, геометрическому моделированию месторождений и динамикоматематическому анализу.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ КОМСОМОЛЬСКОГО РУДНОГО РАЙОНА И ФЕСТИВАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Комсомольский рудный район (КРР) (рис. 1, врезка) известен с 1956 года. С тех пор он изучался геологами Комсомольской экспедиции Дальневосточного геологического комитета и других организаций. Вопросы стратиграфии, геохронологии, тектоники, магматизма и металлогении КРР освещены в трудах: В.Я. Асманова, Ю.И. Бакулина, В.Н. Дубровского, С.Ф. Ермакова, О.П. Иванова, В.Г. Гоневчука, Г.А. Гоневчук, П.Г. Коростелева, В.Б. Кушева, Н.В. Огнянова, В.В. Онихимовского, Е.А. Радкевич, В.И. Сучкова, В.П. Уткина, В.Н. Филипушкова и других исследователей. Согласно результатам этих исследований, Комсомольский рудный район расположен на восточном крыле Баджало-Эзопской геоантиклинали, которая, в свою очередь, принадлежит Баджало-Самаркинскому террейну – фрагменту юрской аккреционной призмы (Гоневчук, 2000). Рудные месторождения размещены в пределах поздне меловых вулкано-тектонических структур. Рудоконтролирующие структуры КРР, согласно В.П. Уткину (1989), получили развитие в пределах Комсомольской металлогенической сдвиговой зоны ССВ (15-20°) простирания, которая ограничена с запада и востока, соответственно, Мяочанским и Холдаминским крупными разломами (левыми сдвигами) (рис. 1). Комсомольская МСЗ входит в состав сдвиговой системы Сихоте-Алиня и сформировалась на этапе меловой тектономагматической активизации восточной окраины Азии под действием глобального ССЗ (340-350°) сжатия континентальной коры (рис. 1). Складчатая система СВ простирания в КРР, как и в Сихоте-Алине, ориентирована косо к левым сдвигам и является их парагенезисом. Активизация этих сдвигов в меловое время под действием северо-западного сжатия обусловила разворот складок терригенного основания в центральной части КРР влево от исходного северо-восточного до субмеридионального, а местами и до северо-западного, направления с образованием в региональном плане S-образного флексурного изгиба (Кушев, 1969; Геология..., 1971; Огнянов, 1986; Сучков, 1989; Уткин, 1989).

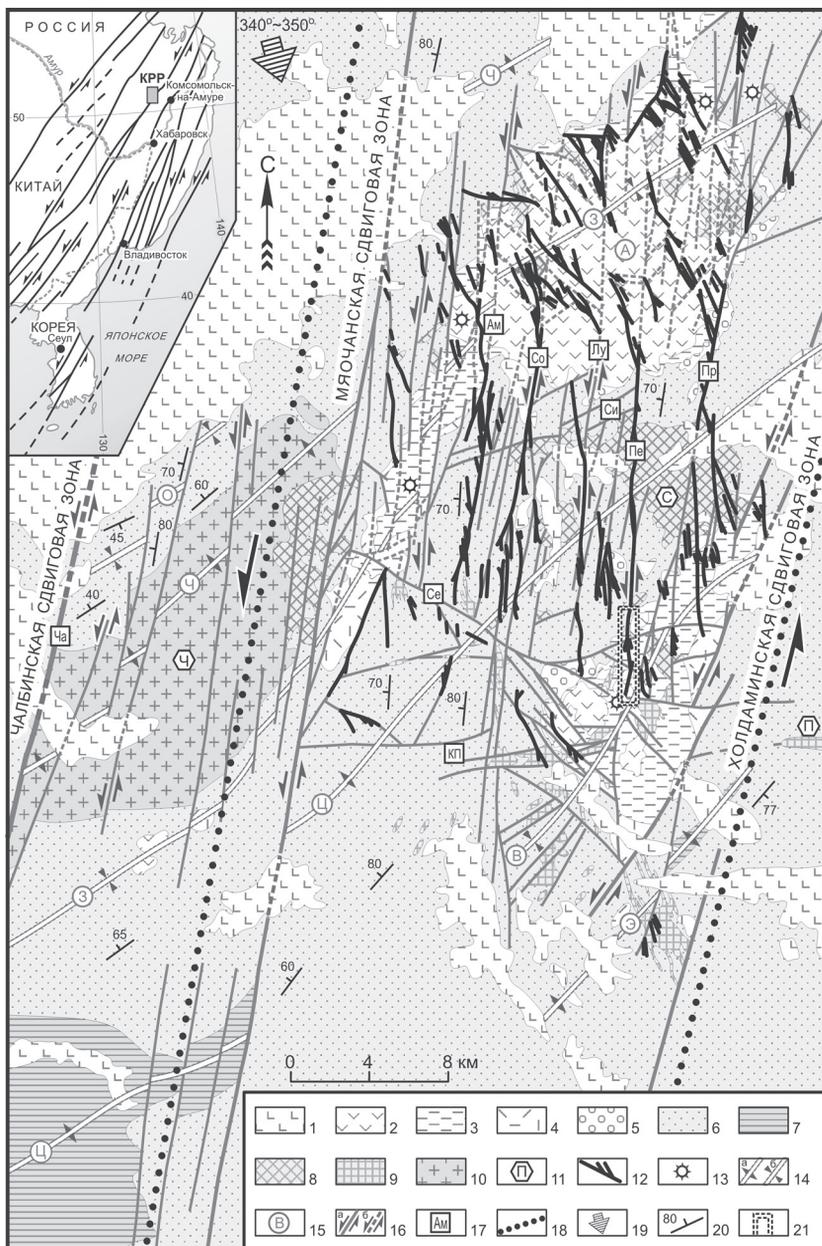


Рис. 1. Тектоническая карта Комсомольского рудного района (КРР).

Фестивальное месторождение является одним из наиболее крупных объектов КРР. Оно расположено на северо-западном крыле Восточной синклинали, осложненной здесь Курмиджинской кальдерной депрессией (рис. 1). Его исследованием занимаются геологи Комсомольской ГРЭ и Солнечного ГОКа, а также сотрудники ДВГИ, ЦНИ-Иолово, ГеоХИ, ИГЕМ, ДВИМСа и других организаций: В.Я. Асманов, В.Н. Дубровский, С.Ф. Ермаков, О.П. Иванов, О.В. Кинэ, А.М. Кокорин, Г.З. Коренев, В.М. Короп, П.Г. Коростелев, В.Б. Кушев, Е.П. Малиновский, М.В. Матухно, Н.В. Огнянов, В.В. Онихимовский, П.В. Рабчевский, Е.А. Радкевич, С.М. Родионов, П.Н. Селезнев, М.В. Степанова, В.И. Сучков, Т.М. Суццевская, Г.А. Ткаченко, В.Н. Филипушков и др. Основные результаты этих исследований обобщены и проанализированы, главным образом, в работах Н.В. Огнянова (Огнянов и др., 1977 г.; Огнянов, 1986, 1991 г.), В.Н. Дубровского (Дубровский и др., 1979), В.Я. Асманова (Асманов и др., 1985 г.) и др.

Разрез вмещающих толщ, закартированных на площади месторождения, представлен двумя структурными этажами (ярусами). Нижний (*терригенное основание*) сложен среднеюрско-раннемеловыми (валанжин) интенсивно дислоцированными осадочными породами (флишоидные песчаники, алевролиты). Выше по разрезу они с резким угловым несогласием перекрыты ранне-позднемеловыми (апт-кампан) слабо деформированными эффузивными и эффузивно-осадочными образованиями (андезиты, андезито-дациты и их туфы с прослоями

Составлена на основе структурно-геодинамической схемы В.П. Уткина (1985-89 гг.) с использованием геологических карт масштаба 1:50 000 (Асманов, Вокуев, 1978 г.) и 1:25 000 (Асманов, Вокуев, 1985 г.), структурно-геологической карты масштаба 1:100 000 (Огнянов, 1991 г.) и материалов Б.И. Семеняка (Семеняк и др., 2000).

1 – кайнозойский структурный этаж: неоген-четвертичные покровы базальтов озерные и аллювиальные отложения; 2-5 – апт-кампанский структурный этаж: 2 – турон-кампанские вулканические породы среднего состава, 3 – сеноман-туронские конгломераты с горизонтами вулканитов кислого состава, 4 – апт-альбские конгломераты с горизонтами вулканитов кислого состава, 5 – апт-альбская грубообломочные отложения; 6-7 – доаптский структурный этаж: 6 – юрско-валанжинские терригенные породы (преимущественно флиш), 7 – верхнетриасовые кремнистые и кремнисто-терригенные породы, спилиты; 8-10 – меловые интрузивные породы: 8 – силинские монзониты, 9 – пурильские калинатровые граниты, 10 – чалбинские калиевые граниты; 11 – интрузивные массивы: Чалбинский (Ч), Силинский (С), Пурильский (П); 12 – рудоносные зоны кварц-турмалиновых метасоматитов с боковой фацией кварцевых серицититов (в терригенном основании) или пропицитов (в вулканогенном чехле), 13 – крупнейшие апт-кампанские вулканы; 14 – оси апт-кампанских синдвиговых синклиналиных прогибов (а) и антиклинальных выступов (б) доаптского терригенного основания; 15 – главные апт-кампанские складки: Огнеспкая (О), Западная (З), Восточная (В) синклинали и Чалбинский (Ч), Центральный (Ц), Элиберданский (Э) антиклинальные выступы; 16 – главные разломы (а), в том числе предполагаемые под перекрывающими вулканитами (б), стрелки – направления смещений; 17 – основные рудоносные сдвиги КРР: Амутский (Ам), Солнечный (Со), Лучистый (Лу), Перевальненский (Пе), Придорожный (Пр) и прочие разломы: Чалбинский (Ча); Силинский (Си), Сектахский (Се), Курмиджа-Пурильский (КП); 18 – границы магмо-металлогенической сдвиговой зоны; 19 – направление регионального сжатия; 20 – элементы залегания; 21 – Фестивальное месторождение.

песчаников и алевролитов) (*вулканогенный чехол*). Породы обеих этажей прорваны позднемиоценовыми субвулканическими и гипабиссальными интрузиями гранитоидов и монцититоидов, соответственно, пурильского и силинского комплексов. Венчают разрез покровы неоген-четвертичных базальтов.

Наиболее крупные разломные структуры на площади месторождения имеют субмеридиональное, восток-северо-восточное, субширотное и северо-западное направления. К ним относятся *Перевальненский (рудоносный), Северный, Центральный и Фланговый разломы* (рис. 2). Согласно Н.В. Огнянову и др. (1977 г.) Перевальненский разлом представляет собой левый сдвиг с амплитудой смещения до 130 м. Он принадлежит Комсомольской металлогенической сдвиговой зоне (Уткин, 1989), которая, в свою очередь, является элементом региональной системы разломов Сихоте-Алиня, сформированной в период меловой тектоно-магматической активизации в условиях ССЗ сжатия $340-350^\circ$ (см. рис. 1).

Рудные тела и зоны Фестивального месторождения, сложенные кварц-турмалиновыми метасоматитами, приурочены в основном к разрывным структурам субмеридионального направления и, отчасти, оперяющим их разрывам северо-западного простирания, которые входят в состав южного фрагмента Перевальненской рудоносной сдвиговой зоны (рис. 2).

В составе рудных зон выделено (Радкевич и др., 1967; Геология..., 1971; Степанова, 1972) четыре главные разновозрастные минеральные ассоциации: *кварц-турмалиновая* (дорудная); *кварц-касситеритовая* (вольфрам-оловянная); *кварц-сульфидная* (медная); *кварц-карбонатно-сульфидная* с флюоритом и глинистыми минералами, формирование которых охватывают период с апта (113-119 млн. лет) по кампан (73-83 млн. лет) (Дубровский, Аракелянц, 1973 и др.).

Исследованный нами участок Фестивального месторождения включает рудные зоны *Ягодную, Водораздельную и Геофизическую*. Именно эти зоны, вскрытые эксплуатационными горизонтами, были доступны в период изучения и содержат необходимую для анализа геологическую информацию (рис. 2 А).

ПЕРВОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Формирование структуры Фестивального месторождения обусловлено левосдвиговым геодинамическим режимом, который определил особенности пликативных и дизъюнктивных дислокаций, как в терригенном основании, так и в вулканогенном чехле.

Породы терригенного основания интенсивно смяты в линейные сильно сжатые (до изоклинальных) синсдвиговые складки преимущественно ССЗ простирания ($310-10^\circ$) с вергентностью на ВСВ, что отражается в практически моноклином падении слоистости на ЗЮЗ ($230-255^\circ$) с углами падения $60-85^\circ$ (рис. 3 А). ССЗ ориентировка слоев, является аномальной относительно региональной СВ складча-

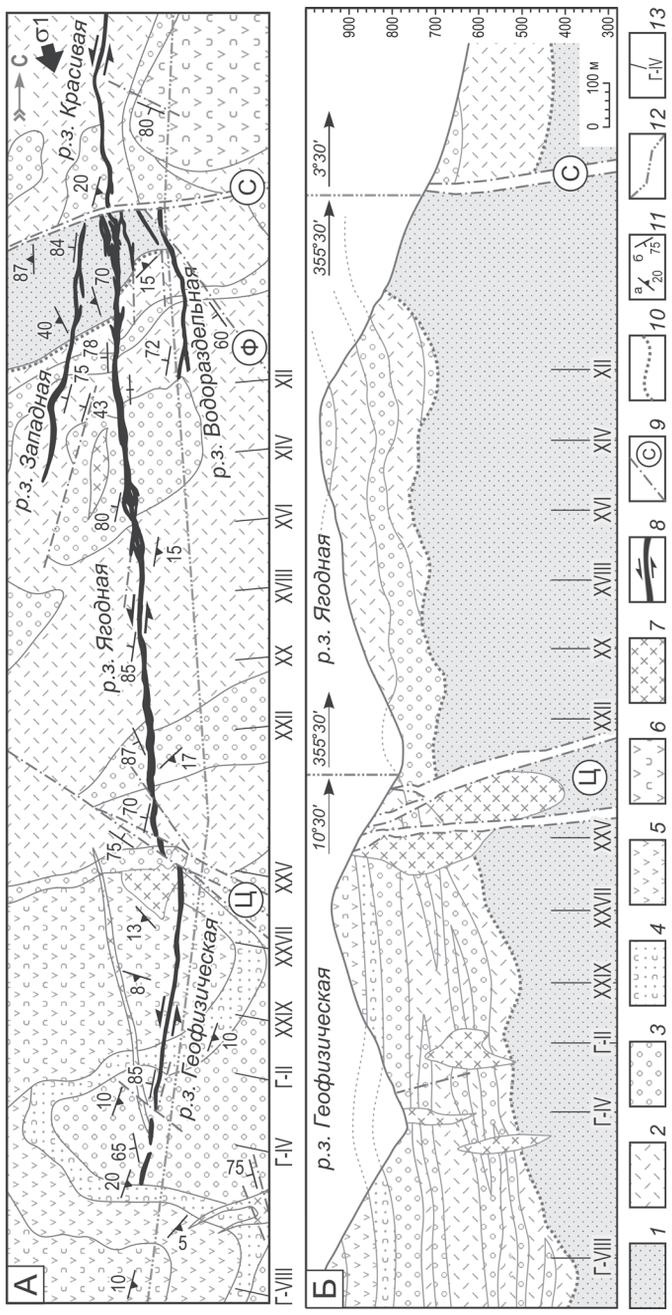


Рис. 2. Геологическое строение Фестивальских месторождения в плане (А) и проекции на вертикальную плоскость западного крыла Перевальненского сдвига в пределах рудных зон Геофизической и Ягодной (Б).

1 – доаптские породы терригенного основания (преимущественно флиш); 2-6 – породы апт-кампанского вулканогенного чехла: туфы дацитов и липарито-дацитов (2), туфоконгломераты (3), туфопесчаники (4), андезиты (5), туфы андезитов (6); 7 – сеноман-кампанские мондиориты силлиневого комплекса; 8 – рудные зоны (р.з.), стрелки – направление смещения; 9 – разломы, в том числе – дорудные, активизированные Перевальненским сдвигом; Северный (С), Фланговый (Ф), Центральный (Ц); 10 – подошва вулканогенного чехла; 11 – элементы залегания: стратифицированных образований (а) и тектонических нарушений (б); 12 – линия проекции на вертикальную плоскость западного крыла Перевальненского сдвига; 13 – направление разведочных профилей и их номера; σ_1 – ориентировка регионального сжатия.

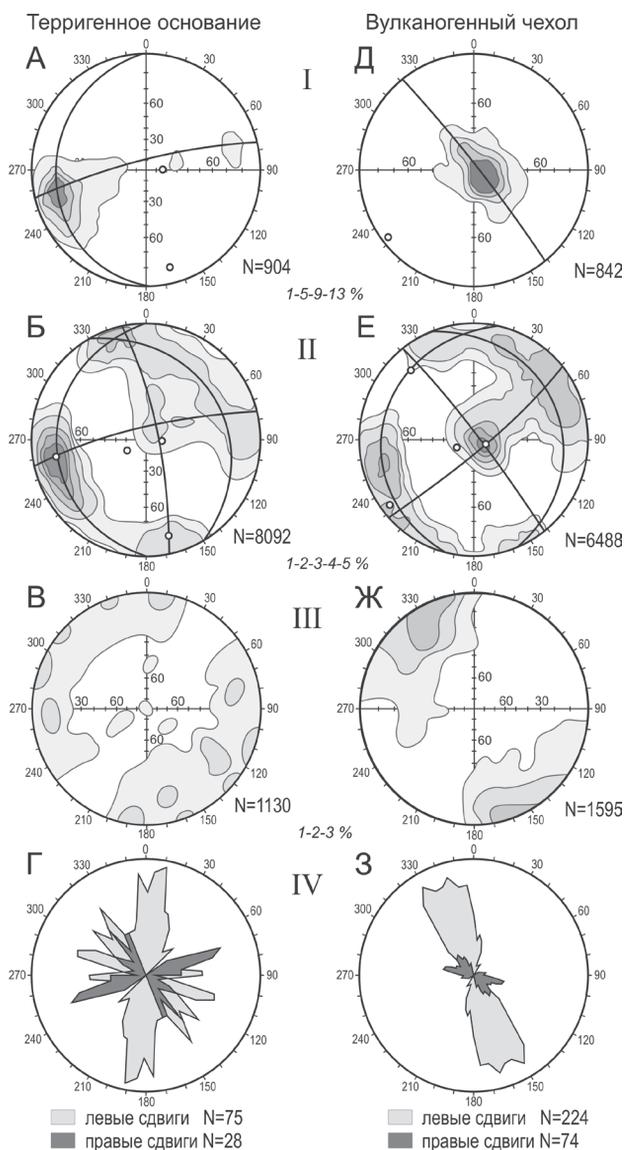


Рис. 3. Суммарные диаграммы ориентировок слоистости (I), разрывов (II), штрихов скольжения (III) и розы-диаграммы простираний сдвигов с достоверно установленным направлением смещения (IV) в терригенном основании (А, Б, В, Г) и вулканогенном чехле (Д, Е, Ж, З).

В проекции на верхнюю полусферу (сетка Вульфа) изображены изолинии плотности в процентах, экваторы поясов разрывов (дуги больших кругов) и их оси (кружки), N – количество замеров.

тости КРР (Дубровский и др., 1979; Огнянов, 1986; Уткин, 1989) и отражает периклинальное замыкание S-образной флексуры, осложняющей крутопадающее на СЗ крыло складки первого порядка. СВ ориентировка региональной складчатости, закономерно косая по отношению к ССВ левым сдвигам, указывает на их соседнюю природу. Высокая степень активизации сдвигов подтверждается развитием S-образного изгиба слоев с крутопадающими шарнирами.

В то же самое время, залегающие выше с резким угловым несогласием толщи вулканогенного чехла деформированы слабо в линейные складки СВ простирания (40-55°). Они отчетливо выражены в его подошве и постепенно затухают по восстанию. Шарниры складок субгоризонтальные, либо имеют СВ (0-15°) погружение. Падение крыльев складок варьирует от 10° до 45-50° (рис. 3 Д).

При всех различиях стилей пликативных дислокаций чехла и основания, узор суммарных диаграмм разрывов демонстрирует ее сходство на обоих структурных этажах (рис. 3 Б, Е). Главное отличие дают близпослойные разрывы, которые образуют отчетливые максимумы на диаграммах (ср. рис. 3 А, Б и Д, Е). Очевидно, что это обусловлено указанными выше особенностями складчатого строения стратифицированных образований основания и чехла. При этом же, группа субмеридиональных нарушений (350-10°), являясь близпослойной (рис. 3 Б), субпараллельна Перевальненскому сдвигу и другим главным сдвиговым зонам КРР (рис. 1). Кроме того, эта система является сквозной для обоих структурных этажей, поскольку четко проявляется и в чехле (ср. рис. 3 Б, Е).

Более определенно характеристика разрывных дислокаций определяется статистическим анализом разрывов с признаками смещений. Доминирование субгоризонтальных штриховок (рис. 3 В, Ж) указывает на существенно сдвиговый тип разрывных дислокаций в обоих структурных этажах. При этом среди сдвигов с достоверно установленными направлениями смещений, в терригенном основании ярко выражены левые сдвиги субмеридионального простирания 355-10° (рис. 3 Г), а в вулканогенном чехле они отклоняются от меридиана на 15-20° влево (против часовой стрелки) с простиранием СЗ 330-355° (рис. 3 З). Такое отклонение по простиранию можно объяснить направленностью вертикальной миграции левых сдвигов от нижних гипсометрических уровней к верхним. В этом случае сдвиговые дислокации верхних горизонтов менее развиты по отношению к дислокациям более проработанных нижних горизонтов терригенного основания.

Согласно экспериментальным данным (Riedel, 1929 и др.) и результатам исследований в Сихоте-Алине (Врублевский и др., 1977; Дубровский и др., 1979; Уткин, 1980, 2009), развитие сдвиговых зон начинается с серий эшелонированных сколов, которые отклоняются влево от генерального простирания материнского сдвига на 15-20° (рис. 4 А). Поэтому, левые сдвиги (330-355°) вулканогенного чехла (рис. 3 З) вполне правомерно рассматривать как унаследованные структуры, сформировавшиеся над левыми сдвигами (355-10°) терригенного основания

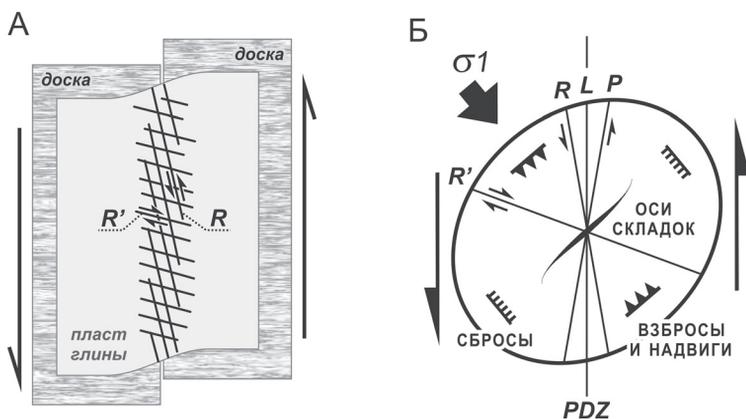


Рис. 4. Схема эксперимента Риделя (Riedel, 1929) (А) и парагенезис структурных элементов в условиях левосдвиговых дислокаций (Б) (по Стоянову, 1977; Sylvester, 1988). R и R' – сопряженные сколы Риделя; Р-сколы; L-сколы; PDZ – генеральное направление сдвиговой зоны; стрелки – направления смещений вдоль сдвигов; σ_1 – ориентировка сжатия.

(рис. 3 Г). Следовательно, левые сдвиги вулканогенного чехла ССЗ (330-355°) соответствуют R-сколам, а ЗСЗ (285-290°) правые сдвиги – R'-сколам (рис. 3 З). Ориентировка шарниров складок вулканогенного чехла СВ 40-55° простирания (рис. 3 Г) под углом 45° к левым сдвигам терригенного основания (рис. 3 А) указывает, что левосдвиговые дислокации терригенного основания обусловили складкообразование в верхнемеловом вулканогенном чехле.

Парагенезис складок вулканогенного чехла с левыми сдвигами терригенного основания полностью отвечает первичной складчатости начальной фазы тектонических деформаций в условиях простого сдвига (рис. 4 Б) (Стоянов, 1977; Sylvester, 1988; Уткин, 1980; 1989; 2009 и др.). Такая складчатость отражает вертикальную миграцию сдвиговых дислокаций в направлении от нижнего структурного этажа к верхнему. И, следовательно, складчатость терригенного основания представляет собой наиболее зрелую пликативную форму проявления сдвиговых дислокаций.

ВТОРОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Главными рудо локализирующими структурами на месторождении являются дуплексы растяжения, сформированные в зонах смыкания несоосных левых сдвигов, которые в сочетании со сбросами образуют наиболее благоприятные участки для локализации оруденения.

Левоступенчатый дуплекс растяжения – это участок динамического взаимодействия двух левых сдвигов фиксированной длины, где

обстановка растяжения достигается за счет их несоосного левоступенчатого перекрытия (Woodcock, Fisher, 1986; Шерман и др., 1991).

Главный дуплекс содвигового растяжения Фестивального месторождения образуют субпараллельные несоосные сдвиги (сколы) ССВ (10°) простираения – Геофизический и Западный, вмещающие одноименные рудные зоны (рис. 2, 5 поверхность). Результатом их динамического взаимодействия является структура содвигового растяжения первого порядка – рудная зона Ягодная, отклоняющаяся к ССЗ (355°). С глубиной эта структура увеличивает мощность и распадается на «штокверкообразную систему жил» (Евдокимов и др., 1975), образуя, таким образом, дуплекс *растяжения Водораздельная-Ягодная*, где зона Водораздельная является продолжением сколового элемента зоны Геофизической (рис. 5). Сквозное развитие данного дуплекса, как в терригенном основании, так и в вулканогенном чехле указывает на доминирующее влияние тектонического фактора.

Несмотря на то, что рудные зоны Геофизическая и Ягодная локализованы в сколовом и раздвиговом элементах первого порядка, соответственно, при более детальном рассмотрении их морфологии на планах эксплуатационных горизонтов обнаруживается, что они состоят из чередования участков (элементов) скола и растяжения второго порядка (рис. 6). При этом сколовые элементы зоны Геофизической имеют простираение ССВ $10-15^\circ$, а зоны Ягодной ССВ $0-10^\circ$, раздвиги – ССВ $0-5^\circ$ и ССЗ $350-355^\circ$, соответственно. В обоих случаях формирование благоприятных для рудоотложения дуплексов растяжения происходило за счет левосдвиговых смещений вдоль сколов, где главной причиной приоткрывания является отклонение (изменение) простираения разрыва от генерального направления к северо-западу.

Таким образом, главными рудолокализирующими структурами являются дуплексы растяжения, сформированные в зонах смыкания несоосных левых сдвигов.

Наряду с доминирующими дуплексами содвигового растяжения в рудных зонах также наблюдаются сбросовые составляющие в генеральном левостороннем смещении вдоль Перевальненского сдвига. Такие участки следует рассматривать как *структуры сбросового растяжения*, где увеличение мощности рудных зон при сбросах происходит, как правило, за счет изменения углов падения. Основные точки изменения падения элементов скола и растяжения объединяются в линии сопряжения 1 и 2 (рис. 7).

Несмотря на различие реологических свойств терригенных и вулканогенных пород, выявленные линии сопряжения уверенно прослеживаются в разных структурных этажах, что еще раз подчеркивает доминирующее влияние тектонического фактора при формировании Фестивального месторождения в условиях левосдвигового геодинамического режима.

Совмещение линий сопряжения участков скола и растяжения, выявленные при детальном изучении морфологии рудных зон

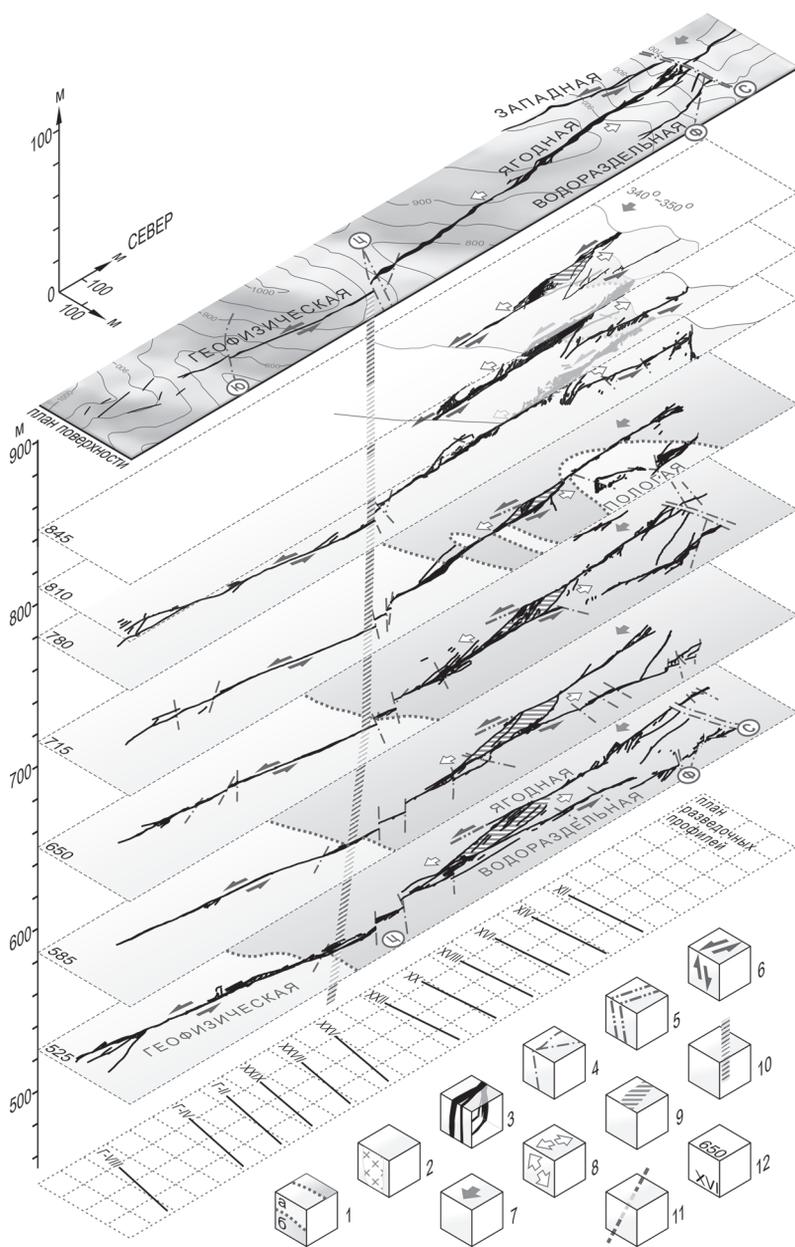


Рис. 5. Морфология рудных зон Фестивального месторождения в прямоугольной изометрической проекции плана поверхности и эксплуатационных горизонтов.

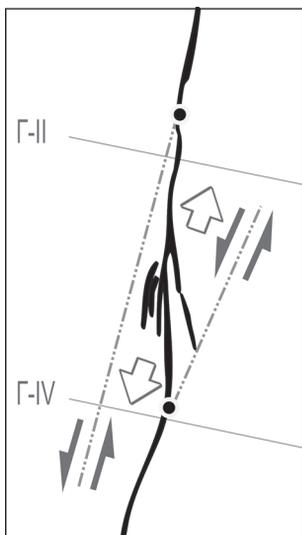


Рис. 6. Пример приоткрывания благоприятных для рудоотложения зон растяжения второго порядка в условиях левосдвиговых смещений вдоль сколов (рудная зона Геофизическая, горизонт 780 м).

-  оловоносные кварц-турмалиновые тела и зоны
-  предполагаемое продолжение минерализованных сдвигов
-  направление смещения
-  ориентировка сосдвигового растяжения
-  точки изменением простирания между элементами скола и растяжения
-  номера и линии разведочных профилей

Геофизической и Ягодной на планах эксплуатационных горизонтов и разведочных профилях, с проекцией на вертикальную плоскость изолиний мощности рудных зон показывает, что грани скола и растяжения соответствуют участкам пониженной и повышенной мощности (рис. 8). Близвертикальное положение этих участков обусловлено приоткрыванием субмеридиональных участков растяжения, за счет левосдвиговых смещений вдоль ССВ сколов. Структура сбросового растяжения, ограниченная линиями сопряжения 1 и 2, близвертикальна и контролируется сбросами западного падения ($\angle 75-85^\circ$) (рис. 8). Для каждого участка, ограниченного линиями сопряжения, определено среднее значение пространственных параметров.

При наложении структур сосдвигового и сбросового растяжения образуются участки рудных зон повышенной мощности – наиболее благоприятные для локализации основных запасов руды. Эти участки имеют следующую генеральную ориентировку: для рудной зоны Геофизической – простирание ССЗ 355° – ССВ 5° , угол падения 85° на восток, для Ягодной – простирание ССЗ $350-355^\circ$, угол падения 90° .

1 – вмещающие породы: апт-кампанский вулканогенно-осадочный чехол (а) и доаптское терригенное основание (б) и граница между ними (точечная линия); 2 – сеноман-кампанские монодиориты силинского комплекса (показаны на разведочных профилях); 3 – рудные зоны; 4 – разломы, в том числе главные: Северный (С), Фланговый (Ф), Центральный (Ц); 5 – предполагаемое продолжение минерализованных сдвигов; 6 – направление смещения; 7 – ориентировка регионального сжатия; 8 – ориентировка сосдвигового растяжения; 9 – область левоступенчатого дуплекса растяжения; 10 – генеральная линия изменения простирания сколового элемента зоны Геофизической; 11 – линии сопряжения рудных тел, характеризующие изменение простирания и падения; 12 – обозначения эксплуатационных горизонтов (арабские цифры) и разведочных профилей (римские цифры).

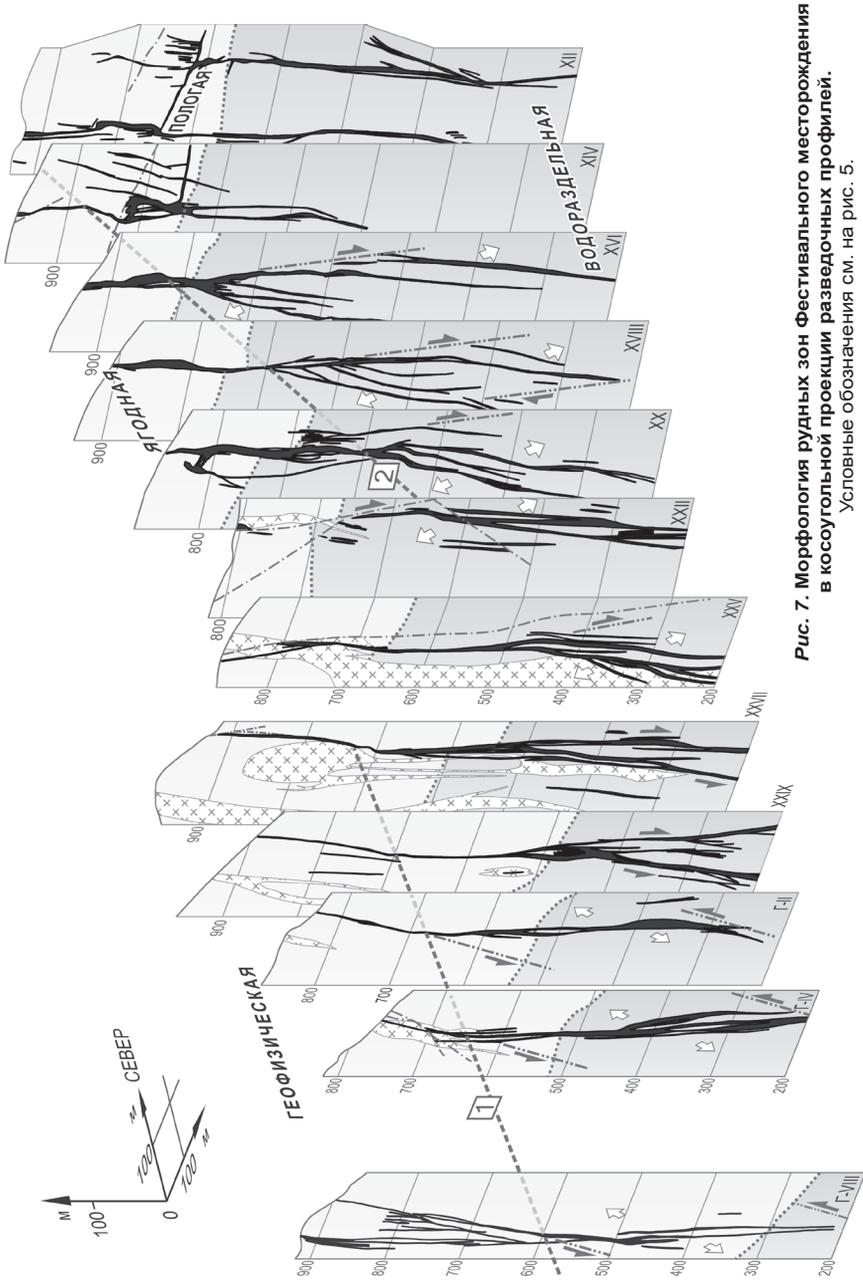


Рис. 7. Морфология рудных зон Фестивального месторождения в косугольной проекции разведочных профилей.
 Условные обозначения см. на рис. 5.

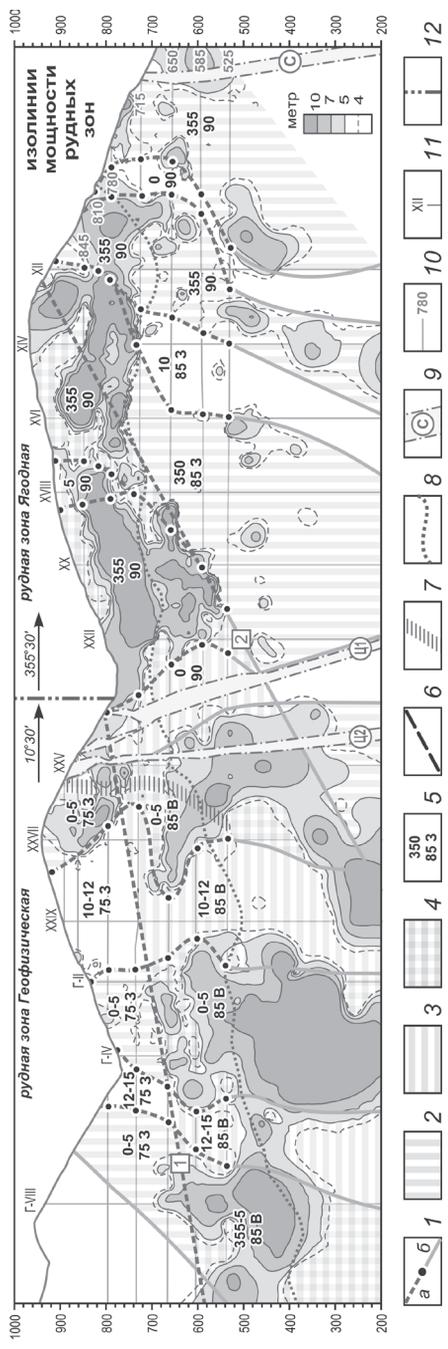


Рис. 8. Изолинии мощности и главные структурные элементы рудных зон Геофизической и Ягодной в проекции на вертикальную плоскость.

1 – границы элементов скола и растяжения; установленные (а) и предполагаемые (б), точки – изменение их простирания; 2, 3 – участки повышенной мощности; зон соседнего (2) и сосборного (3) растяжения; 4 – области наложения участков повышенной мощности; 5 – ориентировка участков скола и растяжения (числитель – азимут простирания, знаменатель – угол и направление падения); 6 – оси рудных столбов высоких порядков; 7 – генеральная линия сопряжения рудных зон Геофизической и Ягодной; 8 – подошва вулканогенного чехла; 9 – зоны разломов: Северного (С) и Центрального (Ц1 – первый сместитель, Ц2 – второй сместитель); 10 – эксплуатационные горизонты и их высотные отметки; 11 – разведочные профили и их номера; 12 – изменения простирания плоскости проекции.

ТРЕТЬЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Стадийность рудоотложения согласуется с последовательностью развития элементов скола и растяжения – производных сдвиговых дислокаций, – от нижних гипсометрических уровней к верхним.

Распределение комплексных руд Фестивального месторождения – «вольфрам-оловянных на нижних горизонтах и медно-оловянных в верхней его части» (Огнянов, 1986) по рудным зонам Геофизической и Ягодной иллюстрируется процентными содержаниями вольфрама, олова и меди (рис. 9 А, 10 А, 11 А). Такое распределение, может быть связано с температурными условиями и последовательностью минералообразования, которые детально исследованы А.М. и Д.К. Кокориными (Геология..., 1971) по рудной зоне Ягодной. Температурные интервалы образования рудных минералов таковы: вольфрамит I, касситерит I – около 349°C, вольфрамит II, касситерит II – 349-322°C, касситерит III – 322-303°C, халькопирит – 303-283°C, галенит – 283-259°C, пирит – 259-237°C. Помимо различных температурных характеристик, важное влияние на распределение рудоносных растворов оказал и структурно-динамический контроль, обусловленный длительным (с апта по кампан) развитием (миграцией) сдвиговых дислокаций. Поэтому, данные исследований А.М. и Д.К. Кокориных (Геология..., 1971), Е.И. Евдокимова и др. (1975), Н.В. Огнянова (1977 г., 1986), В.Н. Дубровского и др. (1979) относительно вертикального распределения рудного вещества можно объяснить с позиции последовательности развития рудоконтролирующих структур.

Основным свидетельством последовательного развития элементов скола и растяжения является распределение вольфрама. В рудной зоне Геофизической его основные залежи ограничиваются высотной отметкой 700 м, а в Ягодной - достигают поверхности (рис. 9 А). Такое распределение объясняется тем, что Ягодная – как структура растяжения – кулиса ССЗ простирается, согласно Н.В. Огнянову (1977 г.), формировалась в период начального роста структуры и, к моменту внедрения первых порций обогащенных вольфрамом растворов, уже достигла верхних гипсометрических уровней. Геофизический разлом выше горизонта 700 м в это время, по-видимому, был недостаточно проработан, поскольку относится к более поздним ССВ перемычкам (сколам) между кулисами.

Последующее развитие Геофизического разлома выше горизонта 700 м наглядно демонстрирует присутствие в нем оловянного оруденения, которое распределено на всем его пространстве – как в сколовых, так и в раздвиговых структурах второго порядка (рис. 10 А). В зоне Ягодной распределение олова по восстанию контролируется линией сопряжения 2 (рис. 10 А). Здесь на стадии формирования оловянного оруденения происходило дальнейшее развитие структуры сдвигового растяжения (левоступенчатого дуплекса) Водораздельная-Ягодная, которое сопровождалось сбросовыми смещениями восточного блока и формированием штокверкообразной системы жил в виде структуры «тюльпана» (рис. 7, профили XVI, XVIII).

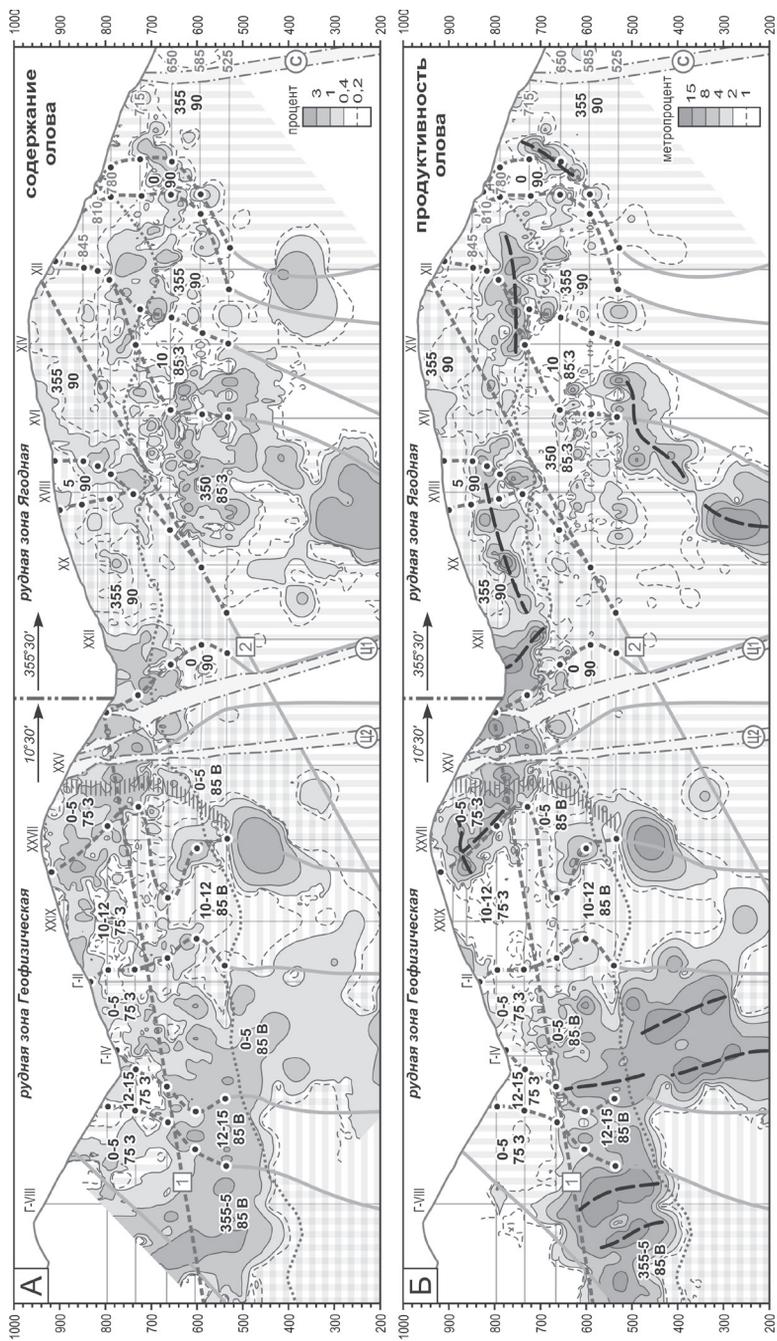


Рис. 10. Распределение содержания (А) и продуктивности (Б) олова по рудным зонам Геофизической и Ягодной в проекции на вертикальную плоскость.
 Основные обозначения см. на рис. 8.

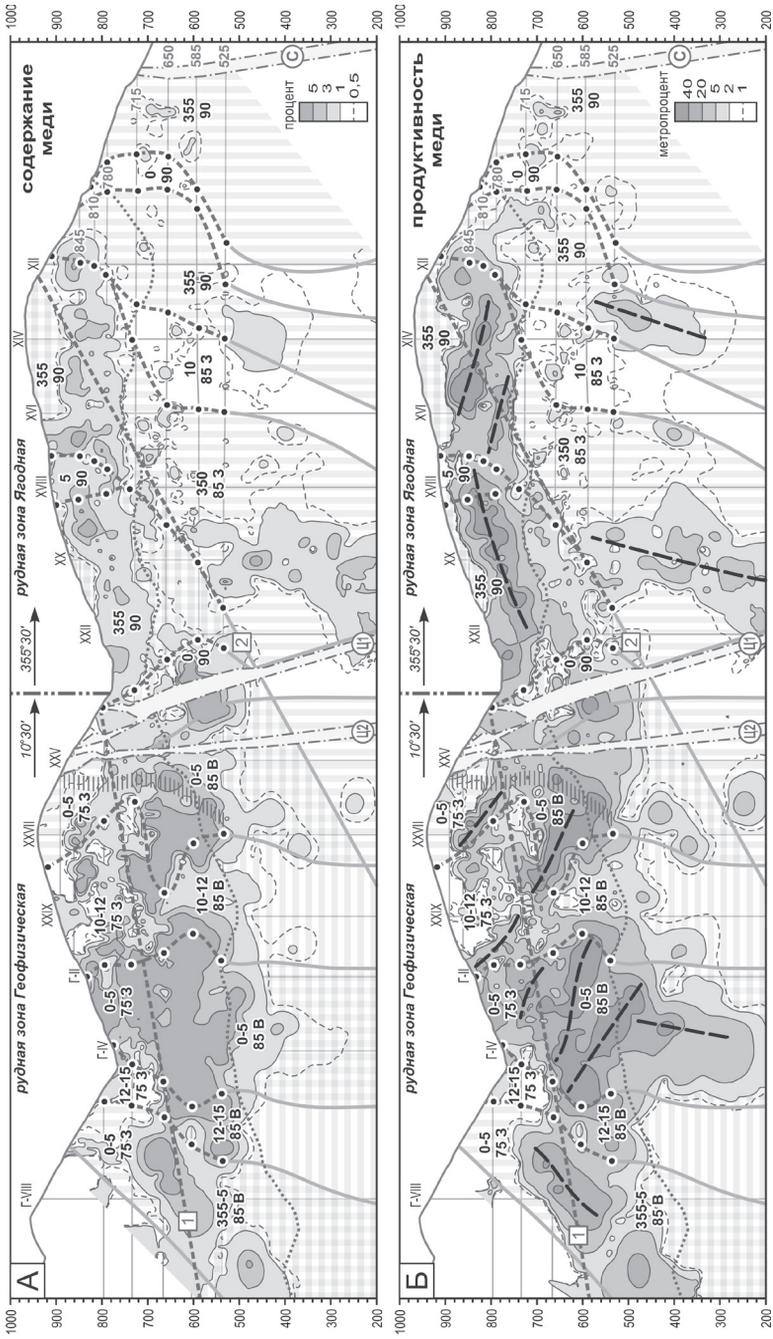


Рис. 11. Распределение содержания (А) и продуктивности (Б) меди по рудным зонам Геофизической и Ягодной в проекции на вертикальную плоскость. Основные обозначения см. на рис. 8.

Наконец, поздние стадии рудоотложения, основным компонентом которых является медь, локализуются главным образом выше отметки 500 м в зоне Геофизической и выше 700 м в зоне Ягодной (рис. 11 А). Проницаемость рудоносных растворов на верхние уровни рудной зоны Геофизической обусловлена, прежде всего, структурами сосдвигового растяжения второго порядка за счет левостороннего смещения по соединяющим их сколам, а последующие за ними сбросы обеспечили приоткрывание и контроль структур сосбросового растяжения (рис. 7 профили Г-II, Г-IV). Распределение повышенных содержаний меди на верхних горизонтах (в вулканогенном чехле) зоны Ягодной обусловлено, с одной стороны, развитием плотно чередующихся структур сосдвигового растяжения второго порядка, с другой – формированием их как цельной структуры растяжения первого порядка.

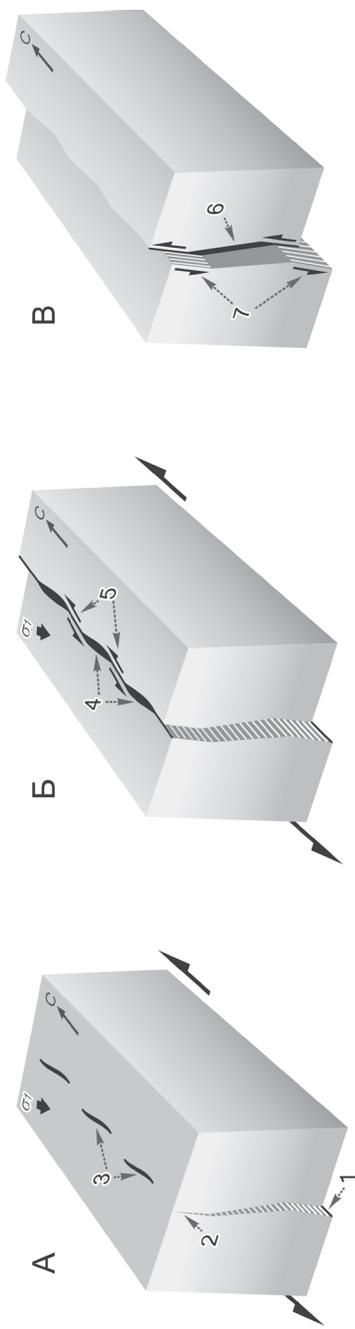
Таким образом, при всей сложности пространственного распределения комплексного оруденения и формирования во времени разных минеральных ассоциаций, на основе последовательного анализа структурных условий локализации повышенных концентраций вольфрама, олова и меди, установлено три основных этапа отложения этих элементов, связанных с особенностями развития рудоконтролирующих структур Фестивального месторождения.

На начальных этапах левосдвиговых дислокаций (прежде всего в терригенном основании) под действием ССЗ (σ_1) сжатия происходил рост разрывов (левых сдвигов) по латерали и восстанию с образованием кулисы (сколов Риделя) на верхних структурных этажах (рис. 12 А). Затем кулисы трансформировались в структуры сосдвигового растяжения за счет левосторонних смещений по сколам, которые достигли верхних гипсометрических уровней (рис. 12 Б). Дальнейшее развитие сдвиговых дислокаций обусловило формирование сбросов. В одном случае они происходили на зрелой стадии в пределах структур сосдвигового растяжения, в другом – по самим сколам, вероятно, в периоды локального ослабления ССЗ (σ_1) сжатия (рис. 12 В).

Следовательно, главным фактором, повлиявшим на распределение полезных компонентов на Фестивальном месторождении, является структурно-динамический контроль. Это подтверждается тем, что последовательность рудоотложения согласуется с развитием рудовмещающих разрывов (миграцией от нижнего структурного этажа к верхнему) как элементов единой (Перевальненской) сдвиговой зоны.

ЧЕТВЕРТОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Формирование крутонаклонных рудных столбов обусловлено сдвиговыми дуплексами растяжения, а пологих – проявленными, главным образом, в вулканогенном чехле, – развитием структур растяжения сбросовой природы, инициированными сдвиговыми структурами растяжения терригенного основания.



Рост разрывов по латерали (1) и восстанию (2) с образованием кулис (3) на верхних структурных этапах на начальных этапах левосдвиговых дислокаций под действием ССЗ сжатия (σ_1)

Формирование структур сосдвигового растяжения (4) за счет левостороннего смещения по сколам (5) при продолжавшихся левосдвиговых дислокациях под действием ССЗ сжатия (σ_1)

Формирование структур растяжения (6) за счет сбросов (7) в период локального ослабления ССЗ сжатия (σ_1)

Рис. 12. Геодинамическая схема формирования основных элементов разрывных рудоконтролирующих структур Фестивального месторождения.

В данном случае *рудный столб* – участок повышенной продуктивности, которая определяется как произведение процентного содержания полезного компонента на опробованную мощность рудного тела. Продуктивность (метропроцент) маломощных жил с высоким процентным содержанием и мощных жил с низким – может быть одинаковой и являться целесообразной или нецелесообразной для эксплуатации в зависимости от балансовой величины метропроцента.

Произведенные компьютерные расчеты и построения показывают, что процентные содержания вольфрама, олова и меди не обнаруживают четкой зависимости с мощностью рудных зон (ср. рис. 8 и 9 А, 10 А, 11 А). Вместе с тем, контуры структур сосдвигового и сосбросового растяжения, в отличие от сколовых участков, совпадают с основными ореолами продуктивности образуя, таким образом, рудные столбы (рис. 9 Б, 10 Б, 11 Б). В этом случае, ось рудного столба соответствует средней оси деформаций (σ_2), где ее крутонаклонное положение обусловлено сосдвиговым растяжением, а пологое – сосбросовым (рис. 13). Поскольку рудные зоны Геофизическая и Ягодная приурочены, соответственно, к элементам скола и растяжения первого порядка (рис. 5), пространственные параметры и продуктивность рудных столбов в них имеют некоторые отличия.

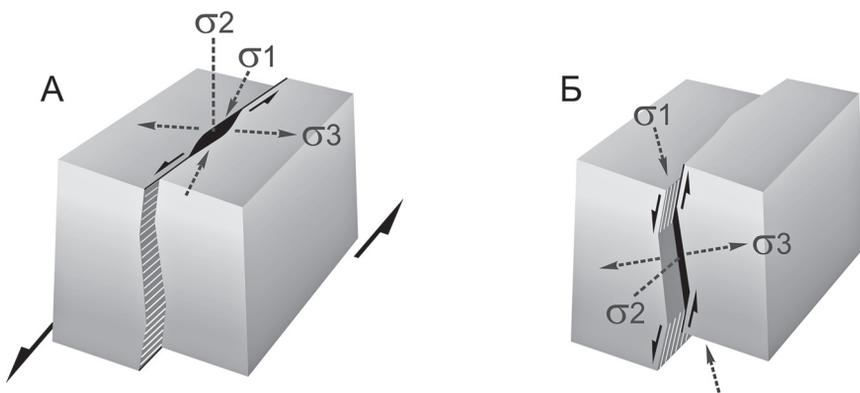


Рис. 13. Ориентировка осей главных напряжений (σ_1 , σ_2 , σ_3) при формировании сосдвиговых (А) и сосбросовых (Б) структур растяжения.

Рудная зона Геофизическая представлена чередованием крутонаклонных зон сосдвигового растяжения и сколов, в отличие от зоны Ягодной, где проекции сколовых элементов занимают узкие пространства. Структура сосбросового растяжения, ограниченная линиями 1 и 2, имеет на проекции сквозное распределение с пологим погружением на юг (рис. 8). При более детальном рассмотрении поэлементных ореолов повышенной продуктивности, которые локализованы, главным образом, на участках наложения структур сосдвигового и сосбросо-

вого растяжения, обнаруживается вытянутость изолиний, что позволяет выделить рудные столбы высоких порядков и установить ориентировку их осей (σ_2) для каждого элемента.

Сравнительный анализ распределения наиболее продуктивных участков в рудной зоне Ягодной по всем полезным компонентам показывает, что пологие ($10-30^\circ$) рудные столбы развиты преимущественно в вулканогенном чехле, а крутонаклонные ($60-80^\circ$) – в терригенном основании (рис. 9 Б, 10 Б, 11 Б). Пологая ориентировка рудных столбов в вулканогенном чехле обусловлена формированием структур растяжения сбросовой природы, инициированных и размещенных над сосдвиговыми структурами растяжения (дуплексами), которые доминировали в терригенном основании на протяжении всего периода рудоотложения в рудной зоне Ягодной.

В пределах рудной зоны Геофизической пологие ($20-40^\circ$) рудные столбы образованы на стадии более поздней (медной) минерализации и локализованы в вулканогенном чехле (рис. 11 Б). Крутонаклонные ($60-80^\circ$) рудные столбы характерны для вольфрам-оловянного оруденения в обоих структурных этажах (рис. 9 Б, 10 Б), а для медного – только в терригенном основании (рис. 11 Б). Пологая ориентировка рудных столбов медной минерализации также объясняется формированием сбросов в вулканогенном чехле над сосдвиговыми структурами растяжения терригенного основания (рис. 7 профили Г-II, Г-IV) и обусловлена локальным ослаблением ССЗ (σ_1) сжатия, что соответствует уже позднему (зрелому) этапу развития Геофизического сдвига.

Таким образом, ореолы повышенной продуктивности отражают геодинамические условия благоприятные для рудоотложения на каждой стадии минерализации. Закономерное формирование сбросов над сдвигами в зоне Ягодной (элемент растяжения) на всех стадиях минерализации опережает развитие зоны Геофизической (элемент скола), где сбросы происходили только на поздней (медной) стадии минерализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в диссертационной работе результаты исследований двухъярусного строения Фестивального месторождения показали необходимость более глубокого изучения структурно-динамических условий формирования рудоносных объектов. Совокупность методов объемного геометрического моделирования и компьютерной обработки данных позволила установить закономерности структурных и временных факторов, повлиявших на рудораспределение.

В нижнем структурном этаже (терригенном основании) на всем временном интервале формирования структуры месторождения неизменно доминировал сдвиговый геодинамический режим, обусловивший крутонаклонную ориентировку рудных столбов. Следствием развития сдвигов по восстанию явилось формирование сбросов пре-

имущественно в верхнем структурном этаже (вулканогенном чехле) с образованием пологих рудных столбов.

Эволюция развития сдвиговых дислокаций, выразившаяся в вертикальной миграции от нижнего структурного этажа к верхнему, сопровождалась образованием сосдвиговых структур растяжения и, унаследованных ими – сбросовых, сочетание которых оказалось наиболее благоприятным структурным условием для локализации основных запасов руды. Последовательность этих событий зафиксирована в закономерностях пространственного распределения главных полезных компонентов в рудоконтролирующих (сколовых) и рудовмещающих (раздвиговых) структурах. В результате проведенных исследований установлена решающая роль структурно-динамического фактора в размещении продуктивного оруденения, что является чрезвычайно важным при решении практических задач локального прогнозирования, столь необходимых для повышения эффективности эксплуатационно-разведочных работ на месторождении.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. **Касаткин С.А.** Геодинамика формирования разрывных систем на примере Фестивального месторождения (Комсомольский рудный район) // Закономерности строения и эволюции геосфер: Мат. II Международ. междисциплинар. симп. Хабаровск, 1994. С. 91-92.

2. **Касаткин С.А.**, Сорокин Б.К., Митрохин А.Н. Геодинамика разрывных систем Фестивального месторождения (Комсомольский рудный район) // Тихоокеан. геология. 1994. № 6. С. 130-143.

3. Сорокин Б.К., Митрохин А.Н., **Касаткин С.А.** Сравнительный анализ дислокаций апт-кампанского вулканогенного и доаптского терригенного комплексов Комсомольского района (на примере Фестивального месторождения) // Тихоокеан. геология. 1995. Т. 14/ № 5. С. 46-56.

4. **Касаткин С.А.**, Уткин В.П. Вертикальное развитие сдвиговых дислокаций и характер рудораспределения на Фестивальном месторождении (Комсомольский рудный район) // Молодежь и научно-технический прогресс: Мат. регион. научн. конф. Владивосток, 21-24 апреля 1998. Ч. 2. Владивосток: ДВГТУ, 1998. С. 94-95.

5. **Kasatkin S.A.**, Mitrokhin A.N., Utkin V.P. Migration Trend of Syn-Ore Sinistral Faulting during Formation of the Festivalnoe Deposit (Komsomolsk Ore District, Russia) with Reference to 3D-Geometrical Modelling // Metallogeny of the Pacific Northwest: Tectonics, Magmatism and Metallogeny of Active Continental Margins Khanchuk A.I. et al. (eds.): Proceedings of the Interim IAGOD Conference. Vladivostok: Dalnauka, 2004. P. 461-464.

6. Mitrokhin A.N., Sorokin B.K., **Kasatkin S.A.** Effective statistical treatment of geostructural data for gross samples (with reference to the Festivalnoe deposit, Komsomolsk ore district) // Regularities of the structure and evolution of geospheres: Proceedings of VII International Interdisciplinary Scientific Symposium. Vladivostok: FEB RAS, 2005. P. 150-154.

7. **Касаткин С.А.** Структурно-динамический контроль оруденения Фестивального месторождения (Комсомольский рудный район, Россия) // Современное состояние наук о Земле: Мат. международ. конф., посвящ. памяти В.Е. Хаина, Москва, 1-4 февраля 2011 г. Москва: Геол. факульт. МГУ. С. 843-848.