

## Геолого-генетические модели полихронных–полигенных благороднометалльных месторождений Верхояно-Колымской складчатой области (на примере Мангазейского серебрянорудного поля)

А.И.НЕКРАСОВ (АО «УК «ВОСТОКУГОЛЬ»»); 143084, Московская область, Одинцовский район, с. Усово, стр. 100, Блок Д).

Обоснована полигенная и полихронная природа оруденения Мангазейского рудного поля. В пределах объекта отчетливо фиксируется позднепалеозойский этап прерудной подготовки, что впоследствии привело к формированию стратифицированных рудных тел. Совмещение в пространстве позднемезозойского золотомедно-порфирового, олово-серебро-полиметаллического, серебро-полиметаллического, серебро-сурьмяного и сурьмяного оруденения свидетельствует о полигенности объекта. Формирование современного облика рудного поля завершилось в раннем кайнозое, когда была сформирована инверсионная зональность оруденения.

*Ключевые слова:* Мангазейское рудное поле, полигенная и полихронная природа оруденения, Ньюектаминский разлом, Северо-Тирехтяхский разлом, Эндыбальский субвулкан, этап прерудной подготовки, золотомедно-порфировая, серебро-сурьмяная, серебро-полиметаллическая, олово-серебро-полиметаллическая формации, минеральные типы, ассоциации и парагенезы, физико-химические условия рудообразования.

Некрасов Алексей Иванович



anekrasov@vostok-coal.ru

## Geological-genetic models of polychronous and polygenic gold and silver deposits of the Verkhoyansk-Kolyma folded region (example of Mangazeyskoye silver ore field)

A.I.NEKRASOV

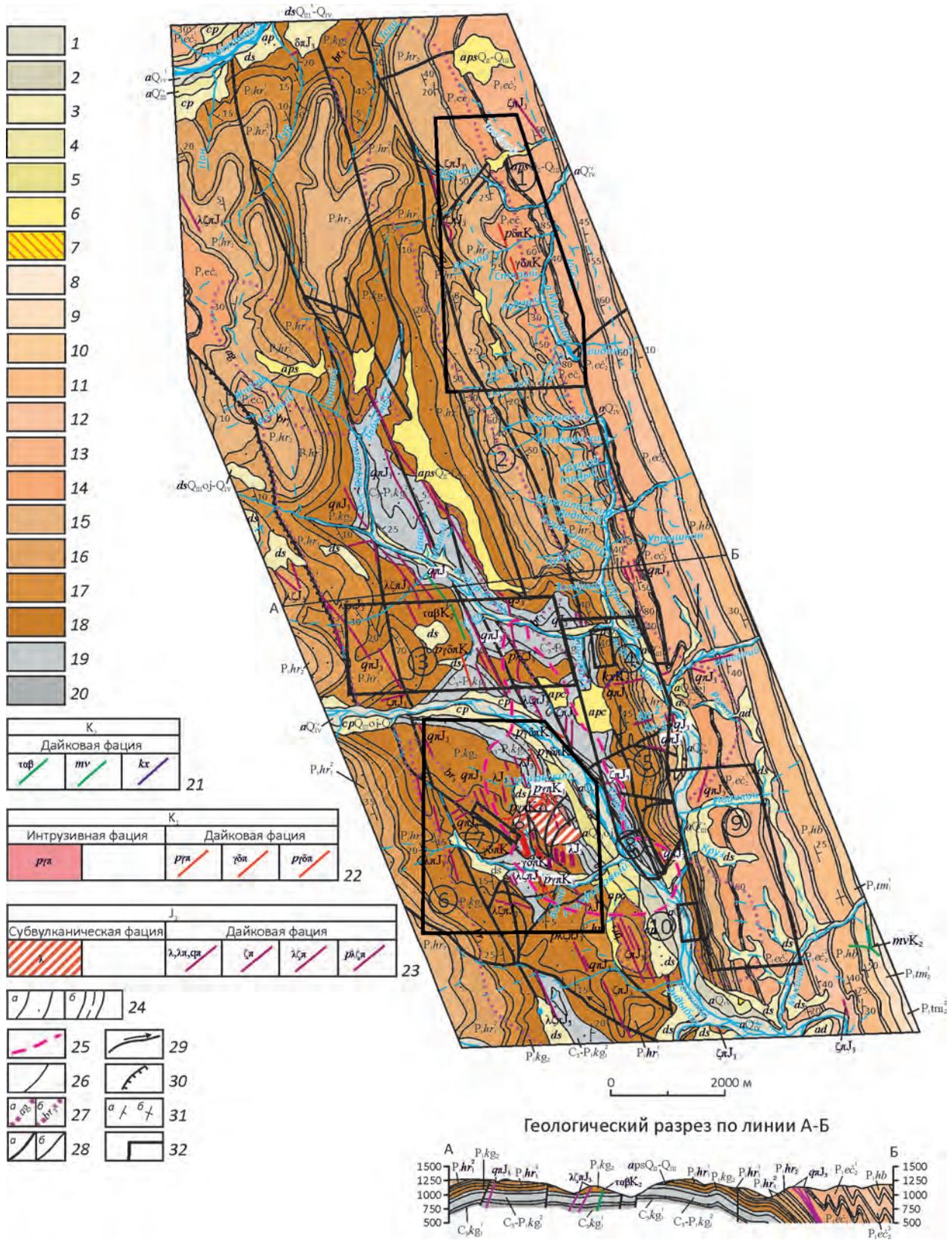
Polygenic and polychronic nature of Mangazeyskoye ore field mineralization is substantiated. Within the object, late stage of pre-ore preparation is clearly fixed, which subsequently led to the formation of stratified ore bodies. Spatial combination of late Mesozoic gold-copper- porphyry, tin-silver-polymetallic, silver-polymetallic, silver-antimony and antimony mineralization indicates a polygenic object. The formation of the modern image of the ore field was completed in the early Cenozoic when the inversion zoning of mineralization was formed.

*Key words:* Mangazeyskoye ore field, polygenic and polychronic nature of the mineralization, Nyuektaminsky fault, North-Tirehtyahsky fault, Endybalsky subvolcano, stage of pre-ore preparation, copper-gold- porphyry, silver- antimony, silver-polymetallic, tin-silver-polymetallic formation, mineral types, associations and parageneses, physical and chemical conditions of ore formation.

Вопросам полигенности-полихронности оруденения геологи стали уделять внимание относительно недавно. Это связано, прежде всего, с развитием методов прогнозирования и поисков «трудно открываемых» месторождений. В полной мере это касается и благороднометалльных объектов Верхояно-Колымской складчатой области. Возможная полихронность и полигенность благороднометалльного оруденения обсуждалась М.М. Константиновым [8]. Показана приуроченность некоторых месторождений (в том числе Мангазейского рудного поля) Верхояно-Колымской складчатой области к определенным дискретным стратоуровням. Полихронность и полигенность была установлена для

таких месторождений региона, как золоторудные: Наталкинское [15], Нежданинское [6], Бадран [7], Аркачан [2], Кючус [9] и некоторые другие [26]; серебрянорудные: Прогноз [5], Купольное [27], Мангазейское [13, 17].

Полигенная и полихронная природа оруденения доказана для небольшой группы месторождений, в которой большинство принадлежит к классам крупных и гигантских объектов. По-видимому, полигенность и полихронность – необходимые условия формирования крупных месторождений. Это может быть продемонстрировано на примере Мангазейского рудного поля – крупного объекта, расположенного в центральной части Западно-Верхоянской серебрянорудной провинции [1, 16, 18].



Площадь Мангазейского рудного поля составляет 150 км<sup>2</sup>. В пределах рудного поля на нескольких участках (рис. 1) пространственно совмещены рудные тела, вмещающие золотосульфидное, золотомедно-порфировое с серебром, олово-серебро-полиметаллическое, серебро-полиметаллическое, серебро-сурьмяное (сурьяно-медно-серебряное и свинцово-сурьяно-серебряное), полиметаллическое и свинцово-сурьмяное серебро-содержащее оруденения. Всего в пределах рудного поля установлено около 80 рудных тел, из которых 64 прослежены регулярным опробованием. Сорок рудных тел вскрыты канавами, траншеями, шурфами, штольнями и скважинами колонкового бурения. История изучения рудного поля насчитывает более 250 лет. Истори-

чески, что отражено в литературных источниках, рудные тела участков Мангазейский, Стержневой, Безымянный и Нижне-Эндыбальский выделялись под названиями соответствующих «месторождений». По статусу, тем не менее, они являются рудопроявлениями, так как до настоящего времени не имеют балансовой принадлежности. Перечисленные участки вместе с участком (рудопроявлением) Восточный объединяются в центральную часть рудного поля, остальные рудопроявления (участки): Порфиновый с месторождением Вертикальное, Мысовой, Мухалкан, Забытый составляют фланги рудного поля. Авторская оценка (А.И.Некрасов, 2006) запасов и прогнозных ресурсов высоких категорий основных тел рудного поля составляет около 28 тыс. т серебра.

**Рис. 1. Геологическая карта Мангазейского рудного поля. Составитель А.И.Некрасов:**

отложения: 1 – аллювиальные русел, низкой и высокой пойм, стариц и I надпойменной террасы (галечники, валуны, пески, супеси), 2 – аллювиальные I надпойменной террасы (галечники, пески, супеси), 3 – аллювиально-пролювиальные (галечники, щебень, пески, алевриты), делювиально-солифлюкционные, *ds* (щебень, дресва, суглинки), аллювиально-делювиальные, *ad* (щебень, дресва с галькой и мелкими валунами, пески, алевриты, суглинки), коллювиально-пролювиальные, *sp* (глибы, щебень, дресва, суглинки, супеси), 4 – аллювиальные II надпойменной террасы (галечники, пески, алевриты), 5 – аллювиальные комплекса высоких террас (галечники, пески), 6 – аллювиально-пролювиальные, солифлюкционные (пески, алевриты с галькой и щебнем); 7 – палеогеновая система: пестроцветные коры выветривания (?) каолинитового и монтмориллонит-гидрослюдистого состава; 8–10 – тумаринская свита: 8 – верхняя подсвита, первая пачка (пакеты разнозернистых песчаников с прослоями алевролитов, пакеты тонкого неритмичного чередования средне-мелкозернистых песчаников и крупнозернистых алевролитов, пакеты тонкого чередования алевритистых песчаников и разнозернистых алевролитов), 9 – нижняя подсвита, вторая пачка (тонкое неритмичное чередование средне-мелкозернистых песчаников и разнозернистых алевролитов), 10 – нижняя подсвита, первая пачка (разнозернистые алевролиты с отдельными пластами разнозернистых песчаников и редкими пакетами тонкого чередования песчаников и алевролитов); 11 – хабахская свита: грубое чередование пакетов разнозернистых песчаников с прослоями алевролитов и пакетов переслаивания песчаников, алевролитов, редко аргиллитов; 12–14 – эчийская свита: 12 – верхняя подсвита, вторая пачка (разнозернистые алевролиты, алевритистые песчаники, редко аргиллиты в различных чередованиях, отдельные пласты (4–6 м) песчаников, общая мощность пачки 230 м), 13 – верхняя подсвита, первая пачка (разнозернистые алевролиты, отдельные пласты песчаников до 4 м, линзы и прослои известняков и доломитов, в кровле песчаный пакет (30 м), общая мощность 290 м), 14 – нижняя подсвита (разнозернистые черные алевролиты, аргиллиты с редкими прослоями (0,03–0,05 м) песчаников, в кровле маркирующий пакет (32 м) флюидного переслаивания песчаников и алевролитов, общая мощность 150–210 м); 15–17 – хорокытская свита: 15 – верхняя подсвита: в кровле песчаный пакет (50 м), в подошве биотурбированные алевролиты и песчанистые алевролиты (105 м), 16 – нижняя подсвита, вторая пачка: в кровле (60–65 м), песчаный пакет, в подошве разнозернистые алевролиты с пластами алевритистых песчаников, глинистые конкреции (120 м), 17 – нижняя подсвита, первая пачка: в кровле (25 м) маркирующий песчаный пакет, ниже чередование алевролитов и песчаников, брахиоподовые банки (65 м); 18–20 – кыгылтасская свита: 18 – верхняя подсвита: в кровле (46 м) маркирующий песчаный пакет плотных средне-крупнозернистых и мелко-тонкозернистых серых и светло-серых песчаников, в подошве разнозернистые алевролиты с редкими прослоями песчаников (115 м), 19 – нижняя подсвита, вторая пачка: в кровле (60–65 м) маркирующий песчаный пакет, ниже тонкое переслаивание песчаников и алевролитов с отдельными песчанистыми пакетами (до 20–23 м), общей мощностью 190 м, 20 – нижняя подсвита, первая пачка: в кровле (40–45 м) пакет светло-серых средне-грубозернистых массивных песчаников с редкими прослоями алевролитов (0,2–1,0 м), ниже алевролиты (30–40 м); 21 – дайки и жилы трахиандезитобазальтов ( $\tau\alpha\beta$ ), долеритов (*mv*), керсантитов(*kx*); 22 – малые тела плагиогранит-порфиоров (*ррл*), дайки и жилы плагиогранит-порфиоров (*ррл*), гранодиорит-порфиоров ( $\gamma\delta\tau$ ), плагиогранодитрит-порфиоров ( $\rho\lambda\zeta\tau$ ); 23 – субвулканическая фация: тела риолитов ( $\lambda$ ), кварцевых порфиоров, плагиогранит-порфиоров и их брекчиевая субфация: интрузивные, эксплозивные, полимиктовые брекчии, туфобрекчии, брекчии обрушения в составе Эндыбальской флюидно-эксплозивной структуры (ФЭС), дайковая фация: дайки и жилы риолитов ( $\lambda$ ), риолитовых ( $\lambda\tau$ ) и кварцевых ( $\rho\lambda$ ) порфиоров и дацитовых порфиоров ( $\zeta\tau$ ), плагиориодационных порфиоров ( $\rho\lambda\zeta\tau$ ); 24 – маркирующие пакеты существенно: а – песчанистого состава, б – флюидного переслаивания песчаников и алевролитов; 25 – контуры погребенной части Эндыбальской ФЭС; 26 – геологические границы; 27 – ореолы метасоматических изменений осадочных пород: а – аргиллизация и б – березитизация: стадии кислотного выщелачивания ( $br_1$ ), стадии субщелочного метасоматоза ( $br_2$ ); 28 – разрывные нарушения: а – главные и б – второстепенные, в том числе выявленные по результатам дешифрирования АФС; 29 – направление горизонтальных перемещений по разлому; 30 – надвиги; 31 – ориентировка плоскостных структурных элементов: залегание слоистости: а – наклонное, б – вертикальное; 32 – контур участков проявлений и месторождений: 1 – Мухалкан, 2 – Мангазейское, 3 – Забытый, 4 – Стержневое, 5 – Восточный, 6 – Порфиновый, 7 – Вертикальное, 8 – Нижне-Эндыбальское, 9 – Мысовой, 10 – Безымянное



Достоверность прогноза в настоящее время подтверждается проведенными оценочными работами на месторождении Вертикальное, где учтены балансовые запасы серебра в объеме около 3,5 тыс. т. Общий потенциал рудного поля в установленных границах, по оценкам разных авторов, составляет от 40 до 80 тыс. т серебра. При этом рудное поле не оконтурено на южном и юго-западном флангах, и существуют перспективы выявления новых объектов на площади около 30 км<sup>2</sup>.

Мангазейское рудное поле расположено на сочленении двух главных структур Западно-Верхоянского сегмента Верхоянского складчато-надвигового пояса – Куранахского антиклинория и Сартангского синклинория. Зона сочленения осложнена одной из ветвей Верхоянского глубинного разлома – Ньюктаминской системой разрывов северо-западного, субскладчатого простирания. Второй зоной глубинного разлома, контролирующей размещение магматических тел и оруденения, является группа Северо-Тирехтяхских субширотных разрывов, принадлежащая, в свою очередь, к Виллойско-Полоусненской разрывной системе. На общую картину закономерностей локализации серебряного и серебро-полиметаллического оруденения накладывается асимметричная концентрическая зональность, связанная с погребенным выступом грани-

тоидного интрузива, в наиболее приподнятой части, которого расположен Эндыбальский субвулкан.

Ньюктаминский глубинный разлом субмеридионального простирания, контролирующий структуру рудного поля, является одной из ветвей Верхоянской разломной системы. Эта система обуславливает смену широких, открытых флексуровидных складок Куранахского антиклинория щелевидными синклиналями и брахиморфными антиклиналями Сартангского синклинория. Такая смена стиля пликативной тектоники происходит в восточном крыле и ядерной части Эндыбальской антиклиналями, где собственно и локализовано рудное поле.

В гравитационном поле Ньюктаминский разлом выражен градиентной зоной, по которой Эчийский гравитационный минимум к востоку сменяется близнулевым полем. Собственно зона Ньюктаминского разлома имеет ширину около 8 км при падении на восток с углами 50°–70°. Внутренняя структура зоны позволяет выделить несколько швов, имеющих мощность до сотен метров. Между двумя такими швами локализованы магматические (Эндыбальский субвулкан, с которым связано золотомедно-порфировое оруденение, субмеридиональные дайки позднеюрского–раннемелового возраста) и серебрянорудные тела Мангазейского рудного поля.

**Рис. 2. Стратиграфическая колонка Мангазейского рудного поля и положение рудных зон и рудных тел. Составитель А.И.Некрасов:**

1–3 – песчаники: 1 – крупнозернистые, 2 – средне-мелкозернистые, 3 – алевритистые; 4–6 – алевролиты: 4 – крупнозернистые, 5 – мелкозернистые, 6 – аргиллиты; 7–8 – переслаивание песчаников и алевролитов: 7 – песчаные алевролиты, 8 – флюидное переслаивание песчаников и алевролитов, редко с участием аргиллитов; 9–19 – литологические особенности разреза: 9 – пласты (0,1–5,0 м) и линзы песчаных известняков, 10 – линзы доломитов, 11 – линзы и желваки мергелистых алевролитов, мергелей, 12 – линзы конгломератов, 13 – линзирующиеся пласты (0,01–1,0 м) и линзы гравелитов, 14 – прослои (0,01–1,0 м), линзы и стяжения антракослитов бурых углей, 15 – брахиоподовые и пелициподовые банки, 16–19 – конкреции: 16 – известняково-песчаные, 17 – кремнисто-глинистые, 18 – марказитовые, 19 – вкрапленники и кристаллы аутигенного пирита; 20–21 – гиероглифы: 20 – Rhyzocorallium, 21 – Tyonurus; 22–38 – текстурные особенности разреза: 22 – следы обезвоживания (столбчатая отдельность), 23 – горизонтальная слоистость, 24 – штриховая горизонтальная слоистость, 25 – косая слоистость, 26 – штриховая косая слоистость, 27 – прямая градационная слоистость, 28 – текстура cone-in-cone, 29 – обратная градационная слоистость, 30 – конволютная слоистость, 31 – волновые знаки, 32 – плавающая галька, 33 – текстуры вдавливания осадка в нижележащий ил, 34 – линзовидно-слоистые микробрекчиевые текстуры, 35 – оползневые текстуры, микрооползневые деформации, 36 – текстуры биотурбации (комковатые, пятнистые фьяммевидные), 37 – эрозионные границы пластов, 38 – беспорядочное распределение интракластов в разрезе; 39–42 – типы циклитов: 39 – прогрессивный, 40 – регрессивный, 41 – прогрессивно-регрессивный, 42 – регрессивно-прогрессивный; 43–47 – палеонтологическая характеристика: 43 – аммоноидеи, 44 – двустворки, 45 – филлоподы, 46 – наутилоидеи, 47 – брахиоподы; *мегафация континентального склона*: ВКС – мезофация верхней части склона, ВФ – мезофация верхней части конуса выноса (верхний фан), СФ – мезофация средней части конуса выноса (средний фан), НФ – мезофация нижней части конуса выноса (нижний фан), СПФ – мезофация «дочерних» конусов выноса и боковых протоков (супрафан), АР – мегафация выровненного дна бассейна (псевдоабиссальной равнины); *петрофизические свойства*: средняя плотность ( $\sigma_{cp}$ , г/см<sup>3</sup>); *n* – число проб; *генетические типы отложений*: автокинетические потоки (гравититы): ДП – дебризивные (обломочные), РП – разжиженные, ЗП – зерновые; турбидные потоки: ПТ – проксимальные, МТ – медиальные; потоки авандельтовые: ОР – потоки основного русла авандельты, Р – русловые отложения боковых протоков, ДА – отложения дистальных частей авандельты, ДФ – донно-флювиальные отложения (отложения донных течений), НФ – нефелоидиты (отложения взвеси «хвостов» автокинетических потоков), ФО – фоновые илы (аргиллиты, карбонатные осадки-выпадение взвеси частица за частицей); ОБ – оползневые и обвальные брекчии; ВО – волновые отложения (бары, косы и другие аккумулятивные тела); ОТ – отложения склоновых террас; КО – конденсированное осадконакопление; зоны осадконакопления (условия седиментации): мегафация шельфа; мезофации сублиторали; ПБ – зона прибрежно-лагунной седиментации; АЛ – аллювиально-дельтовые отложения; ПМ – зона подвижного мелководья мезофации авандельты; КВА – конус выноса авандельты; ПД – отложения продельты; ВНШ – мезофация внешнего шельфа; БШ – отложения бровки шельфа



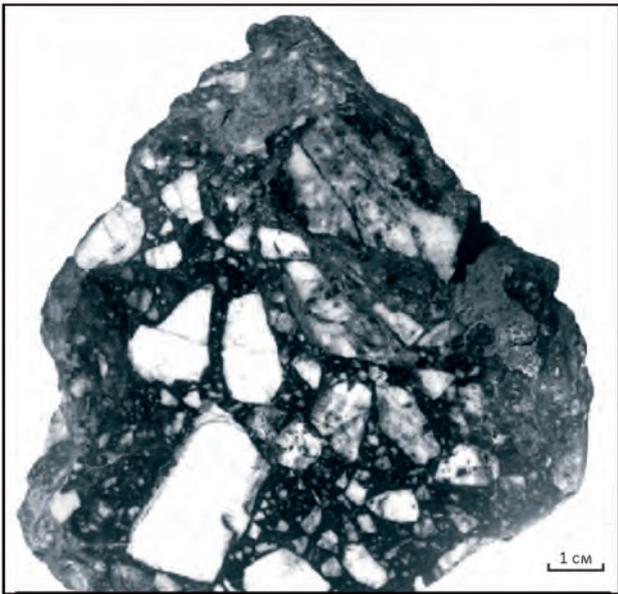


Рис. 4. Рудная брекчия (рудопроявление Привет). Фото А.И.Некрасова:

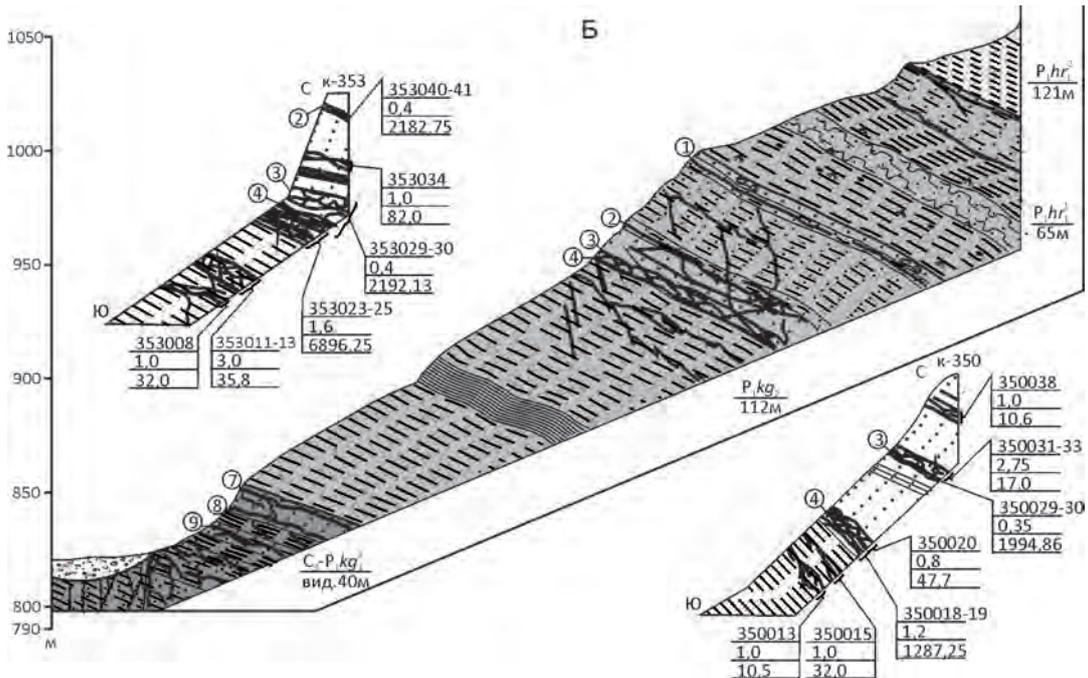
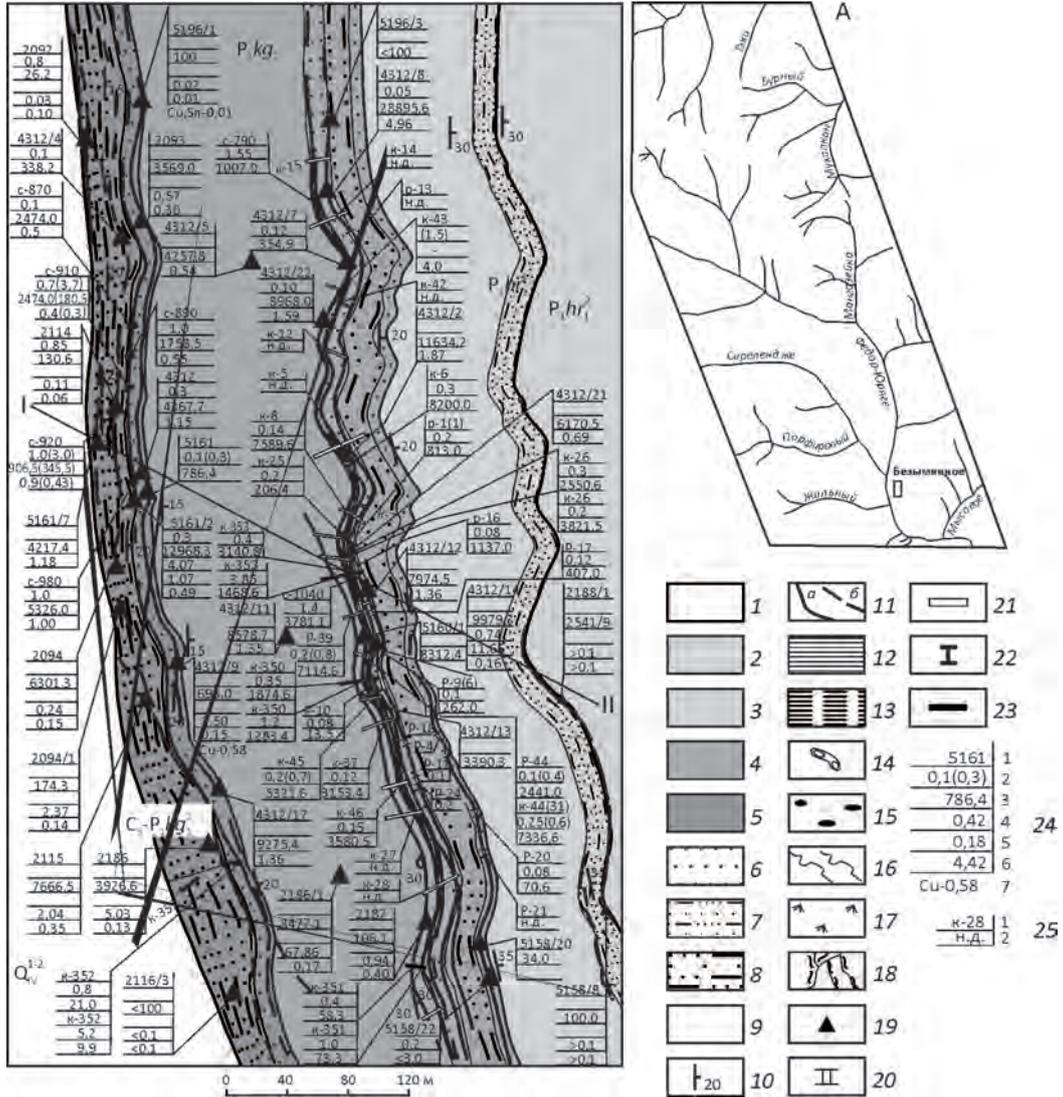
обломки кварца (светлые), вмещающие оруденение сульфотеллуридно-густавит-висмутин-арсенопирит-пирит-халькопиритовой ассоциации золоторедкометалльной формации, кварц-сидеритовые обломки (серые и светло-серые), вмещающие оруденение олово-серебро-полиметаллической формации, цементируются кварц-сидерит-сульфидным мелкозернистым агрегатом с минеральными ассоциациями серебро-полиметаллической формаций (темно-серое); обр. к штуфной пробе 2644, содержание (в г/т): Ag 2621,0 и Au 0,72; (в %): Pb 4,82; Zn 1,30; As 2,30; Sn 0,07; Sb, Cd >0,1

Нюектаминская система разломов определяет западную и восточную границы рудного поля. Северная же и южная границы контролируются субширотными швами Северо-Тирехтяхской системы разломов (по рекам Аркачан и Нюектаме), в свою очередь, представляющих Западно-Верхоянскую часть надрегиональной Вилуйско-Полоусненской системы. На площади рудного поля система разломов выражена серией субвертикальных уступов (сбросов), практически без сдвиговой составляющей, в которой все северные блоки последовательно опущены по отношению к южным. Таким образом, эта система разрывов контролирует погружение Эндыбальской антиклинали в северо-западном направлении. Разрывы Северо-Тирехтяхской системы, кроме того, определяют положение приподнятых участков гранитодных интрузивов и, соответственно, положение рудного поля в надинтрузивной зоне (см. рис. 1). Наиболее приподнятая часть такого интрузива представлена плагиогранитами, прорывающими Эндыбальский субвулкан, и сериями субширотных даек мелового возраста.

Третья система разломов, значительно повлиявшая на размещение оруденения, носит название Собопольской. Она представлена субвертикальными зонами дробления взбросово-сдвиговой кинематики северо-западного ( $300^{\circ}$ – $345^{\circ}$ ) простирания. Подобные зоны вмещают рудные тела Привет, Привет-2 и Вертикальное на участке Порфиоровый. На ранней стадии развития разломы представляли собой жилы выполнения и вмещали раннее золоторедкометалльное оруденение, о чем можно судить по обломкам кварца с арсенопиритом, висмутином и сульфотеллуридами висмута в рудных телах Привет и Вертикальное. Более поздние кварц-карбонатные минеральные ассоциации цементируют ранний кварц и несут уже золотомедное и более позднее серебро-полиметаллическое оруденение. К югу от рудного поля на разрывы этой системы наложено наиболее позднее серебро-содержащее полиметаллическое и свинцово-сурьмяное оруденение.

В строении Мангазейского рудного поля принимают участие позднепалеозойские терригенные породы, слагающие ядро и восточное крутое крыло открытой, асимметричной, стулообразной Эндыбальской антиклинали. Литолого-стратиграфическая характеристика осадочных пород, вмещающих оруденение, приведена на рис. 2. Наблюдается строгий литолого-структурный контроль серебряного и серебро-полиметаллического оруденения – приуроченность рудных зон к компетентным пакетам песчаников под экранами алевролитовых горизонтов (см. рис. 2). Выявлены две основные причины такого контроля. Первый фактор стратификации серебряного оруденения – строение зоны Нюектаминского разлома. Две шовные зоны разлома, осложняющие соответственно ядро и восточное крыло Эндыбальской антиклинали, занимают секущее (под  $5^{\circ}$ – $15^{\circ}$ ) положение по отношению к простиранию пород. Между ними развиты серии послонных срывов, которые вместе с шовными зонами образуют сдвиговый дуплекс, а также контролируют и вмещают рудные тела.

Второй фактор, оказавший значительное влияние на локализацию оруденения, в целом, и стратификацию серебрянорудных и серебро-полиметаллических зон, в частности, – концентрирование рудных элементов в осадочных породах в позднепалеозойский период осадконакопления. В это время, по мнению автора, не были сформированы рудные постройки, подобные таковым колчеданных месторождений, однако прошел необходимый этап предрудной подготовки вмещающих толщ. Об этом свидетельствуют региональная сингенетичная пиритизация и наличие горизонтов, обогащенных осадочным аналогом монацита – куларитом. В пиритах из неизмененных осадочных пород [19] концентрации (в %): Ag 0,05–0,17, Zn 0,01–0,2, Cu 0,01–0,06, Sb 0,01–0,08 сопоставимы с таковыми в пиритах стратиформных месторождений Южного Верхоянья [14]. В куларитах Западного Верхоянья установлены аномальные концентрации Ag до 100 г/т [22].



В периоды активизации тектонического режима, когда накапливались грубообломочные отложения, происходило максимальное обогащение пород рудными элементами. Так, по представительным выборкам из неизменных пород непосредственно за пределами рудного поля (от 45 до 220 проб из каждой литологической пачки) средние геометрические содержания в песчаниках Ag, Pb, Zn, Cu, Sb, Co, Ni, Mo и др. в 3–30 раз превышают кларковые в типовых породах [3, 30], тогда как в алевролитовых пакетах концентрации сопоставимы с кларковыми. Величины дисперсии содержаний (стандартный множитель – от 1,2 до 4,0) свидетельствуют о контрастном распределении рудных элементов по разрезу внутри каждой литологической пачки. На диаграммах Н.М.Страхова [25] отчетливо выделяется стратиграфический интервал (верхний карбон–нижняя пермь), обогащенный рудными элементами. Именно в этом интервале локализованы стратифицированные тела Мангазейского рудного поля.

Перерыв между этапом прерудной подготовки и собственно рудообразованием был длительным, но даже во время этого перерыва происходила постепенная регенерация рассеянных концентраций основных рудных элементов системы. Так, по данным свинцовой изотопии, приведенным в работах [10–12], современная изотопная система начала формироваться в среднем триасе. Это может быть связано с началом уплотнения позднепалеозойских осадков под воздействием массы вышележащих, с формированием позднепалеозойских осадочных пород.

Ранний этап рудообразования связан с Эндыбальской флюидно-эксплозивной структурой, а точнее с ее центром – одноименным субвулканом, сложенным

плагиигранит-порфирами. Подробная характеристика субвулкана, а также раннего этапа рудообразования, выраженного в формировании золоторедкометалльного, золотосульфидного, золотомедно-порфирового и олово-серебро-полиметаллического оруденения, приведена в работе [17]. Общая последовательность рудообразования и сопровождающего метасоматоза показана на рис. 3.

Поздний этап имеет явный разрыв во времени с ранним, но временная величина его не ясна. Разрыв доказывается обломками кварцевых жил с золоторедкометалльным оруденением в сульфосольно-сульфидно-сидеритовом цементе серебрянорудных и серебро-полиметаллических руд позднего этапа (рис. 4). Причем ранняя золоторедкометалльная ассоциация проявлена, хотя и в крайне угнетенном виде, в серебрянорудных и серебро-полиметаллических жильно-прожилковых рудных телах (Привет, Вертикальное, Нижне-Эндыбальское, Безымянное (см. рис. 1), только пространственно расположенных в непосредственной близости от Эндыбальского субвулкана. Вблизи субвулкана рудная зона месторождения Вертикальное также резко отличается от всех прочих серебро-полиметаллических объектов рудного поля преобладанием цинка над свинцом в рудах.

Различия в изотопном составе серы разных минералов отражают закономерное фракционирование изотопного состава серы флюида в процессе его эволюции. С другой стороны, они косвенно свидетельствуют о различной генетической природе оруденения раннего и позднего этапов. Так, все сульфиды месторождения Вертикальное имеют утяжеленный состав серы, который несколько облегчается в минералах проявлений, расположенных в теле Эндыбальского субвулкана.

**Рис. 5. Геолого-структурный план месторождения Безымянное с результатами опробования рудных тел (А) и разрез по линии I-II с результатами опробования по канавам (Б). Составитель А.И.Некрасов:**

1 – аллювиальные отложения русла, пойменной и первой надпойменной террас (галечники, валуны, пески, супеси),  $Qo^{1-2}$ ; 2 – нижнехорокытская подсвита, вторая пачка (песчаные алевролиты, песчаники)?  $P_1hr_1^2$ ; 3 – нижнехорокытская подсвита, первая пачка (алевролиты, песчаные алевролиты, песчаники),  $P_1hr_1^1$ ; 4 – верхнекыгылтасская подсвита (песчаники и разнозернистые алевролиты),  $P_1kg_2$ ; 5 – нижнекыгылтасская подсвита, вторая пачка (песчаники с прослоями алевролитов)?  $C_3-P_1kg_1^2$ ; 6 – маркирующие пакеты средне-крупно-грубозернистых песчаников; 7 – мелко- и тонкозернистые песчаники в различном переслаивании; 8 – пакеты существенно песчанистого разнозернистого переслаивания с мощностью слоев 0,5–3,0 м; 9 – разнозернистые алевролиты, алевритистые песчаники (только на плане); 10 – элементы залегания пластов пород; 11 – минерализованные зоны прожилкования и дробления: а – установленные, б – предполагаемые; только на разрезе: 12–18: пакеты: 12 – тонкого (до 3–5 см) флюидного переслаивания тонкозернистых песчаников и алевролитов с участием аргиллитов и 13 – разнозернистых алевролитов с небольшим количеством алевритистых песчаников, 14 – линзы конгломератов, 15 – горизонты кремнисто-глинистых и известково-глинистых конкреций, 16 – текстуры взмучивания, оползания, биотурбации («комковатые» породы), 17 – горизонты распространения гиероглифов типа (Taonurus-Spiropliton), 18 – зоны смятия, расланцевания, катаклаза; опробование: 19–23: 19 – штучное, 20 – бороздовое по выработкам: расчистки, 21 – канавы, 22 – бороздовые сечения по естественным обнажениям, расчистки, 23 – канавы 1994 г., 24 – результаты опробования: 1 – номера литохимических и штучных проб, выработок, блоков, 2 – мощность опробуемых интервалов (в скобках показаны мощности зон прожилкования), м, содержание: 3 – серебра по результатам гамма-активационного и пробирного анализов, г/т, 4 – золота по результатам гамма-активационного и пробирного анализов, г/т, 5 – свинца, по результатам рентгено-радиометрического и спектрального анализа, %, 6 – цинка, по результатам рентгено-радиометрического и спектрального анализа, % и 7 – иных элементов по результатам рентгено-радиометрического анализа, %; 25 – пройденные канавы, вскрытые рудные тела: 1 – номер выработки, н.д. – нет данных; цифры в кружках – номера рудных тел (только на разрезе); масштаб разреза 1:2000

## Месторождения рудных и нерудных полезных ископаемых

### 1. Распространение минеральных парагенезов в месторождениях и рудопроявлениях Мангазейского рудного поля. Составитель А.И.Некрасов

Месторождение, рудопроявление	Минеральные ассоциации
Мангазейское, зона Кузьминская	Арсенопирит-пирит-куларит-марказитовая; фрейбергит-сфалерит-галенитовая; серебро-пираргирит-фрейбергит-галенитовая; сфалерит-диафорит-овихиитовая; алларгентум-анимикит-фрейбергит-джемсонит-галенит-сфалерит-антимонитовая
Мангазейское, зона Васильевская	Арсенопирит-пирит-куларит-марказитовая; арсенопирит-буланжерит-овихиитовая; сфалерит-диафорит-овихиитовая; серебро-пирит-арсенопирит-пираргирит-диафорит-фрейбергит-галенитовая; акантитовая-сфалерит-галенитовая; блёклорудно-пирит-халькопирит-галенит-сфалеритовая
Мангазейское, зона Михайловская	Арсенопирит-пирит-куларит-марказитовая; серебро-пирит-арсенопирит-пираргирит-диафорит-фрейбергит-галенитовая; акантитовая-сфалерит-галенитовая; сфалерит-диафорит-овихиитовая; блёклорудно-пирит-халькопирит-галенит-сфалеритовая
Мангазейское, зона Семеновская	Фрейбергит-сфалерит-галенитовая; тетраэдрит-пираргирит-полибазит-галенит-сфалеритовая
Мангазейское, зона Граничная	Фрейбергит-сфалерит-галенитовая; акантит-сфалерит-галенитовая
Нижне-Эндыбальское	Золотоарсенопиритовая; блёклорудно-галенит-марматит-пиритовая; тетраэдрит-пираргирит-полибазит-галенит-сфалеритовая; пираргирит-галенит-марматит-тетраэдритовая
Стержневое	Пираргирит-галенит-марматит-тетраэдритовая; акантит-сфалерит-галенитовая; медь-серебро-малахит-азуритовая
Безымянное, рудные тела 6-9	Сфалерит-диафорит-овихиитовая; овихиит-буланжерит-галенитовая; серебро-пираргирит-фрейбергит-галенитовая
Мысовое	Серебро-пирит-арсенопирит-диафорит-фрейбергит-галенитовая
участок Порфиновый, Борисовское, Шток, Трубка	Вольфрамит-арсенопирит-молибденитовая; золотоарсенопиритовая; касситерит-халькопирит-станнин-пирит-арсенопиритовая; касситерит-халькопирит-станнин-пирит-арсенопиритовая; блёклорудно-галенит-марматит-пиритовая; фрейбергит-сфалерит-галенитовая
участок Порфиновый, Вертикальное	Арсенопирит-пирит-халькопиритовая; тетраэдрит-пираргирит-полибазит-галенит-сфалеритовая; пирит-арсенопирит-буланжерит-овихиитовая; фрейбергит-сфалерит-галенитовая
участок Порфиновый, Привет	Арсенопирит-пирит-халькопиритовая; сульфотеллуридно-густавит-висмутин-арсенопирит-пирит-халькопиритовая; касситерит-халькопирит-станнин-пирит-арсенопиритовая; блёклорудно-галенит-марматит-пиритовая; сфалерит-диафорит-овихиитовая; серебро-пираргирит-фрейбергит-галенитовая; джемсонит-арсенопирит-галенит-сфалерит-антимонитовая; блёклорудно-халькопирит-пирит-галенит-сфалеритовая
участок Порфиновый, Жильное	Фрейбергит-сфалерит-галенитовая; джемсонит-антимонитовая; блёклорудно-халькопирит-пирит-галенит-сфалеритовая; малахит-азурит-англезит-церусситовая
Мухалканское	Фрейбергит-сфалерит-галенитовая; акантит-сфалерит-галенитовая; блёклорудно-пирит-халькопирит-галенит-сфалеритовая
Бурное	Тетраэдрит-пираргирит-полибазит-галенит-сфалеритовая; акантит-сфалерит-галенитовая; блёклорудно-пирит-халькопирит-галенит-сфалеритовая
Забытое	Серебро-пирит-арсенопирит-диафорит-фрейбергит-галенитовая; фрейбергит-сфалерит-галенитовая

Наиболее высокие положительные величины  $\delta S^{34}$  свойственны минералам из рудных зон Центральной части месторождения, наиболее удаленных от субвулкана (А.И.Некрасов, 2006).

Морфология рудных зон, сложенных рудами позднего этапа, отличается большим разнообразием и исключительной изменчивостью по простиранию и падению. Это связано с полиформационным характером оруденения, обуславливающим сочетания и взаимные переходы различных морфологических типов рудовмещающих зон. Рудные тела отличаются еще большим (впрочем, несколько искусственным) разнообразием, вследствие выделения их по результатам опробования, а не в естественных геологических границах.

Положение стратифицированных рудных тел в разрезе позднепалеозойских пород можно проиллюстрировать на примере «месторождения» Безмянное (рис. 5, А–Б). Все рудные тела залегают в верхних песчаных частях пачек двучленного строения, экранируются алевролитами нижней части перекрывающего ритма. В такой позиции залегают практически все мно-

гочисленные стратифицированные тела Мангазейского рудного поля.

Как правило, в рудных телах наблюдается совмещение, даже на уровне отдельных сечений минеральных типов и ассоциаций, характерных для олово-серебро-полиметаллической и серебро-полиметаллической, реже серебро-сурьмяной формаций, поэтому для Мангазейского рудного поля в целом они выделены в качестве субформаций единой серебро-полиметаллической формации. Распространение различных минеральных парагенезов в рудах конкретных рудных зон рудного поля приведено в табл. 1. В данной работе проиллюстрированы макросоотношения рудных ассоциаций. Взаимоотношения минералов и рудных ассоциаций на микроуровне подробно охарактеризованы в работах [10–12, 23].

Более распространено в рудах телескопирование минеральных парагенезов (ассоциаций) двух основных минеральных типов – серебро-сульфосольного и сульфосольно-галенит-сфалеритового, которыми сложены руды большинства тел-лидеров рудного поля (рис. 6).

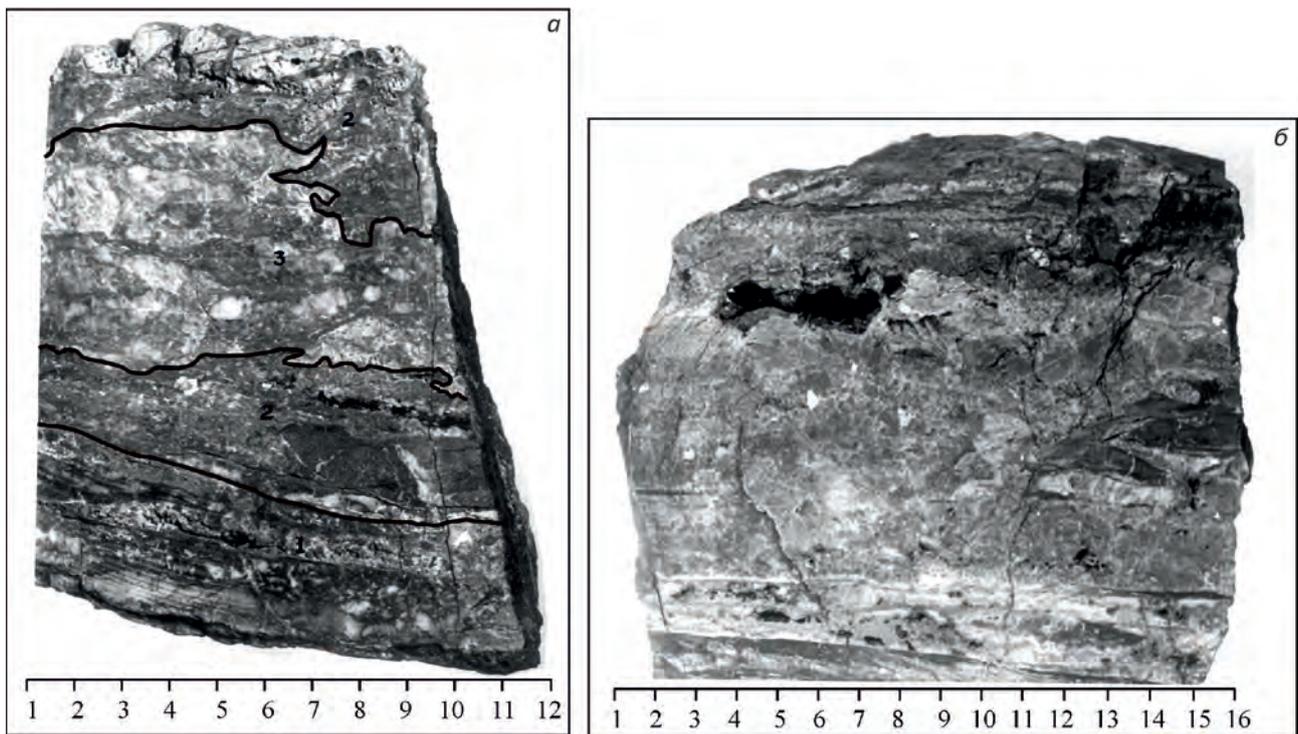


Рис. 6. Взаимоотношение руд различных минеральных ассоциаций серебро-сульфосольного минерального типа в полосчатых сидерит-кварцевых жилах рудных зон Мангазейского «месторождения». Фото А.И.Некрасова:

а: 1 – пирит-арсенопирит-пираргирит-диафорит-фрейсбергит-галенитовая с серебром минеральная ассоциация, 2 – тонковкрапленные руды арсенопирит-буланжерит-овихиитовой минеральной ассоциации, 3 – прожилково-вкрапленные руды диафорит-овихиитовой минеральной ассоциации; зона Васильевская, Южный фланг, канава 445, обр. к бороздовой пр. ж 445016, Ag 12 500 г/т; б: полосчатых руд пирит-арсенопирит-пираргирит-диафорит-фрейсбергит-галенитовой с серебром (светло-серые полосы в верхней и нижней частях образца) ассоциации и вкрапленных руд (центральная часть образца) диафорит-овихиитовой минеральных ассоциации; зона Михайловская, Южный фланг, траншея 444, обр. к бороздовой пр. 444021, Ag 14 000 г/т

В ассоциациях серебро-сульфосольного и сульфосольно-галенит-сфалеритового минеральных типов основными носителями серебра являются пираргирит, диффорит и овихиит. Необычным в рудах практически всех рудных тел является то, что галенит не содержит серебра в качестве изоморфной примеси.

Ранние генерации галенита являются при ближайшем рассмотрении продуктами распада диафорита или, вероятно, продуктами распада высокосеребристого галенита на пираргирит и практически стерильный в отношении серебра галенит. Массивный галенит третьей стадии позднего этапа рудообразования (см. рис. 3) также не сереброносен, но часто образует цемент своеобразных брекчий, обломки в которых сложены массивными агрегатами серебряных сульфосолей. Значительные примеси изоморфного серебра установлены в сфалерите и пирите, что также не характерно для серебрянорудных месторождений.

Гипогенное самородное серебро развивается в виде таблитчатых или проволоковидных агрегатов (рис. 7), а также в виде тонких прожилков и кайм в ассоциации с серебряными сульфосолями серебро-сульфосольного минерального типа. В отличие от руд месторождения Кимпиче в рудных телах Мангазейского рудного поля оно является второстепенным рудным минералом. Распространение минеральных парагенезов (ассоциаций), превалирующих в различных рудных зонах и телах Мангазейского рудного поля приведено в табл. 1. Всего в рудных телах в пределах рудного поля установлено около 70 рудных минералов и более 30 жильных минералов.

Ниже рассмотрены физико-химические условия рудообразования на гидротермально-метасоматическом (рудном) этапе формирования месторождений рудного поля. Некоторые характеристики рудообразующего флюида месторождений Мангазейского рудного поля



Рис. 7. Волокнистый агрегат гипогенного серебра в друзовидном кварце, вмещающем пирит-арсенопирит-пираргирит-диафорит-фрейбергит-галенитовую с серебром рудную минеральную ассоциацию. Фото А.И.Некрасова:

Мангазейское «месторождение» одноименного участка, зона Васильевская, южный фланг, обр. к штуфной пробе 2219; Ag 43 831,2 г/т; Pb 12,6 и Zn 4,7%; увел. в 10 раз; масштаб в см

### 2. Состав газовой фазы индивидуальных флюидных включений в кварцах месторождения Безымянное.

По А.С.Борисенко, 1994

Номер пробы	Минерал	Состав газовой фазы, в объемных долях %		
		CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
Б-3-3	Кварц I	83,1	16,5	0,4
		58,9	38,3	2,8
		83,8	16,2	сл.
2115/460	Кварц II	81,0	18,2	0,8
		96,2	2,33	1,67
127011П/1	Кварц II?	94,1	4,5	4,4
		95,2	2,2	0,6
Б-2	Кварц III	91,0	8,2	0,8
4312/1	Кварц IV	95,2	4,2	0,6
		82,8	15,3	1,9

Примечание. Анализы выполнены на лазерном спектрографе Ramanor-U-1000; аналитики А.А.Боровиков, В.В.Бабич.

3. Изотопный состав кислорода и углерода карбонатов рудных жил серебряных месторождений Верхоянья. По А.С.Борисенко, 1994

Номер пробы	Месторождение, рудопроявление	Минерал	C <sup>13</sup> (в % PDB)	O <sup>18</sup> (в % SMOW)	Температура образования (в °С)	Значения O <sup>18</sup> для минералообразующего раствора (в % SMOW)
125-233	Прогноз	Сидерит	-9,09	17,19	150	+2,2
19-97			-8,25	17,35	150	+2,4
к-538-13			-8,99	17,91	150	+2,9
116/8	Безымянное	Кальцит	-5,52	2,18	50	-21,2
4312/11		Сидерит	-8,45	17,87	150	+2,9
4305/6	Нижнеэндыбальское	Кальцит	-6,36	16,85	100	-0,9

Примечание. Анализы выполнены в лаборатории изотопных методов исследований ОИГГМ СО РАН; аналитик М.Н.Чернова.

4. Результаты термобарогеохимического изучения флюидных включений в кварцах месторождений Мангазейского рудного поля. По А.С.Борисенко, 1994

Месторождение	Номер пробы	Минерал	Тип включений	Температура гомогенизации (Т, °С)	Результаты криометрического анализа						
					T, °С звт	T, °С льда	T, °С соли	Преобладающие соли	Концентрации, в массовых долях %		
								NaCl	KCl	Конц.	
Безымянное	Б-33	Кварц-I	Первичный	220-200	-50-57	-25-30	+9-11	NaCl, KCl, CaCl <sub>2</sub>	19	-	29
				200-180	-50-55	-14	-6-8	NaCl, KCl, CaCl <sub>2</sub>	9	14	23
				220-177	-28	-11-13	-24-26	NaCl, KCl	15,5-13,5	3,8-4,3	17,3-19,8
				220-180	-25	-9-11	-	NaCl, KCl	-	-	14-16,5
Безымянное	2115/460	Кварц-I	Первичный	-	-	-	-	NaCl, CO <sub>2</sub>	-	-	-
				215-150	-50	-26-28	-20-15	NaCl, CaCl <sub>2</sub>	-	-	20-25
Безымянное	2115/460	Кварц-II	Первичный	170-130	-52-54	-13-11	-	NaCl, CaCl <sub>2</sub>	12,3	4,0	19,5-16,5
Стержневое	127011П/1	Кварц-II	Первичный	185-175	-	-6-8	-	KCl	-	-	9-12
				-	-23-26	-13	-4±2	KCl	17,5-15,5	14-8	23,5-21,5
Безымянное	127011П/1	Кварц-III	Вторичный	185	-24-25	-12	-	NaCl, KCl	-	-	17,5
Безымянное	4312/1	Кварц-IV	Первичный	180-140	-50	-22-13	-3±2	NaCl, KCl, CaCl <sub>2</sub>	19,5-8	8-13	27,5-21

приведены в таблицах 2–4. В составе газовой фазы флюидных включений в кварце (см. табл. 2) установлены  $H_2O$ ,  $NaCl$ ,  $KCl$ ,  $CaCl_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$ . Такой состав вообще характерен для рудообразующего флюида золотых и серебряных месторождений в терригенных породах [5, 28] и свидетельствует о его восстановительном характере. Изотопные характеристики кислорода и углерода (см. табл. 3) однозначно свидетельствуют о коровом источнике рудоносного флюида. Результаты изучения флюидных включений в кварцах (см. табл. 4) хорошо согласуются по температурам с результатами экспериментального изучения различных минеральных пар полиметаллических сульфидов.

Поздние ассоциации серебро-сульфосольного и сульфосольно-галенит-сфалеритового минеральных типов, вероятно, были образованы при  $T$  150°–300°С [4, 20–21, 23], фугитивности серы –  $10^{-15}$ – $10^{-12}$  атм и рН растворов равной 4–6 [29].

Экспериментальные данные [23] говорят об образовании алларгентума и аниминита при температуре порядка 150°–250°С, а завершился процесс формирования серебряного оруденения образованием химически чистого самородного серебра в парагенезисе со стефанитом, верхний предел устойчивости которого равен 197°С [21].

Гипергенный этап по времени оторван от рудного и, по-видимому, пришелся на палеогеновое время, когда были соответствующие климатические условия, позволившие сформироваться корам выветривания на огромной территории от р. Лена до Чукотки. Наиболее ярко он проявлен в рудных жилах «месторождения» Стержневое, где в результате разложения сидерита и серебросодержащей блёклой руды сформировались гетит-гидрогетит-лимонитовые тела с азуритом, малахитом и вторичным самородным серебром. В результате образовался природный рудный концентрат со средним содержанием  $Ag$  9,5 кг/т. Относительно физико-химических параметров пострудного гипергенного этапа можно сказать лишь то, что температура образования гипергенного самородного серебра месторождений Васильевское и Стержневое, где оно фиксируется в ассоциации со штрмейеритом (В.В.Шошин и др., 1995), вероятно, была ниже 90°С.

В раннекайнозойское время происходили активные блочные движения с одновременным «всплыванием» Эндыбальского субвулкана. Компенсировалось всплывание погружением соседних тектонических микроблоков. В результате сформировалась инверсионная зональность оруденения, когда отдельные объекты наиболее «удаленной» формации (Безымянное) оказались гипсометрически ниже объекта «базовой» олово-серебро-полиметаллической формации (Борисовское), а последнее, в свою очередь, находится гипсометрически ниже всех серебро-полиметаллических объектов центральной части и флангов рудного поля. Все закончилось формированием пенеплена в конце раннего кай-

нозоя и только тогда рудное поле приняло современный облик.

По материалам статьи на примере Мангазейского рудного поля можно сформулировать следующие общие выводы:

для обоснования полихронности объекта недостаточно ссылок на внутрирудные брекчии. Последние могут свидетельствовать и об очень кратком разрыве между этапами рудообразования. Необходимы свидетельства значительного временного разрыва между этапами. Другими словами, этапы должны быть настолько разными генетически и соответственно физико-химически, чтобы полихронность становилась очевидна;

полигенность месторождения может быть основана в случаях либо пространственного совмещения и (или) телескопирования руд различных геолого-генетических типов, либо наложения друг на друга генетически различных процессов в пределах месторождения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аристов В.В., Некрасов А. И.* Верхоянская серебрянорудная провинция. Перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2010. № 1. С. 21–29.
2. *Аркачанское* золоторудное месторождение, Западное Верхоянье / В.В.Аристов, М.М.Константинов, Г.Ю.Орлова и др. // Руды и металлы. 2003. № 4. С. 15–30.
3. *Виноградов А.П.* Геохимия живого вещества. – М.: Изд-во АН СССР, 1962.
4. *Гамянин Г.Н.* Минералогические аспекты формационно-генетического анализа золоторудных месторождений Верхояно-Колымской складчатой области // Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. – М.: Изд-во МГУ, 1991.
5. *Гамянин Г.Н., Аникина Е.Ю., Бортников Н.С.* Серебро-полиметаллическое месторождение Прогноз, Якутия: минералого-геохимические особенности и генезис // Геология рудных месторождений. 1998. Т. 1. С. 440–458.
6. *Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Алпатов В.В.* Нежданское золоторудное месторождение – уникальное месторождение Северо-Востока России. – М.: Геос, 2000.
7. *Кокин А.В.* Минералого-геохимические особенности месторождения Бадран (Восточная Якутия) // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. – Магадан: Изд-во СВКНИИ ДВО РАН, 2001. Т. 2. С. 170–172.
8. *Константинов М.М.* Золоторудные провинции мира. – М.: Научный мир, 2006.
9. *Коньшев В.О.* Модель золоторудного поля в структурах тектоно-магматической активизации, месторождение Кючус // Руды и металлы. 1995. № 4. С. 52–65.
10. *Костин А.В.* Прогноз крупных месторождений серебра в Западном Верхоянье на примере Мангазейского рудного поля // Отечественная геология. 1997. № 9. С. 32–36.
11. *Костин А.В.* Прогноз золотосеребряных месторождений мирового класса в Куранахской рудной зоне (Западное Верхоянье) // Отечественная геология. 2001. № 5. С. 62–67.

12. *Костин А.В.* О полигенности золотых и серебряных месторождений фронтальной части Верхоянского складчатого пояса // Отечественная геология. 2002. № 4. С. 8–11.
13. *Костин А.В.* Новые данные о геологии Эндыбальского серебрянорудного узла (Западное Верхоянье, Якутия) // Отечественная геология. 2008. № 5. С. 33–41.
14. *Костин А.В., Тыллар В.И.* Сингенетический пирит стратиформных свинцово-цинковых месторождений Кыллахской и Каменской рудоносных площадей (Восточная Якутия). Минералого-генетические аспекты магматизма и оруденения Якутии. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1993. С. 171–176.
15. *Наталкинское* золоторудное месторождение – строение и основные поисковые признаки / С.А.Григоров, В.Д.Ворожбенко, П.И.Кушнарев и др. // Отечественная геология. 2007. № 3. С. 43–50.
16. *Некрасов А.И.* Западно-Верхоянская минералогическая провинция – новая минерально-сырьевая база серебра России // Отечественная геология. № 3. 2007. С. 51–56.
17. *Некрасов А.И.* Золотомедно-порфировое с серебром оруденение Эндыбальского субвулкана «Западное Верхоянье» // Руды и металлы. 2009. № 2. С. 46–57.
18. *Некрасов А.И.* Минерально-сырьевой потенциал серебра Восточной Якутии // Вестник Госкомгеологии РС (Я). 2011. № 1(10). С. 71–86.
19. *Некрасов А.И., Костин А.В.* Золотосеребряное оруденение как индикатор геодинамического развития восточной окраины Сибирского кратона. Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых. – М.: Геос. Т. II. 2005. С. 32–36.
20. *Некрасов И.Я., Конюшок А.А.* Фазовые соотношения в системе Au-Ag-Sb-S // Докл. АН СССР. 1985. Т. 286. № 2. С. 442–446.
21. *Некрасов И.Я., Лукин С.Е.* Условия образования сульфидов, селенидов, сульфоселенидов серебра системы Ag-Sb-S-Se (по экспериментальным данным) // Минералогический журнал. 1987. Т. 9. № 1. С. 25–29.
22. *Некрасова Р.А., Некрасов И.Я.* Куларит-аутигенная разновидность монацита. // Докл. АН СССР. 1983. Т. 268. № 3. С. 688–694.
23. *Некрасов И.Я., Чевычелов В.Ю., Тронева Н.В.* Фазовые соотношения и система Ag-Sb-S в гидротермальных условиях при 300°–400°С и P<sub>H2O</sub> до 1 кбар. // Докл. АН СССР. 1978. Т. 238. № 4. С. 932–935.
24. *Сереброносная* провинция Западного Верхоянья / А.В.Костин, А.И.Зайцев, В.В.Шошин и др. – Якутск: Изд-во СО РАН, 1995.
25. *Страхов Н.М.* Основы теории литогенеза. Т. 1. – М.: Изд-во АН СССР, 1960.
26. *Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия).* – М.: МАИК, Наука/Интерпериодика, 2001.
27. *Филлимонов Ю.А., Сулейманов А.М.* Структурный контроль серебряного оруденения в Верхне-Тарынском рудном узле // Отечественная геология. 1994. № 8. С. 17–24.
28. *Характеристика* рудообразующего флюида на месторождениях золота и серебра в черных сланцах / Н.П.Ермолаев, В.А.Чиченов, В.Л.Хорошилов и др. // Геохимия. 1994. № 8–9. С. 1275–1286.
29. *Anderson G.M.* The hydrothermal transport and deposition of galena and sphalerite near 100° C. // Econ. Geol. 1973. Vol. 68. Pp. 480–492.
30. *Turekian K.K. and Wedepohl K.H.* Distribution of the elements in some major units of the earth's crust // Bull. Geol. Soc. Of Amer. 1961. Vol. 72. № 2. Pp. 175–190.