

**ОРОГЕННАЯ ЗОЛОТАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ АДЫЧАНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА  
(ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ, РОССИЯ). ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ И  
ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТО-КВАРЦЕВЫХ РУД**

**В.В. Аристов<sup>1,3</sup>, О.Б. Рыжов<sup>2</sup>, А.А. Вольфсон<sup>1</sup>, Н.В. Сидорова<sup>1</sup>, А.В. Курмаев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,  
Старомонетный пер. 35, г. Москва, 119017; e-mail: [rstvzv@yandex.ru](mailto:rstvzv@yandex.ru)

<sup>2</sup>ФГБУ Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных  
металлов, Походный проезд 3, стр. 2, г. Москва, 125373

<sup>3</sup>ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр-т Ленина 39, г. Якутск, 677000

Поступила в редакцию 15 июня 2017 г.

Анализ особенностей геологического строения Адычанского золоторудно-россыпного района показывает важное значение пологих структур ранней стадии коллизионного этапа в контроле положения рудных полей. Установлено сходство руд с вмещающими породами по составу главных компонентов, литофильных микроэлементов и РЗЭ. Особенности распределения микроэлементов и значения индикаторных показателей не противоречат предположениям о метаморфогенном происхождении основного объема флюидов, их слабовосстановительном и близнеутральном характере и о сорбционном взаимодействии между породой и флюидами. Установлена группа элементов, распределение которых в рудах существенно отличается от вмещающих пород. Геохимическую специализацию рудного района определяют Mo, Au, Bi, Sb, присутствующие в повышенных количествах в рудах всех изученных рудных объектов. Cr, As, Pb, Te установлены в пределах всех рудных полей, но не на всех объектах. Ассоциации Co-Ni-W-Zn-Cd-Ag, Co-Ni-W-In-Mn-Cu-Sr и Sn-In-Mn-Cu-Zn-Cd-Sr-Ag дополняют геохимическую специализацию Делювиального, Лазовского и Сентачанского рудных полей, соответственно. Проведенные исследования с учетом термобарогеохимических данных позволили уточнить метаморфогенно-магматическую модель образования золото-кварцевых месторождений в Кулар-Нерском поясе и наметить подходы к практическому применению выявленных закономерностей.

**Ключевые слова:** коллизия, внутриформационные срывы, сдвиги, микроэлементы, редкоземельные элементы, золото-кварцевые руды, штокверк, жилы, рудообразование, Верхояно-Колымская складчатая система, Якутия, Россия.

## ВВЕДЕНИЕ

Адычанский рудный район (АРР) расположен в 150 км к востоку от пос. Батагай и в 350 км к северу от пос. Усть-Нера (рис. 1), на северном окончании Яно-Колымской золотоносной зоны. В геологическом плане АРР принадлежит к Кулар-Нерскому поясу Верхояно-Колымской складчатой системы (ВКСС). По существующим представлениям [29], пояс представляет собой аккреционную структуру, сформированную в юрское–меловое время на пассивной континентальной окраине при закрытии гипотетического Оймяконского океана, поглощении океанической коры и взаимодействии погруженного фрагмента Сибирского континента и Колымо-Омолонского микроконтинента.

Формирование вещественных комплексов, складчатых и разрывных структур Кулар-Нерского пояса происходило в несколько этапов.

На первом этапе происходит накопление терригенных комплексов в условиях пассивной континентальной окраины при господстве растягивающих напряжений.

Второй этап связан с коллизионными событиями поздней юры–раннего мела и включает деформационные события в условиях фронтального сжатия (первый этап деформаций Верхоянского складчато-надвигового пояса, по [29]) и деформационные события в условиях косоугольного сжатия (второй этап деформаций, по [29]), связанного с поворотом Колымо-Омолонского

микроконтинента по часовой стрелке. На основе общих представлений об эволюции коллизионных орогенов, этот этап может быть условно разделен на следующие стадии:

1. Формирование пологих внутри- и межформационных разрывных нарушений [6, 30, 31] с увеличением мощности осадочных толщ за счет тектонического сдвигания разрезов.

2. Формирование правосдвиговых разрывных нарушений [34] и массовое образование коллизионных гранитоидов колымской серии [22] в поздней юре. По данным В.В.Акинина с соавторами [2], кристаллизация цирконов из этих гранитоидных массивов происходит в узком интервале времени –  $150 \pm 3$  млн лет назад. Интервал, вероятно, соответствует трансформации прямой коллизии в косую (сдвиговую).

3. Сдвиговые события конца юры–начала мела вызвали деформацию ранних гранитоидов и образование продольных левосдвиговых, преимущественно транспрессионных структур [31, 33, 34]. К этому же этапу можно отнести внедрение гранитоидов тенькинской серии, которые датируются поздней юрой–ранним мелом [22].

4. Сдвиговые события раннего мела, вызвавшие образование поперечных сопряженных право- и левосдвиговых разрывных нарушений и внедрение гранитоидов поперечных рядов (от 137.1 до 109.4 млн лет, по датировкам биотитов и амфиболов Ag-Ag методом [42]). Раннемеловой возраст определен для серицитов и калиевых полевых шпатов, предположительно синхронных с золотым оруденением Яно-Колымской провинции ( $132 \pm 7$  млн лет [1]), и для серицитов и галенитов золотых и полиметаллических ассоциаций Южного Верхоянья ( $120 \pm 1.3$  млн лет [32, 46]). К этой же стадии можно относить образование ультракалиевых кислых вулканитов Охотско-Чукотского вулканического пояса, которые датированы U-Pb SHRIMP методом по цирконам  $134.6 \pm 1.3$  млн лет [3].

Третий этап (постколлизионный (субдукционный, по [31])), связан с тектонической активизацией, сопряженной с развитием ОЧВП в позднемеловое время. Начало образования известково-щелочных вулcano-плутонических ассоциаций охотской, эвенской и янской серий относится к концу раннего мела ( $97 \pm 5$  млн лет по усредненным данным [3] для гранитоидов массивов Улахан и Неорчан), а завершение (дайки базальтов и образование покровных базальтов) – к концу позднего мела [22]. О проявлении этого этапа в пределах Адычанского района свидетельствуют альбские даты, полученные [10] для серицитов поздних антимонитовых ассоциаций месторождений Сентачан и Сарылах.

На кайнозойском этапе формируется современный рельеф региона. Вскрытые эрозией месторождения золота образуют россыпи, начиная с конца неогена.

На основании анализа регионального распределения рудных объектов, а также сопоставления структурных и минеральных ассоциаций и парагенезов, выделенных нами [4–6] и предшественниками как на Сентачанском и Сарылахском [10], так и на других золото-кварцевых и золото-сурьмяных рудных объектах [17], установлено, что образование основного объема руд происходит на двух поздних стадиях коллизионного этапа. Продуктивные ассоциации образуются в следующем порядке: арсенипирит-пирротин-пиритовая ранняя – золото-полисульфидно-кварцевая – золото-сульфосольная – золото-сульфоантимонитовая. Эта последовательность прослеживается на большинстве золоторудных объектов Верхояно-Колымской провинции [14].

Золоторудные месторождения АРР расположены в пределах области развития олово-вольфрамовой минерализации, что сближает их с месторождениями пояса Тинтина (Аляска), например: Даблин-Галч, Пого и другими. Жильные и прожилковые объекты обладают чертами сходства как с золото-кварцевыми (Наталка, Нежданинское, Дрожное), так и с золото-полисульфидно-кварцевыми (Дубач, Аркачан) объектами. Взаимоотношения и характер связей золото-кварцевых, золото-полисульфидно-кварцевых, золото-сурьмяных объектов являются предметом дискуссии [8, 10, 17, 23–25]. Комплекс геологических исследований, выполненных ОАО «Янгеология» в сотрудничестве с геологами ФГУП ЦНИГРИ, при участии авторов, позволил обосновать геологическое (структурное и вещественное) единство территории рудного района [19] и провести его районирование с выделением рудных полей. В данной статье результаты районирования сопоставляются с данными геохимических исследований руд месторождений и рудопроявлений АРР. Сравнительный анализ состава руд с учетом различных уровней обобщения дает возможность выделить обобщенные геохимические характеристики рудообразующих систем, уточнить некоторые параметры рудообразующих флюидов и высказать предположения о возможных источниках рудного вещества.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В рамках проекта РНФ № 14–17–00170 подготовлена коллекция проб и образцов типичных руд золото-кварцевых месторождений АРР. При выборе характерных образцов учитывались результаты рядо-

Таблица 1. Характеристика отобранных проб.

РП	Объект	Номер пробы	X, ° с.ш.	Y, ° в.д.	Состав
Лазовское	Золотая горка	13/4	136.710	66.610	Серицит-карбонат-кварцевая жила
		19/3	136.748	66.532	Пирит-серицит-карбонатно-кварцевая жила
	Темный	27/2	136.652	66.581	Жильный кварц желтоватый и серый друзовидный
		25/3	136.884	66.539	Жильный кварц серый
	Случайное	25/7	136.884	66.539	Жильный кварц серый
		26/2	136.882	66.538	Пирит-хлорит-кварцевый прожилок. Жильные руды
Сентачанское	Марковская	21	136.689	66.552	Карбонатно-кварцевый прожилок. Жильные руды.
		1/4	136.824	66.490	Халькопирит-пирит-кварцевый прожилок в кварцевой жиле
	2/1	136.824	66.490	Кварцевая жила	
	2/2	136.824	66.490	Кварцевая брекчия по песчаникам	
	Горняк	4/1	136.816	66.493	Халькопирит-пирит-кварцевый прожилок в кварцевой жиле
		4/4	136.816	66.493	Пирит-кварцевый прожилок в жильных рудах
		29/1	136.819	66.492	Хлорит-кварцевый прожилок в жильных рудах
		32	136.818	66.493	Тетраэдрит-галенит-сфалерит-халькопирит-пирит-кварцевый прожилок в кварцевой жиле
	Делювиальное	Делювиальное	AD-16	136.505	66.287
AD-03			136.589	66.270	
14/11.4			136.569	66.275	Арсенопирит-кварцевые вкраплено-прожилковые руды
12/07.3			136.574	66.273	
14/03			136.570	66.275	

вого опробования рудных и безрудных образований и аналитических исследований (пробирный анализ, РФА, минералого-геохимические исследования), проведенных в разные годы предшественниками. Различными методами были изучены 5 образцов из алевролитов и кварцевых прожилков рудного поля Делювиальное, 6 образцов из 5 кварцевых жил рудного поля Лазовское и 8 образцов из жил и прожилков Сентачанского рудного поля (табл. 1).

На предварительном этапе выполнено минералогическое описание образцов руд и проведена стандартная пробоподготовка к аналитическим работам (дробление, истирание и пакетирование материала). Затем в пробах из наиболее типичных слабоизмененных рудовмещающих пород и пробах из рудных прожилков и жильных тел различных генераций в аналитической лаборатории ИГЕМ РАН были определены концентрации породообразующих и примесных элементов. Использованы рентгенофлуоресцентный анализ (аналитик А.И. Якушев) и масс-спектрометрический анализ с ионизацией в индуктивно-связанной плазме (ICP-MS) (аналитик Я.В. Бычкова). Золото в пробах определялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией (аналитик В.А. Сычкова). Методы, приборы, пределы обнаружения и погрешность анализа элементов соответствуют приведенным А.В. Волковым с соавторами

[12]. Для сравнительного анализа использовались опубликованные [6, 20] данные по составу вмещающих пород.

В связи с малым количеством проб и обычным для микроэлементов логнормальным законом распределения [26] в качестве средних значений использованы среднегеометрические значения содержаний элементов.

#### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РУДНОГО РАЙОНА

Рудный район (рис. 1) соответствует тектоническому блоку, сложенному аргиллитами и алевролитами верхнего триаса и ограниченному с запада системой срывов в кровле среднетриасовых алевролитов, а с востока – Чаркы-Индибирским надвигом в подошве юрских алевролитов и песчаников. Внутренняя структура блока определяется тектоническим расчленением по внутриформационным срывам. Чешуи, содержащие Au минерализацию, рассматриваются нами как Делювиальное, Лазовское и Сентачанское рудно-россыпные поля (РП). Пологие срывы определяют уровни внедрения раннемеловых гранитоидов S-типа, распределение даек базальтов, лампрофиров и диоритов, золотоносных жил и зон вкрапленной и прожилковой минерализации. На СЗ и З периферии района (ОАО «Янгеология» (2005–2008)) подтверждено промышленное значение жильных (Соревнование,

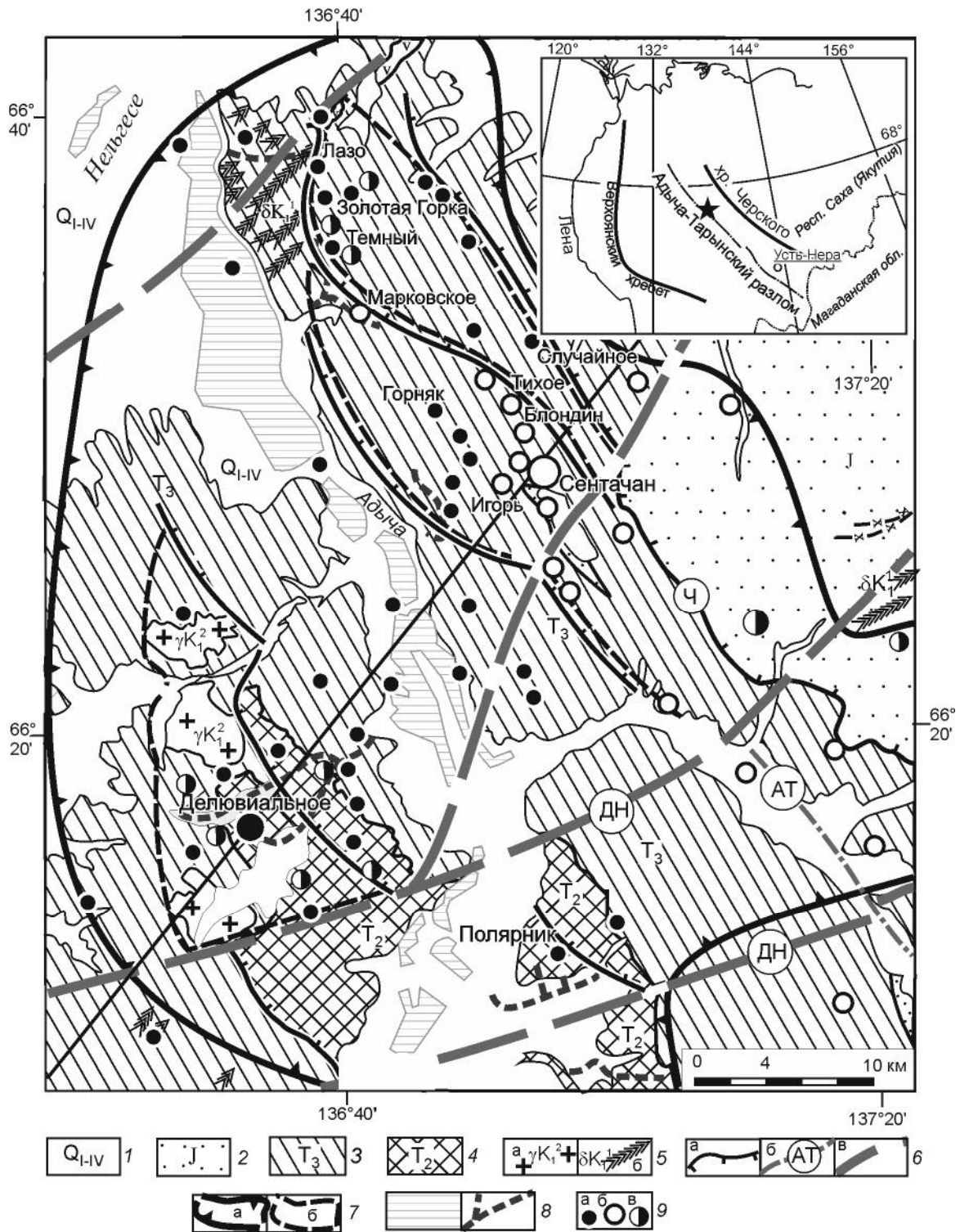


Рис. 1. Геологическое строение Адычанского рудного района (по данным ОАО «Янгеология»).

1 – N-Q отложения; 2 – юрские песчаники, алевролиты и аргиллиты; 3 – верхнетриасовые песчаники и алевролиты; 4 – среднетриасовые алевролиты и аргиллиты с прослоями песчаников; 5 – раннемеловые биотитовые граниты (а), диориты (б); 6 – разрывные нарушения: надвиги Чаркы-Индигорской системы (Ч) и взросы (а), сдвиги Адыча-Тарынской (АТ) системы (б), сдвиги Дербеке-Нельгесинской (ДН) системы (в); 7 – контуры: АРР (а), рудных полей (б); 8 – россыпи золота; 9 – месторождения и рудопроявления: Au-кварцевые (а), Au-Sb (б) и W-Sn и Au-кварцевые (в).

Темный – прогнозные ресурсы Au до 3 т с содержанием 5–15 г/т), штокверковых (Лазо-Рудный – 10 т Au с содержанием около 5 г/т) и вкрапленно-прожилковых (Делювиальное – 167 т Au при содержании 2 г/т) объектов. Au-рудные и мелкие Ag-Pb-Zn и Sn-W объекты приурочены к СВ структурам Дербек-Нельгесинской зоны тектоно-магматической активизации, но контролируются СЗ сдвиговыми крутопадающими нарушениями [19]. Эти объекты являются источниками россыпей, из которых добыто около 60 т золота. Пространственная связь штокверков и массивов гранитоидов указывают на принадлежность таких объектов к золото-полисульфидно-кварцевой формации (тип «inclusion related»). В то же время, приуроченность к сколовым зонам, широкое развитие кварца и малое количество сульфидов позволяют рассматривать их как различные минеральные типы золото-кварцевой формации (тип «orogenic»).

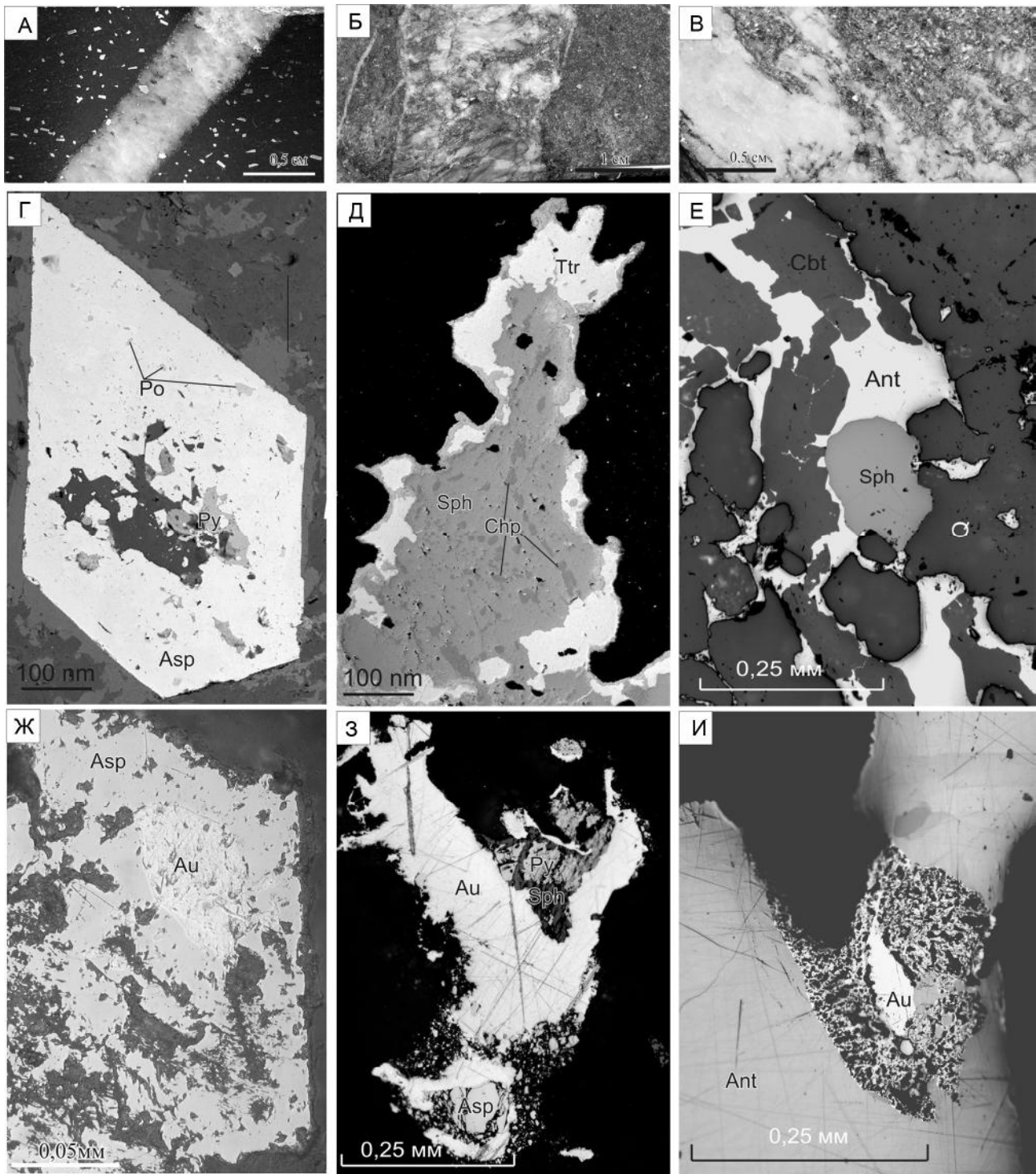
В центральной части района расположено крупное комплексное месторождение Au и Sb Сентачан [10]. Мелкие Sb объекты расположены в СЗ – ССЗ зоне Адыча-Тарынского разлома.

**Делювиальное (Ченкеленьинское) РП** локализуется в тектонической пластине, сложенной песчано-алевролит-аргиллитовой толщей среднего и верхнего триаса. Породы пересечены редкими маломощными дайками основного состава, ориентированными в широтном направлении. Восточная часть пластины перекрыта существенно песчаниковой толщей верхнего триаса по надвиговому нарушению, а западная – прорвана меловыми гранитами. Над залегающими на глубине менее 0.1 км лейкократовыми гранитами развиты кордиерит-биотитовые роговики, турмалин-кварцевые прожилки. При более глубоком залегании кровли (до 1.0 км) алевролиты преобразованы в серицит-хлоритовой субфации контактового метаморфизма. Золотоносные прожилково-вкрапленные тела, 300×1000 м, контролируются СЗ разрывными нарушениями длительного развития взбросовой и сдвиговой кинематики [19]. Потенциальные рудные зоны включают ореолы убогих пирит-арсенопиритовых прожилково-вкрапленных руд (рис. 2 А) и богатые прожилковые тела. Серый мелкозернистый кварц прожилков образован за счет метасоматического замещения осадочных пород [18]. Прожилки чаще всего безрудны, но иногда содержат наложенный арсенопирит (рис. 2 Г), реже пирит, пирротин, галенит, сфалерит, халькопирит, висмутин, вольфрамит и касситерит. Прожилки разделены участками вмещающих пород с вкрапленностью арсенопирита (до 3 %), сформированной как при развитии складчато-надвиговых деформаций до внедрения гранитоидов [19], так и после внедрения, поскольку вкрапленность сульфидов

наблюдались нами в гранитах. Золото (рис. 2 Ж) находится в сростках с кварцем, арсенопиритом, галенитом и вмещающими породами. Самородное золото мелкое, от 0.1 до 0.9 мм, каркасное (цементационное) и пластинчатое. Пробность желтого и светло-желтого золота от 476 до 871 ‰. Вкрапленный арсенопирит с высокой золотоносностью (до 200–600 г/т) пространственно связан с прожилками со свободным золотом.

**Сентачанское РП** сложено моноклинално залегающими верхнетриасовыми флишоидами с преобладанием песчаников. Отмечаются карбонатизированные дайки базальтов. С севера и с востока тектоническая пластина перекрыта верхнетриасовыми и юрскими отложениями по надвигам Чаркы-Индибирской системы, на западе – граница пластины проведена по разрывным нарушениям в правом борту долины р. Адыча. В ЮВ части рудного поля расположен скрытый массив гранитоидов [10]. Во фронтальной части пластины известны рудопроявления жильного типа (Горняк) с золотоносной халькопирит-сфалерит-(тетраэдрит)-галенитовой минерализацией (рис. 2 Д). В тыловой части – расположена рудоносная минерализованная зона смятия и дробления, которая на протяжении более 7 км тяготеет к сорванной литологической границе песчаников и алевролитов, но при этом имеет секущее субвертикальное падение. К этой зоне приурочены кварц-карбонатные жилы с антимонитовой минерализацией (Марковское). Рудные тела месторождения Сентачан контролируются мощными взбросо-сдвигами, падающими к востоку под углами 40–70°. Внутри контуров с убогими рудами зон дробления с пирит-анкерит-кварцевыми прожилками и вкрапленностью пирита и арсенопирита выделены богатые руды кварцевых и кварц-антимонитовых линзовидных тел [17].

**Лазовское РП** соответствует тектонической пластине, сложенной верхнетриасовыми граувакковыми среднезернистыми песчаниками (горизонты мощностью до 20–30 м) и алевролитами. Породы интенсивно деформированы, преобразованы в серицит-хлоритовой фации метаморфизма. По геофизическим данным на глубине от 0.6 до 1.0 км установлен диоритовый массив. Небольшие апофизы этого массива выходят на поверхность в центральной части пластины. Рудные зоны концентрируются на западной (фронтальной) границе пластины и контролируются субмеридиональным надвигом, принадлежащим к Чаркы-Индибирской системе. Надвиг на северном фланге РП трансформируется в правосторонние сдвиги СВ простирации, которые локализуют золото-кварцевый штокверк участка Лазо-Рудный с пирит-арсенопиритовой, галенит-сфалеритовой и сульфоантимонитовой минеральными ассоциациями. На южном фланге на-



**Рис. 2.** Руды Адычанского РР.

А – прожилково-вкрапленные (месторождение Делювиальное); Б, В – жильные: Б – рудопроявление Марковское, В – месторождение Сентачан; Г – монокристаллы арсенопирита (Asp) с вкрапленностью пирротина (Py), пирита (Po), сфалерита и галенита (месторождение Делювиальное, аншлиф ДС-47-9, СЭМ), Д – сростания халькопирита (Chp) и сфалерита (Sph) с каймой тетраэдрита (Ttr) (рудопроявление Горняк, монтированный шлиф S-32-2, СЭМ); Е – антимонит (Ant) замещает карбонат (Cbt) и обрастает сфалерит (Sph) (рудопроявление Игорь, аншлиф 507096); Ж – монокристаллы вкрапленного арсенопирита (Asp), замещаемые золотом (Au) (месторождение Делювиальное, монтированный шлиф НД-26,5); З – развитие золота по сульфидным минеральным агрегатам, вкрапленным во вмещающих породах (рудопроявление Игорь, монтированный шлиф); И – губчатое самородное золото в сростках с кварцем (Q) в антимоните (месторождение Сентачан, участок Блондин, аншлиф).

двиг трансформируется в левосторонние сдвиги СЗ простирания с жилами и прожилково-вкрапленными ореолами пирит-халькопирит-пирротиновой с висмутином ассоциации (месторождение Темный и рудопроявление Золотая Горка). В тылу надвиговой пластины локализуются маломощные кварцевые жилы с убогой сульфидной минерализацией рудопроявления Случайное.

На объектах Сентачанского и Лазовского РП выявлены жилы протяженностью до сотни метров и мощностью до 1 метра, сложенные молочно-белым кварцем с анкеритом и маломощные жилы и прожилки с параллельно-шестоватыми агрегатами кварца в сростании с доломитом, кальцитом или хлоритом (рис. 2 Б). Прожилки с продуктивными минеральными ассоциациями и хрусталевидный регенерированный кварц пересекают жильный кварц и телескопируют ранние прожилки (рис. 2 В), а антимонит замещает карбонат и корродирует сфалерит (рис. 2 Е). Самородное золото находится в сростании с халькопиритом, минералами висмута и антимонитом (рис. 2 З, 2 И). В протолочных пробах преобладают пластинчатые и объемные изометричные или удлиненные кристаллы золота размером от 0.02 до 3.2 мм. Поверхность частиц самородного золота пористая, часто покрыта «рубашками» гидроксидов железа и углистого вещества [21]. Пробность золота от 845 до 992 %, средняя – 883. В составе примесей постоянно присутствуют Cu, Te, Hg, Bi, S, Sb, редко – As, Pb.

#### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД И РУД

Результаты исследования химического состава руд и концентраций в них рудных и редкоземельных (РЗЭ) элементов для месторождений и рудопроявлений Адычанского, рудного района приведены в (табл. 2, 3) и на рис. 3.

Содержания главных оксидов в рудах нормированы на среднее содержание в алевролитах среднего триаса и расположены в порядке убывания отношения максимального среднего содержания в жилах к содержанию в алевролитах (рис. 3 А). Содержания  $S_{\text{общ}}$ , CaO, MnO и MgO сильно варьируют, в зависимости от количества карбонатов и сульфидов в отобранных пробах. В прожилках рудопроявлений Лазовского РП повышено содержание  $P_2O_5$ . Содержания остальных

*Примечание к таблице 2.* Жилы кварцевого и кварц-карбонатного состава: 13/4, S-19/3, S-27/2, S-25/3, S-25/7, S-26/2; S-21; S-1/4, S-2/1, S-2/2, S-4/1, S-4/4, S-29/3, S-32; вкраплено-прожилковые руды: AD-14/11.4, AD-12/07.3, AD-14/03. Алевролиты среднего триаса ( $T_2$ ). Данные для сравнения: алевролит верхнего триаса ( $T_3$ ) – Жданное (Жданинский РП).

Таблица 2. Химический состав руд Адычанского РП (главные компоненты, %, РФА).

Номер пробы	Лазовское РП				Сентачанское РП							Делювиальное РП				Жданное				
	Золотая Горка		Темный	Случайное	Марковская	Горняк						Делювиальное								
	13/4	19/3				27/2	25/3	25/7	26/2	1/4	2/1	2/2	4/1	4/4	29/3		32	14/11.4	12/07.3	14/03
$Na_2O$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.19	0.05	0.05	0.05	0.11	0.05	0.79	1.57	0.83	1.91	1.70
MgO	0.27	0.42	0.24	0.13	0.05	0.16	0.10	0.10	0.10	0.36	0.10	0.05	0.05	0.22	0.05	0.66	1.45	0.78	1.92	2.32
$Al_2O_3$	0.05	1.34	0.34	0.79	0.28	1.05	0.52	1.01	0.40	4.13	0.95	0.28	0.28	2.91	0.62	6.08	13.94	6.52	17.70	17.38
$SiO_2$	97.28	95.22	95.10	97.64	98.01	95.63	81.56	97.39	98.65	92.11	97.87	98.57	94.13	98.26	78.32	68.77	82.78	58.92	60.05	60.05
$K_2O$	0.03	0.18	0.05	0.08	0.06	0.13	0.07	0.18	0.08	0.68	0.17	0.04	0.51	0.11	0.77	2.21	0.85	3.07	2.70	2.70
CaO	0.83	0.96	1.64	0.05	0.05	0.60	9.71	0.05	0.05	0.65	0.05	0.05	0.75	0.05	0.40	0.65	0.49	0.73	1.05	1.05
$TiO_2$	0.02	0.09	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.02	0.19	0.04	0.01	0.11	0.02	0.30	0.57	0.31	0.93	1.02	1.02
MnO	0.06	0.03	0.12	0.01	0.02	0.21	0.09	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.03	0.01	0.03	0.05	0.03	0.07	0.09	0.09
$Fe_2O_3$	1.45	1.56	1.99	1.20	1.47	1.91	4.72	0.96	0.66	1.57	0.73	1.02	1.17	0.72	4.86	6.08	3.27	7.90	7.62	7.62
$P_2O_5$	0.02	0.10	0.26	0.06	0.05	0.09	0.07	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.09	0.14	0.08	0.14	0.24
S общ.	0.03	0.10	0.23	0.06	0.03	0.03	0.01	0.14	0.05	0.05	0.08	0.02	0.02	0.02	0.07	0.57	0.10	0.19	0.04	0.26

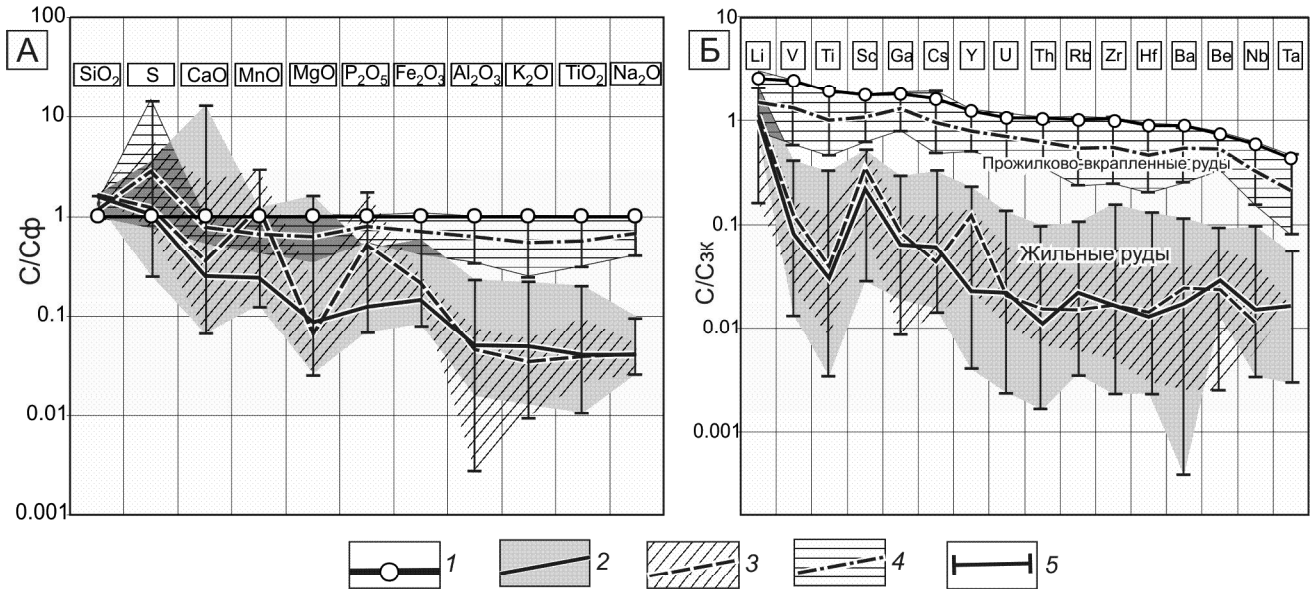


Рис. 3. Распределение во вмещающих породах и рудах.

А – главных компонентов (нормировано по среднему составу алевролитов триаса); Б – микроэлементов первой группы (нормирование по среднему составу земной коры [28]).

1 – алевролиты среднего триаса; 2–3 – жильные руды: 2 – Сентачанского РП, 3 – Лазовского РП; 4 – прожилково-вкрапленные руды (затенен интервал пересекающихся значений для Сентачанского и Делювиального РП); 5 – интервалы содержаний.

компонентов закономерно снижаются от алевролитов и прожилковых руд на месторождении Делювиальное к жилам рудопроявления Горняк. Существенный дефицит в жильных рудах относительно прожилковых характерен для  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $TiO_2$  и  $K_2O$ .

**Микроэлементы и РЗЭ** активно реагируют на окислительно-восстановительную среду природных обстановок, что позволяет использовать их в качестве геохимических индикаторов источников вещества и условий рудообразования. Результаты определения концентраций малых элементов представлены в табл. 3.

В качестве фоновых ( $C_\phi$ ) принято среднегеометрическое содержание в двух пробах из алевролитов среднего триаса. Для алевролитов характерны околокларковые содержания Be-Mn-Co-Rb-Y-Zr-Cs-Ba-Hf-Pb-Bi-Th-U-Cu. Незначительно (1.5–2.5 кларка) повышены Sc-Ti-V-Cr-Ni-Zn-Ga-Cd-W, а понижены – Sr-Nb-Ta-Mo. Существенно (> 3 кларков) повышены – As-Ag-In-Au и понижены – Se-Sn-Sb-Te-Tl. Явно завышенные или заниженные, в сравнении с кларком и в сравнении с составами триасовых алевролитов в пределах других рудных районов ВКСС, содержания Cr, Ni, Zn, As, Sn заменены на их значения в алевролитах верхнего триаса (по Жданинскому РП). Для построения и интерпретации графиков, отражающих характер распределения микроэлементов между вмеща-

ющими породами и прожилковыми и жильными рудами, содержания нормированы по среднему составу земной коры (ЗК) [28] и разделены на две группы по значению отношений максимального (из изученных рудных объектов) среднего содержания в руде ( $C_{max_o}$ ) к фоновому содержанию ( $C_\phi$ ). К первой группе отнесены элементы с  $C_{max_o}/C_\phi$  меньше единицы (рис. 3 Б), а ко второй – больше единицы (рис. 4). Элементы первой группы расположены на графике в порядке убывания отношения  $C_{max_o}/C_\phi$ .

Прожилковые руды по содержанию микроэлементов первой группы практически не отличаются от вмещающих пород. В жилах – понижены содержания: Li, Be, Rb, (Sr), Cs, Ba, Ti, V, Mn, Sc, Y, Zr, Nb, Hf, Ta, Th, U, Ga и РЗЭ. Разрыв в содержаниях элементов может отражать низкую миграционную способность компонентов во флюиде. В отличие от алевролитов и прожилковых руд в жилах содержание V снижается, а Be, Y, U, Rb, Ta повышается относительно соседних элементов. Небольшие отличия между жильными образованиями Лазовского и Сентачанского РП могут быть связаны с окислительно-восстановительными параметрами флюидов и с их составом (например, повышенное количество фосфора в жильных образованиях Лазовского РП увязывается с повышением содержания Y). Сходство характера распределения этих элементов в породах и рудных образованиях может



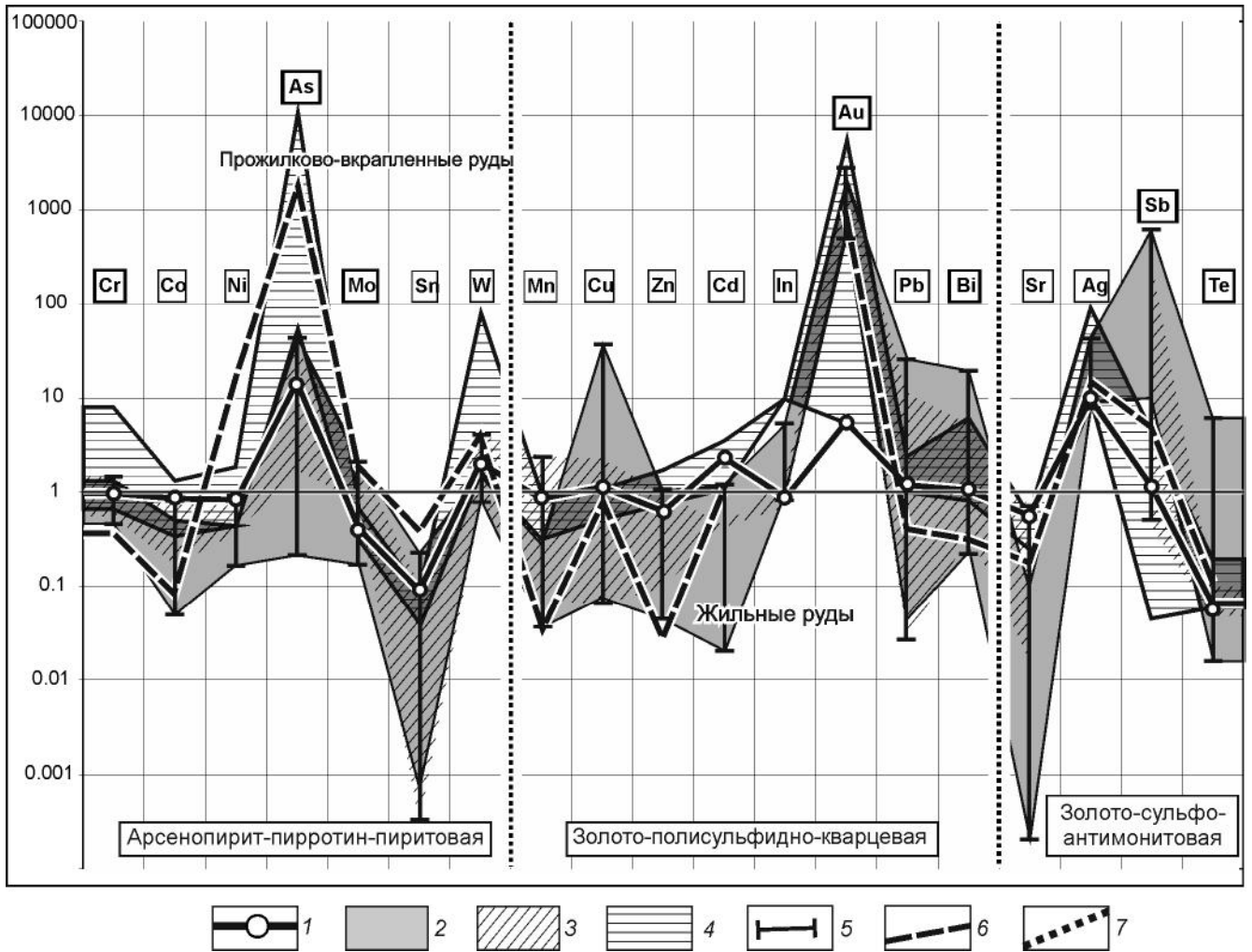
Таблица 3. Содержание микроэлементов (ppm, ICP MS) и характерные соотношения в жильных и прожилковых рудах Адычанского РР.

	ЛАЗОВСКОЕ РП				СЕНТАЧАНСКОЕ РП								ДЕЛЮВИАЛЬНОЕ РП						
	ЗОЛОТАЯ ГОРКА	ТЕМ-НЫЙ	СЛУЧАЙНОЕ		МАРКОВСКАЯ	ГОРНЯК								ДЕЛЮВИАЛЬНОЕ					
			25/3	25/7		26/2	1/4	2/1	2/2	4/1	4/4	29/3	32	14/11.4	12/07.3	14/03	T <sub>2</sub> (2)	T <sub>3</sub>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	18	19	20	21	22
<b>Группа I (концентрация в жилах и рудах меньше, чем в породах)</b>																			
Li	5.59	7.24	3.27	29.82	9.13	17.20	18.43	18.10	20.90	23.68	17.05	42.0	17.81	14.13	15.38	33.97	16.97	50.74	7.97
Be	0.01	0.18	0.02	0.03	0.06	0.10	0.05	<ПО	<ПО	0.28	0.05	0.10	0.24	0.04	0.98	1.87	1.13	2.20	1.10
Sc	6.28	2.69	1.36	1.11	1.14	5.74	5.78	<ПО	0.31	3.54	3.25	1.77	4.37	3.00	6.78	11.34	7.97	19.46	8.45
Ti	24.56	385	32.07	73.28	88.53	150.9	67.20	109	42.32	971	142.9	10.32	537	19.2	1374	3367	1592	5704	1774
V	2.04	9.86	2.17	4.51	1.54	9.94	10.58	4.07	0.92	24.68	8.39	0.80	17.06	2.73	35.64	83.03	47.60	146.7	37.34
Mn	377	187	863	43	74	1435	560	27	24	150	22	43	164	26	197	345	185.5	526.5	2860
Ga	0.15	1.96	0.82	2.08	0.52	1.35	0.68	0.56	0.69	5.01	1.40	0.32	4.32	0.78	13.56	24.91	17.17	30.2	21.51
Ge	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	2.41	2.37	2.07	2.59	2.59
Rb	0.71	3.33	0.94	1.14	0.67	2.39	1.13	3.04	<ПО	11.41	1.24	<ПО	11.77	0.4	26.3	71	32.9	114.7	39.19
Sr	11.95	45	135.13	5.75	6.98	21.51	244.8	0.07	<ПО	33.79	6.39	0.81	21.25	3.50	84.18	138.9	96.93	195.4	584.5
Y	1.45	2.46	3.03	0.51	0.53	3.09	5.08	0.28	0.09	2.34	0.35	0.09	1.85	0.22	12.02	16.67	11.10	26.77	11.97
Zr	0.94	11.2	1.90	2.11	2.30	4.11	1.76	3.11	1.62	30.14	4.45	0.44	16.03	1.17	47.3	123	58.3	195.5	78.09
Cs	0.17	0.46	0.19	0.09	0.05	0.25	0.09	0.24	0.09	1.20	0.33	0.06	0.70	0.24	1.77	3.56	2.43	5.99	2.41
Ba	1.41	19.8	11.22	7.84	5.81	19.05	9.22	0.21	20.8	64.07	17.66	2.88	55.12	9.20	138.6	376.9	195.2	488.8	282
Hf	0.02	0.29	0.03	0.06	0.06	0.10	0.06	0.02	<ПО	0.77	0.10	0.01	0.40	0.02	1.17	3.09	1.47	5.19	1.88
Nb	0.20	1.08	0.15	0.19	0.23	0.36	0.16	<ПО	<ПО	2.43	0.43	0.08	1.36	0.14	3.85	8.68	4.81	0.95	4.77
Ta	<ПО	0.04	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	0.12	0.01	<ПО	0.06	<ПО	0.18	0.56	0.25	14.77	0.68
Tl	<ПО	0.01	<ПО	<ПО	<ПО	0.01	0.002	0.04	<ПО	0.06	0.02	<ПО	0.05	0.003	-	-	-	-	-
Th	0.07	0.59	0.15	0.09	0.16	0.19	0.13	0.05	<ПО	1.05	0.11	0.02	0.74	0.04	3.80	7.01	3.79	11.27	3.47
U	0.03	0.13	0.17	0.04	0.04	0.07	0.03	0.06	<ПО	0.37	0.08	0.01	0.22	0.04	1.15	1.95	1.46	2.95	1.05

Таблица 3. (Окончание).

	ЛАЗОВСКОЕ РП				СЕНТАЧАНСКОЕ РП								ДЕЛЮВИАЛЬНОЕ РП				ЖДАНОЕ				
	ЗОЛОТАЯ ГОРКА		ТЕМ-НЬИЙ		СЛУЧАЙНОЕ		МАРКОВСКАЯ		ГОРНЯК									ДЕЛЮВИАЛЬНОЕ			
	13/4	19/3	27/2	25/3	25/7	26/2	21	1/4	2/1	2/2	4/1	4/4	29/3	32	14/11.4	12/07.3		14/03	T <sub>2</sub> (2)	T <sub>3</sub>	
<b>Группа II (концентрация в жилах и рудах и больше и меньше, чем в породах)</b>																					
Cr	19.8	50.1	29.83	24.7	19.03	21.25	26.69	32.04	16.07	46.18	37.70	19.97	31.42	44.5	23.57	274.6	30.86	101.4	<b>33.56</b>		
Co	3.6	2.93	5.21	1.70	2.28	8.38	4.30	0.61	0.51	2.74	0.57	0.96	5.00	0.92	4.56	6.30	3.41	<b>8.84</b>	109.5		
Ni	9.9	7.46	11.36	7.74	7.20	18.45	14.11	4.43	3.73	8.36	3.34	6.45	8.72	4.06	8.85	22.36	8.33	27.91	<b>17.12</b>		
Zn	20.8	14.3	8.15	<ПО	6.76	71.8	18.49	3.12	<ПО	7.58	34.96	21.74	23.04	72.83	51.82	91.44	61.53	118.6	<b>44.66</b>		
As	25.19	15.2	50.22	18.78	14.29	4.26	2.57	0.55	0.32	60.09	28.14	13.6	63.3	11.2	158.78	202	385.3	225.6	<b>21.30</b>		
Mo	1.63	3.25	2.13	1.53	1.20	1.48	2.13	1.86	0.25	1.45	2.45	1.58	1.73	3.13	0.72	0.98	0.57	<b>0.59</b>	1.18		
Ag	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	1.49	0.45	<ПО	0.77	<ПО	<ПО	2.14	1.23	4.49	3.50	<b>0.50</b>	0.56		
Cd	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	0.04	<ПО	<ПО	<ПО	0.02	<ПО	<ПО	0.05	0.11	0.12	0.29	0.11	<b>0.23</b>	0.30		
In	0.06	0.04	0.06	0.07	0.05	0.06	0.04	<ПО	<ПО	0.26	0.05	0.13	0.05	0.11	<ПО	<ПО	<ПО	<b>0.50</b>	0.04		
Sn	0.20	0.24	0.52	<ПО	0.06	0.01	0.31	<ПО	<ПО	0.46	0.09	0.14	1.21	0.15	<ПО	0.48	0.21	<b>0.48</b>	0.23		
Sb	2.43	3.70	1.42	0.09	47.42	53.67	1.70	<ПО	<ПО	2.02	12.66	54.31	6.68	119	0.06	0.91	<ПО	<b>0.01</b>	0.13		
Te	<ПО	<ПО	0.17	<ПО	0.11	<ПО	<ПО	14.68	6.79	<ПО	0.04	<ПО	<ПО	0.04	0.46	0.26	0.32	<b>0.15</b>	0.13		
W	1.57	2.13	8.12	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	2.98	<ПО	<ПО	1.66	<ПО	158.9	3.64	44.91	<b>4.09</b>	4.61		
Pb	0.58	0.96	0.52	1.98	225.6	89.02	3.45	504.8	<ПО	2.23	472.9	1.14	0.86	512.8	36.78	29.29	47.30	<b>24.48</b>	17.83		
Bi	0.34	0.06	0.64	0.05	0.43	0.29	<ПО	1.12	0.04	0.03	1.41	0.05	0.38	2.45	0.77	0.26	0.52	<b>0.14</b>	0.04		
Au	5.49	1.09	1.17	3.54	1.24	1.03	1.41	3.11	1.08	3.47	1.39	1.50	1.95	2.30	1.76	9.92	5.80	<b>0.08</b>	1.21		
Cu	4.29	4.79	9.35	5.12	57.29	55.37	1.64	43.06	5.36	1.89	46.34	166	12.04	907	18.61	23.20	12.92	<b>27.45</b>	7.50		
<b>Индикаторные отношения микроэлементов</b>																					
Cu/Mo	2.6	1.5	4	48	38	1	3	23	22	1.3	19	105	7	290	26	24	23	47	6		
Zr/Hf	53	39	64	38	41	28	35	142	39	39	44	32	40	49	40	40	40	38	42		
Y/Ho	28.70	26.34	39.79	25.14	28.77	29.7	34.36	34.5	21.6	20.9	21.1	25.4	49.6	22.9	23.1	23.3	23.4	26.0	26.0		
Pb/Nd	1.44	0.45	0.27	167	26	3	2.8	1187	0.52	825	10	0.27	2473	1.18	1.05	2.04	0.62	1.03	1.03		
U/Th	0.42	0.23	1.14	0.22	0.38	0.27	0.48	1.27	0.35	0.76	0.38	0.29	0.98	0.30	0.28	0.39	0.26	0.30	0.30		
Co/Ni	0.37	0.39	0.46	0.32	0.45	0.30	0.22	0.14	0.14	0.33	0.17	0.15	0.57	0.23	0.52	0.28	0.41	0.32	6.39		
Hf/Sm	0.14	0.42	0.08	0.21	0.09	0.09	0.19	0.22	1.03	0.90	0.76	0.59	0.36	0.23	0.63	0.36	0.73	0.56	0.56		
Nb/La	0.83	0.67	0.09	0.13	0.16	0.51	0.57	0.50	0.74	0.68	0.38	0.65	0.11	0.30	0.21	0.38	0.28	0.28	0.28		
Th/La	0.30	0.36	0.09	0.09	0.08	0.40	0.28	0.11	0.22	0.19	0.14	0.21	0.18	0.10	0.24	0.16	0.29	0.20	0.20		

Примечание. ПО: Be < 0.0001; Sc < 0.099; Rb < 0.027; Nb < 0.003; Cd < 0.001; Tb < 0.0001; Ho < 0.0002; Er < 0.0001; Tm < 0.0001; Yb < 0.0001; Lu < 0.0001; Hf < 0.0003; Ta < 0.001; Bi < 0.0004; Th < 0.002; U < 0.001. Выделены значения содержаний в аллолитах, использованные как фоновые.



**Рис. 4.** Распределение рудных элементов (группа 2) во вмещающих породах, жильных и прожилковых рудах (нормирование по среднему составу земной коры [28]).

1–5 – см. рис. 3; 6 – прожилковые руды месторождения Наталка (по [12]); 7 – границы между продуктивными минеральными ассоциациями.

указывать на установившееся равновесие флюидов и вмещающих пород по этим компонентам.

Элементы второй группы (рис. 4) разделены на три подгруппы в соответствии с предполагаемой последовательностью образования минеральных ассоциаций и расположены на графике в соответствии с атомным весом. Общими элементами АРР, проявленными и в прожилковых, и в жильных рудах различных объектов хотя бы в одной пробе в количествах выше, чем в алевролитах, являются Mo, Au, Bi и Sb. Во вмещающих породах содержания этих элементов могут быть ниже кларковых (Mo и Sb), незначительно превосходить их (Bi) или быть аномально высокими и во вмещающих породах, и в жильном веществе (Au), что свидетельствует в пользу независимости их источников в алевролитах и в рудах. Содержания Cr,

As, Pb и Te повышены в рудах всех рудных полей, но на некоторых объектах не установлено руд с содержанием, превышающим среднее в алевролитах. В рудах Делювиального РП повышены содержания Co-Ni-W-Zn-Cd-Ag; в рудах Лазовского РП – Co-Ni-W-In-Mn-Cu-Sr, а в рудах Сентачанского РП – Sn-Se-Tl-In-Mn-Cu-Zn-Cd-Sr-Ag.

Во всех типах проанализированных руд содержания Au, Sb и Tl выше, чем во вмещающих породах. В прожилковых рудах содержания Mo, Bi, Te и Pb выше, Cr, Ni, Co, As, W и Cd и выше и ниже, а Cu и Zn ниже, чем в алевролитах. В жилах содержания Mo, Bi, Te, Pb, (Se), Cu и выше и ниже, а Cr, Ni, Co, As, W, Cd ниже, чем во вмещающих породах. Содержания Mn, Sr, Zn в жилах превышают содержание в алевролитах в единичных случаях.

Отношение  $Cu/Mo$  варьирует в широких пределах. Минимальные соотношения  $Cu/Mo$  характерны для жилы Марковская (0.8), а максимальные – для жил рудопроявления Горняк (290). Среднегеометрические отношения находятся в узких пределах и меняются от 6.8 в жилах рудопроявлений Лазовского РП до 22–24 в жилах рудопроявления Горняк и в прожилках месторождения Делювиальное (табл. 3). Оба значения близки к среднему значению  $Cu/Mo$  отношения для медно-молибден-порфировых руд, равному 17, и отличаются от такового типичных медно-порфировых руд (78) (рассчитано по данным [38]).

**Редкоземельные элементы.** В незначительно измененных алевролитах среднего триаса содержания РЗЭ от 185.22 до 192.93 г/т, что несколько выше кларковых содержаний РЗЭ в глинистых сланцах и алевролитах (160–180 ppm, по [28]) и существенно выше, чем суммарное количество РЗЭ в средне-верхненорийских и юрских алевролитах Тарынского синклиория (76.6–155.8). По общему характеру распределения РЗЭ в осадочных породах Адычанский РР не отличаются от таковых Верхояно-Колымского региона [20] и земной коры в целом [28]. Отношение  $La_n/Yb_n = 7.8$ , что свидетельствует о преобладании кислых пород в областях питания сноса [35].  $Eu/Eu^*$  составляет 0.77, что выше, чем в фанерозойских породах (0.65), и может указывать на некоторое количество плагиоклаза (вулканогенный материал) в алевролитах. В общем, значения  $Eu/Eu^*$  и  $Ce/Ce^*$  аномалий свидетельствуют в пользу слабокислых окислительных обстановок в бассейне осадконакопления, а характер распределения РЗЭ указывает на архей-протерозойские выступы основания Сибирской платформы как на основные источники осадочного материала.

В кварцевых прожилках замещения на месторождении Делювиальное суммарная концентрация лантаноидов меняется от 110.09 до 152.65 г/т. В жильных образованиях АРР наблюдаются наибольшие вариации содержаний всех РЗЭ, а также их суммарной концентрации,  $\Sigma РЗЭ = 0.3$  до 23.35 г/т (табл. 4). Заметим, что даже суммирование максимальных содержаний РЗЭ в прожилках и в жилах не обеспечивает уровня содержаний этих элементов в осадочных породах, то есть РЗЭ относятся к выделенной нами первой группе элементов. Суммарное содержание РЗЭ связано прямой линейной зависимостью с количеством  $Al_2O_3$ . Согласно представлениям [39], это указывает на то, что РЗЭ образуют собственные минеральные формы. По аналогии с нашими данными по месторождению Жданное [6], можно предполагать, что это рабдофанит (алланит) и монацит.

Рудам, так же как и вмещающим породам, свойственен отрицательный тип распределения концент-

раций РЗЭ (рис. 5), в частности, выраженный величиной ( $La_n/Yb_n$ ). Повышение этого соотношения, в сравнении с вмещающими породами, характерно для руд месторождения Делювиальное (9.5–22.2) и жил рудопроявлений Горняк (8.6–21.3) и Случайное (8.8–55.5). Уменьшение соотношения (5.7–1.6) наблюдается для руд рудопроявления Золотая Горка, а аномально низкое его значение (0.6) – для прожилков рудопроявления Марковское.

Расчетные аномалии европия ( $Eu/Eu^*$ ) и церия ( $Ce/Ce^*$ ) рассматриваются [9, 16] как маркеры окислительно-восстановительного потенциала среды рудообразования. По мнению Бортникова с соавторами [9], высокие отношения  $Eu/Eu^*$  в рудах отвечают низким отношениям  $Eu^{3+}/Eu^{2+}$  во флюиде, что указывает на восстановленный и относительно высокотемпературный характер флюида. Значения  $Eu/Eu^*$  и  $Ce/Ce^*$  в прожилковых рудах Делювиального (0.76 и 0.93) почти неотличимы от определенных в алевролитах среднего триаса. В жилах – значение  $Eu/Eu^*$  варьирует (табл. 4), а  $Ce/Ce^*$  близко к единице. Относительно хондрита слабые отрицательные аномалии  $Eu$  характеризуют и вмещающие породы, и руды месторождения Делювиальное, интенсивные отрицательные – массивный кварц рудопроявления Горняк, положительные – кварцевые жилы и прожилки рудопроявлений Лазовского РП и рудопроявления Марковское (рис. 5). Относительно вмещающих пород все прожилковые и жильные образования (за исключением рудопроявления Горняк) характеризуются положительными аномалиями  $Eu$ . Распределение РЗЭ при нормировании на средний состав земной коры (рис. 6) сходно с тем, которое рассмотрено М. Вау [36] для случая перераспределения РЗЭ за счет сорбции при взаимодействии порода-флюид. Изменчивое поведение европия может отражать большую подвижность  $Eu^{2+}$  относительно  $РЗЭ^{3+}$  при высоких температурах, отвечающих условиям генерации растворов при метаморфизме. Отсутствие изменений в распределении  $Ce$  не противоречит предположению о восстановительном характере раствора, одинаково взаимодействовавшего со всеми  $РЗЭ^{3+}$ , кроме  $Eu$  [36, 44].

**Индикаторные соотношения.** На основании полученной картины распределения микроэлементов с учетом необходимости сравнения данных использованы известные [13] и другие геохимические показатели:  $Hf/Zr$ ,  $Y/No$ ,  $U/Th$ ,  $Co/Ni$ ,  $\Sigma LREE/\Sigma HREE$ ,  $Hf/Sm$ ,  $Nb/La$ ,  $Th/La$ ,  $La_n/Sm_n$ ,  $Gd_n/Yb_n$  (табл. 3, 4). Эти соотношения указывают на некоторые физико-химические особенности рудообразующих флюидов.

Условия фракционирования в парах  $Zr - Hf$  и  $Y - No$  (геохимические пары с одинаковым (+3) заря-

Таблица 4. Содержание (ppm, ICP MS) и индикаторные отношения редкоземельных элементов в рудных образованиях Адычанского РР.

УЧАСТОК	ЛАЗОВСКОЕ РП				СЕНТАЧАНСКОЕ РП				ДЕЛЮВИАЛЬНОЕ РП				ЖДАНОЕ						
	ЗОЛОТАЯ ГОРКА	ТЕМ-НЫЙ	СЛУЧАЙНОЕ	МАРКОВ-СКАЯ	1/4	2/1	2/2	4/1	4/4	29/3	32	14/11		12/07.3	14/03	T <sub>2</sub> (2)	T <sub>3</sub>		
Номер	13/4	19/3	27/2	25/3	25/7	26/2	21	1/4	2/1	2/2	4/1	4/4	29/3	32	14/11	12/07.3	14/03	T <sub>2</sub> (2)	T <sub>3</sub>
La	0.24	1.62	1.69	0.34	1.78	2.31	0.32	0.44	0.06	4.88	0.59	0.12	3.56	0.22	36.62	29.00	23.33	38.47	17.29
Ce	0.57	3.55	3.66	0.88	3.31	5.49	0.89	1.06	0.17	10.03	1.28	0.26	7.37	0.43	61.56	52.73	44.05	73.66	32.45
Pr	0.08	0.45	0.47	0.13	0.36	0.73	0.15	0.11	<ПО	1.17	0.15	0.03	0.86	0.05	7.25	6.37	5.41	9.07	4.01
Nd	0.40	2.13	1.95	0.70	1.35	3.47	1.02	0.43	0.01	4.32	0.57	0.12	3.24	0.21	31.10	27.90	23.21	39.19	17.28
Sm	0.13	0.68	0.39	0.32	0.29	1.09	0.71	0.10	0.01	0.74	0.11	0.02	0.68	0.07	5.04	4.88	4.06	7.06	3.38
Eu	0.06	0.34	0.16	0.08	0.09	0.63	0.51	<ПО	0.00	0.18	0.03	0.00	0.16	0.01	0.88	1.09	0.84	1.47	0.89
Gd	0.16	0.65	0.48	0.26	0.27	1.12	0.98	0.05	<ПО	0.69	0.07	0.01	0.55	0.05	3.54	3.79	3.04	5.37	2.75
Tb	0.04	0.11	0.07	0.03	0.03	0.16	0.18	<ПО	<ПО	0.09	0.01	0.00	0.06	0.01	0.55	0.61	0.46	0.87	0.41
Dy	0.21	0.56	0.38	0.16	0.17	0.72	1.03	0.04	0.02	0.46	0.06	0.02	0.32	0.04	2.86	3.54	2.40	5.28	2.39
Ho	0.05	0.09	0.08	0.01	0.02	0.11	0.17	0.01	<ПО	0.11	0.02	0.004	0.07	0.004	0.52	0.72	0.48	1.14	0.46
Er	0.09	0.23	0.17	0.03	0.02	0.24	0.42	0.04	0.02	0.27	0.02	<ПО	0.15	<ПО	1.23	1.92	1.18	3.05	1.18
Tm	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.04	0.06	<ПО	<ПО	0.05	0.01	0.002	0.03	0.003	0.18	0.31	0.20	0.51	0.20
Yb	0.10	0.19	0.11	0.02	0.02	0.18	0.35	0.02	0.00	0.32	0.04	<ПО	0.19	0.01	1.12	2.07	1.24	3.37	1.22
Lu	0.02	0.03	0.02	0.005	0.01	0.03	0.05	0.01	<ПО	0.05	0.01	0.002	0.04	0.004	0.16	0.31	0.19	0.49	0.17
Индикаторные отношения редкоземельных элементов																			
∑REE	2.17	10.66	9.66	7.73	16.32	6.83	2.98	2.30	0.30	23.35	2.96	0.58	17.27	1.08	152.6	135.2	110.1	189.0	84.1
∑CeREE	1.48	8.77	8.33	7.19	13.72	3.59	2.45	2.14	0.25	21.31	2.73	0.54	15.86	0.97	142.4	122.0	100.9	168.9	75.3
∑YREE	0.69	1.89	1.34	0.55	2.60	3.25	0.53	0.16	0.05	2.04	0.23	0.04	1.41	0.11	10.2	13.3	9.2	20.1	8.8
∑LREE	2.13	4.63	6.22	13.12	5.28	1.11	4.60	13.11	4.78	10.46	12.10	13.42	11.24	8.74	14.01	9.19	10.99	8.41	8.57
∑HREE	1.29	1.65	1.17	1.06	1.84	1.96	0.92	0.80	1.01	0.26	0.86	0.54	0.68	0.82	0.78	0.77	0.77	0.77	0.95
Eu/Eu*	1.00	1.01	0.99	1.00	1.02	1.00	1.02	1.19	1.02	1.04	1.10	1.02	1.05	0.91	0.94	0.95	0.95	0.95	0.94
La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	1.57	5.71	10.38	55.49	8.84	0.61	10.91	13.43	8.65	10.47	11.23	13.03	21.26	22.22	9.50	12.75	7.76	7.76	9.61
La <sub>N</sub> /Sm <sub>N</sub>	1.19	1.49	2.69	3.84	1.32	0.28	0.65	2.72	7.05	4.10	3.29	4.35	3.29	2.05	4.53	3.71	3.59	3.40	3.19
Gd <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	1.27	2.73	3.50	10.09	5.11	2.25	10.24	1.85	1.76	1.65	2.39	5.88	2.56	1.48	1.98	1.29	1.29	1.29	1.82

Примечание. ПО: Tb < 0.0001; Ho < 0.0002; Er < 0.0001; Tm < 0.0001; Yb < 0.0001; Lu < 0.0001; Hf < 0.0001; Eu/Eu\* = EuN/(SmNxDn) <sup>1/2</sup>; Ce/Ce\* = CeN/(LaNxDn) <sup>1/2</sup>.

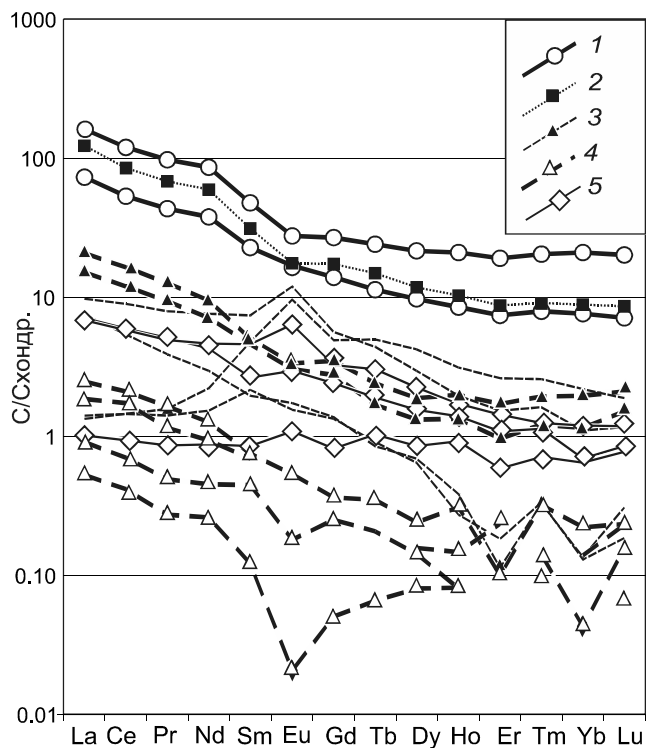


Рис. 5. Спектры РЗЭ в рудах Адычанского РР.

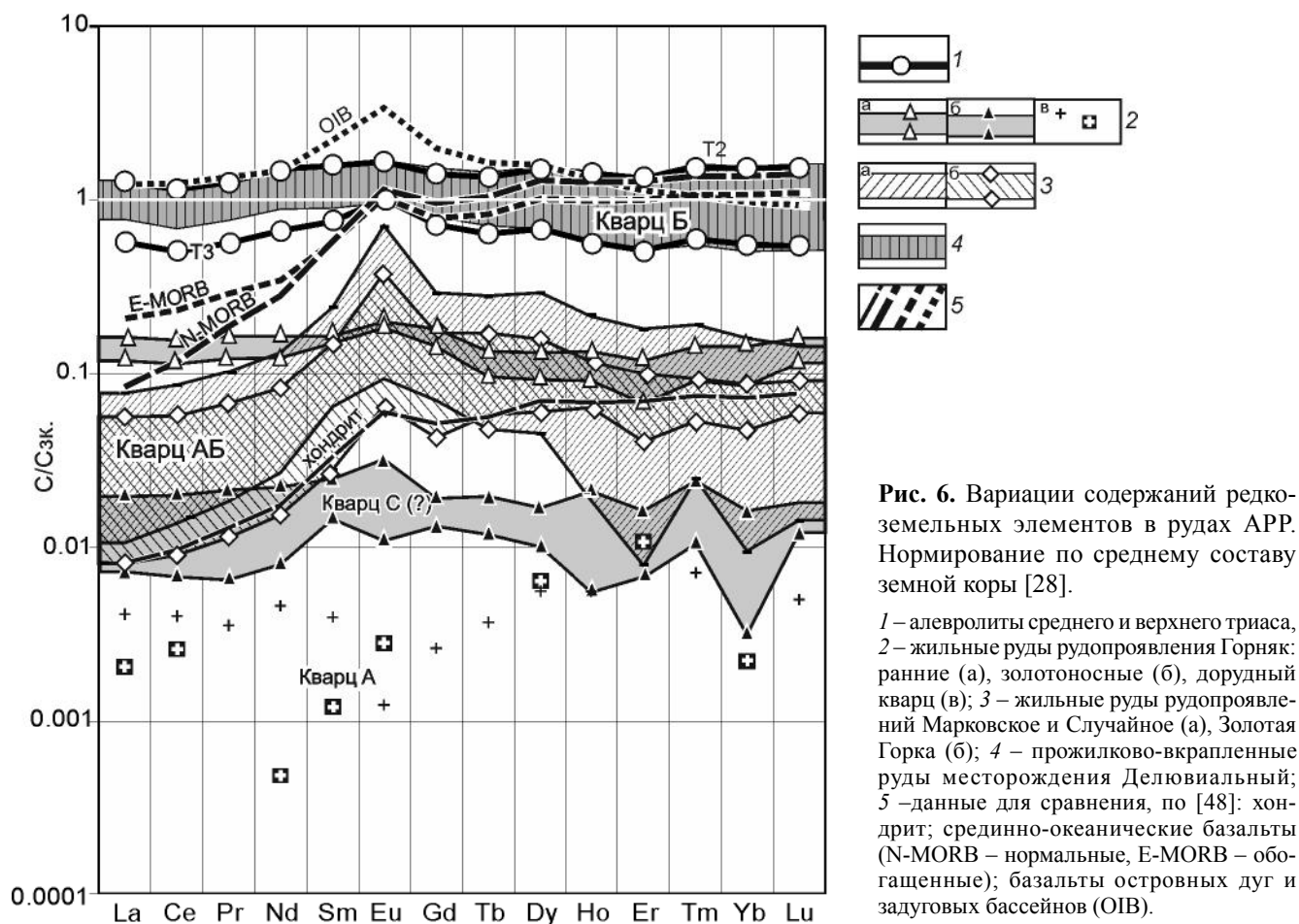
1 – алевролиты триаса, 2 – средние содержания: в прожилково-вкрапленных рудах месторождения Делювиальное, 3 – рудопроявления Случайное и Марковское, 4 – рудопроявление Горняк, 5 – рудопроявления Золотая Горка и Темное. Схондр. – по [48].

дом и очень близким ионным радиусом) были показаны М. Вау [37]. Нахождение  $Zr/Hf$  и  $Y/No$  отношений за пределами поля  $26 < Zr/Hf < 46$  и  $24 < Y/No < 34$  означает, что они контролируются не только изоморфизмом, но и химическими свойствами среды, электронной конфигурацией ионов и природой комплексных лигандов в водных флюидах. Таким образом, соотношения между этими элементами могут быть использованы для выявления условий гидротермального процесса, не соответствующих метаморфизму низких ступеней [49]. В породах и в прожилковых рудах Делювиального РР и в жиле рудопроявления Марковское значения  $Zr/Hf$  отношения от 38 до 42, а  $Y/No$  – от 22.9 до 23.3. Согласно данным [41], это может означать, что фракционирования между породой и флюидом не происходит. В жильных образованиях Адычанского РР наблюдается значительный разброс  $Zr/Hf$  отношения: от 32 до 142, а  $Y/No$  – от 20.9 до 49.6. Особенно высокие значения отношений, которые могут указывать на участие неметаморфогенных растворов в рудообразовании, отмечаются в некоторых жилах рудопроявлений Лазовского РР и рудопроявления Горняк (табл. 4).

Использование геохимической пары  $Nd$  и  $Pb$  предложено [49]. Это элементы со сходной когерентностью в расплавах. Их фракционирование происходит только в водных системах. Например, во время метаморфической дегидратации осадочных и интрузивных пород во флюид извлекается  $Pb$ , а  $Nd$  остается в глинистых минералах или полевых шпатах. Значения показателя  $Pb/Nd$  в прожилковых рудах и вмещающих породах почти не отличаются от соотношений в магматических породах (1.45–1.7 в лампрофирах Жданинского РР, 1.58 в гранит-порфирах Иньяли-Дебинского синклиория, 0.23 и 8.9 в гранодиоритах Куранаского антиклиория) и, как видно из таблицы 4, близки между собой. Жилы Адычанского РР характеризуются значительным разбросом отношения (от 0.27 до 2473.0), что может указывать на извлечение водным флюидом части  $Pb$  из вмещающих пород.

В качестве индикатора окислительно-восстановительных особенностей флюида использованы показатели  $U/Th$  и  $Co/Ni$ . Предполагается [40], что в породах соотношения  $U/Th < 0.75$  и  $Co/Ni > 0.2$  характеризуют высокую подвижность  $U$  и  $Ni$  в окислительной среде. Консолидация осадков происходила в слабо окислительной среде. С другой стороны, повышенное содержание  $U$  в равновесном с породами окислительном флюиде будет фиксироваться в жильном материале отношением  $U/Th > 1.25$ , а  $Ni$  – отношением  $Co/Ni < 0.2$ . Пониженному содержанию  $U$  в восстановительном флюиде отвечает значение  $U/Th < 0.75$ , для  $Ni$  –  $Co/Ni > 0.2$ . И для жильных, и для прожилковых образований АРР средние значения  $U/Th$  меньше 0.75, за исключением отдельных жил рудопроявления Горняк. Среднее значение  $Co/Ni$  в прожилковых рудах составляет – 0.39, а в жильных – от 0.21 до 0.36 (табл. 4). Эти данные свидетельствуют о восстановительном характере флюида ( $Eh < 0.0$ ) и окислительной обстановке при рудоотложении. Значения  $Co/Ni$  отношений указывают на отложение жильного вещества из метаморфогенных флюидов, которые, согласно данным [41], характеризуются соотношениями  $Co/Ni = 0.3–0.9$ , тогда как магматогенные –  $Co/Ni > 1$ .

Использование соотношений между  $Hf/Sm$ ,  $Nb/La$  и  $Th/La$  для предположений об анионном составе флюида основано на представлениях об избирательном концентрировании легких РЗЭ хлорсодержащими флюидами (соотношения меньше 1), тогда как флюиды, обогащенные  $F$ , концентрируют легкие и тяжелые РЗЭ синхронно [43, 45]. На всех рудных объектах АРР соотношения  $Hf/Sm$ ,  $Nb/La$  и  $Th/La$  менее 1, что не противоречит предположению о присутствии в составе рудообразующего флюида иона  $Cl^-$  или  $SO_4^{2-}$ . Накопление тяжелых



**Рис. 6.** Вариации содержаний редкоземельных элементов в рудах АРР. Нормирование по среднему составу земной коры [28].

1 – алевролиты среднего и верхнего триаса, 2 – жильные руды рудопроявления Горняк: ранние (а), золотоносные (б), дорудный кварц (в); 3 – жильные руды рудопроявления Марковское и Случайное (а), Золотая Горка (б); 4 – прожилково-вкрапленные руды месторождения Делювиальный; 5 – данные для сравнения, по [48]: хондрит; срединно-океанические базальты (N-MORB – нормальные, E-MORB – обогащенные); базальты островных дуг и задуговых бассейнов (OIB).

РЗЭ при отложении карбонатов (обратная зависимость отношения  $(La/Yb)_n$  от суммарного количества  $CaO$  и  $MgO$ ) может указывать на транспортировку РЗЭ в виде карбонатных комплексов в нейтральных и слабощелочных растворах, где доминируют  $CO_2$  или  $H_2CO_3$  [51].

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

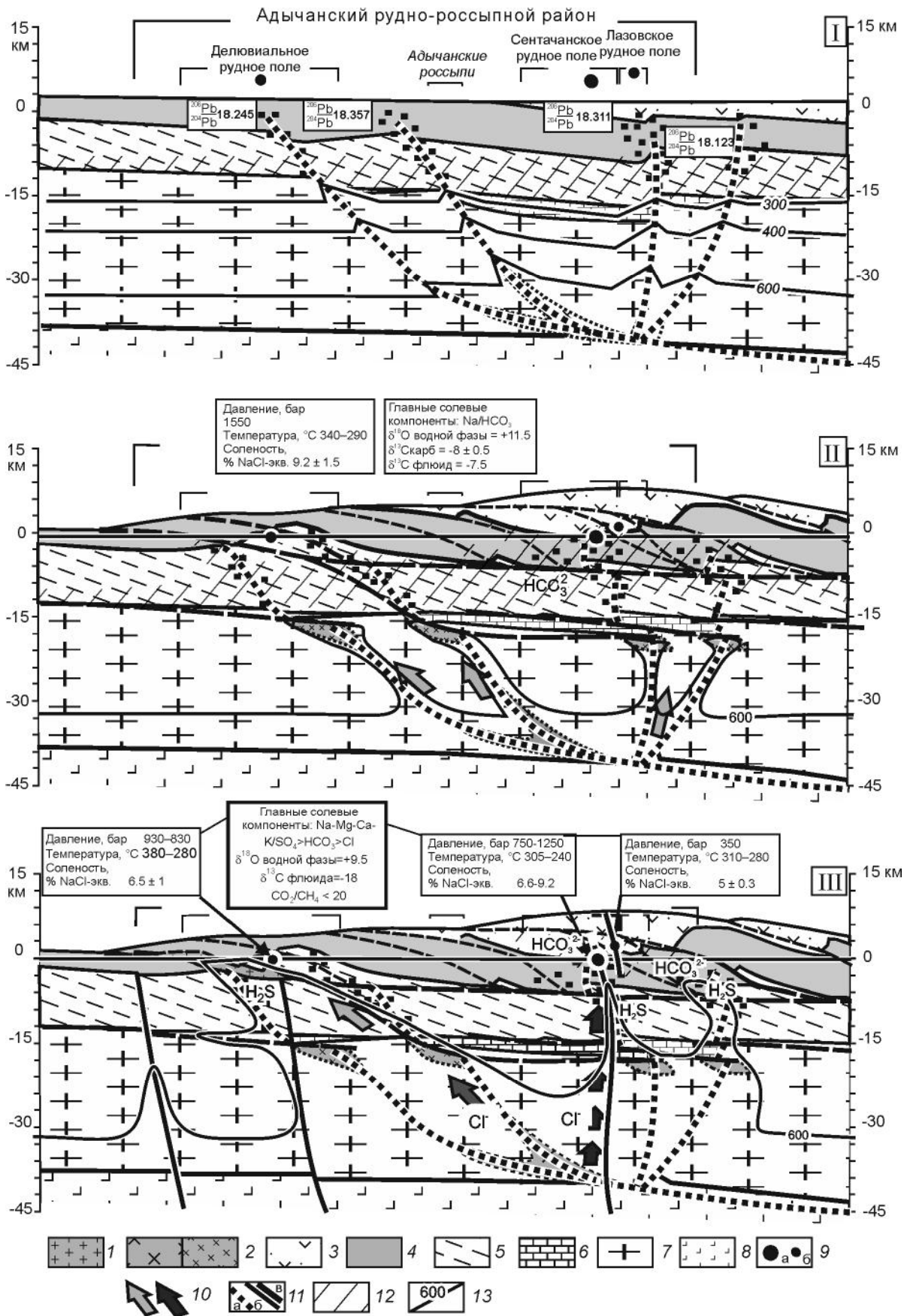
Принципиальные различия между окисленными разбавленными флюидами золото-кварцевых и восстановленными высокосолеными флюидами золо-

то-полисульфидно-кварцевых объектов убедительно показаны С.Ф.Стружковым с соавторами [27] на примере месторождений Центрально-Колымского района и ранее [47, 50] на примере крупных месторождений золота пояса Тинтина (Аляска) [47]. Эти данные, а также результаты изучения золото-кварцевых поясов [15] и таких золото-кварцевых месторождений, как Нежданское [9], Наталка [16], явились основанием для предположений о существенном перерыве между образованием магматогенно-метаморфогенного и магматогенного золотого оруденения. В то же время,

**Рис. 7.** Модель образования золоторудной минерализации.

Этап осадконакопления (I), коллизионный этап (II–III), в том числе стадии: первая – с образованием метаморфогенного кварца (II), вторая – с массовым образованием гранитоидов и третья – с образованием продуктивных минеральных ассоциаций (III).

1 – гранитоиды в осадочном чехле; 2 – области растяжения и накопления флюидов в нижней коре (а), в верхней коре (б); 3 – алевролиты ( $J_1$ ); 4 – переслаивание алевролитов и песчаников ( $T_2$ – $T_3$ ); 5 – алевролиты с маломощными песчанстыми горизонтами (P– $T_2$ ), 6 – карбонатно-терригенные породы (S–D); 7 – континентальная кора (PR); 8 – верхняя мантия; 9 – рудные объекты: месторождения (а), рудопроявления и мелкие месторождения (б) (показано современное положение объектов); 10 – предполагаемые флюидные потоки (интенсивность окраски уменьшается при увеличении влияния внутрикорового (метаморфогенного) флюида); 11 – разрывные нарушения: сбросы конседиментационного этапа (а), надвиги, взбросы и detachment ранней стадии коллизионного этапа (б), сдвиги поздних стадий коллизионного этапа (в); 12 – области интенсивной дегидратации монтмориллонитов и гидрослюд (генерация кристаллизационной воды); 13 – изотермы.





проведенные нами ранее исследования в Адычанском, Жданинском и Тарынском РР [5–7, 18] позволили высказать предположение, что золоторудные проявления различного типа можно рассматривать как продукты двухэтапной эволюции метаморфогенной гидротермальной системы. На раннем этапе – систему можно считать полностью закрытой, а на позднем – частично открытой за счет обмена веществом с глубинными источниками. Результаты геохимических исследований руд дают возможность уточнить некоторые параметры этой системы применительно к АРР (рис. 7).

Анализ индикаторных соотношений показывает, что жильное вещество образуется в окислительной обстановке из слабо восстановленного метаморфогенного флюида (флюид-1), равновесного с вмещающими породами при температурах около 250–300°C. Минеральные образования, связанные с этим флюидом, обеднены большинством компонентов и характеризуются крайне низкими содержаниями РЗЭ (ранние кварцевые жилы). По-видимому, фракционирование микроэлементов между вмещающими породами, флюидом и жильным материалом контролировалось сорбционными процессами и РТ условиями, что типично для процессов метагенеза.

Флюид, определяющий развитие минерализации, в том числе и рудной, на второй стадии (флюид-2) по набору макро- и литофильных микроэлементов незначительно отличается от флюида-1. В составе анионов устанавливается некоторая примесь  $SO_4^{2-}$  и/или Cl. Полученные результаты не противоречат предположению о привносе сидерофильных (Co-Ni-Cr-Mn) и халькофильных (As-Mo-Ag-Cd-In-Sn-Sb-Te-W-Pb-Bi-Au-Cu) микроэлементов из внешних, по отношению к вмещающим породам, источников. Вариации содержаний Pb, соотношение Pb/Nd и данные по изотопии Pb [7] указывают на то, что часть Pb могла поступать в руды из вмещающих пород.

На наш взгляд, состав флюида-2 определяется тем, что на момент поступления из глубоких горизонтов земной коры магматических расплавов, обогащенных Co-Ni-Cr, а также хлоридного флюида с рудной нагрузкой, в осадочной толще продолжают существовать резервуары с флюидом-1 (рис. 7). Взаимодействие малого количества хлоридного восстановленного высокотемпературного концентрированного флюида с большим количеством разбавленного сульфатно-гидрокарбонатного приводит к осаждению сульфидов железа и другой рудной нагрузки с образованием зон вкрапленной минерализации. Метаморфогенный флюид, концентрирующийся преимущественно в пологих структурах, играет роль «фильтра», пропускающего только комплексобразующие эле-

менты и осаждающего в сульфидах всю остальную нагрузку, что и объясняет почти мономинеральные скопления золота и антимонита в жильных телах. При отсутствии такого «фильтра» будут образовываться золото-полисульфидно-кварцевые месторождения с флюидами двух типов, присутствием Cl во флюидных включениях, положительными аномалиями Eu в некоторых прожилках.

Общая для всех руд геохимическая специализация – Mo-Au-Bi-Sb, дополненная Cr-As-Pb-Te, отражает геохимические особенности источников рудной минерализации, размеры или глубина залегания которых сопоставимы с линейными размерами самого рудного района (45×50 км). В совокупности с невысоким Cu/Mo отношением такая специализация может указывать на источники, сходные с источниками руд (медно)-молибден-порфирировых месторождений.

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Положение рудных объектов АРР контролируется крупными субсогласными слоистости структурами (меж- и внутриформационными срывами) и рассекающими их субвертикальными разрывными нарушениями (сколами). Зоны срывов определяют границы рудных полей и, иногда, локализуют прожилково-вкрапленные руды. Крутопадающие разрывы и трещины контролируют как прожилково-жильные, так и жильные руды.

2. Состав руд незначительно отличается от состава вмещающих пород. Привнос макрокомпонентов не установлен, за исключением S, количество которой увеличено в прожилково-вкрапленных рудах, и Ca – в жильных.

3. Содержания литофилов и РЗЭ в прожилково-вкрапленных рудах ниже, а в жильных – существенно ниже, чем во вмещающих породах. Индикаторные отношения микроэлементов и РЗЭ свидетельствуют в пользу слабовосстановительного и близнеутрального характера флюидов. Основным источником водной части флюида и его макрокомпонентов являются осадочные толщи, второстепенным по количеству, но не по значению – глубокие части земной коры.

4. Геохимическую специализацию Адычанского РР определяют Mo, Au, Bi и Sb. В повышенном количестве на всех рудных полях, но не на всех объектах, установлены Cr, As, Pb и Te. Содержание в рудах сидерофильных и халькофильных элементов может быть выше, чем во вмещающих породах.

5. Проведенные исследования позволяют возвратиться к взглядам П.И. Скорнякова [25], одного из

первых исследователей колымского золота, предложившего относить все проявления золота к единому рудно-формационному ряду, и согласиться с В.И. Бергером [8], который считает и арсенопирит-пиритовую (раннемеловую) и антимонитовую (альбскую) минерализации частью (Sn)-W рудных систем, синхронных гранитоидам поперечных рядов. В то же время, наши данные подтверждают выводы исследователей [10, 14, 16], которые устанавливают разноглубинные источники флюидов на золото-кварцевых объектах ВКСС. Определяющую роль в появлении промышленной Au минерализации в составе указанных рудных систем, как неоднократно подчеркивалось [11, 24], играют источники рудного вещества и механизмы его извлечения и отложения.

Приведенная в статье информация имеет практическое значение для региональных прогнозно-металлогенических построений, поисков и оценки месторождений золота. Детальное геохимическое исследование руд месторождений золота позволит проводить типизацию объектов на ранних поисковых этапах и дополнить критерии их перспективности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 14-17-00170) и программ Президиума РАН № 48 и № 55.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акинин В.В., Ворошин С.В. Интеграция геохронологических баз данных и ГИС для анализа эволюции магматизма на Северо-Востоке Азии // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25, № 5. С. 39–50.
- Акинин В.В., Прокопьев А.В., Торо Х., Миллер Э.Л., Вуден Дж., Горячев Н.А., Альшевский А.В., Бахарев А.Г., Трунилина В.А. U-Pb-SHRIMP-возраст гранитоидов Главного батолитового пояса (Северо-Восток Азии) // Докл. АН. 2009. Т. 426, № 2. С. 216–221.
- Акинин В.В., Миллер Э.Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Петрология. 2011. Т. 19, № 3. С. 249–290.
- Аристов В.В. Перспективы выявления крупных богатых золото-кварцевых месторождений в Тарынском рудно-россыпном узле // Разведка и охрана недр. 2009. № 6. С. 3–11.
- Аристов В.В., Прокопьев В.Ю., Имамендинов Б.Н., Кряжев С.Г., Алексеев В.Ю., Сидоров А.А. Особенности рудообразования на золото-кварцевом месторождении Дрожное (Восточная Якутия) // Докл. АН. 2015. Т. 464, № 1. С. 65–70.
- Аристов В.В., Бабарина И.И., Григорьева А.В., Алексеев В.Ю., Прокопьев В.Ю., Узюнокян А.А., Заболотская О.В., Титов С.Г. Золото-кварцевые месторождения Жданнинского рудно-россыпного узла (Восточная Якутия). Структурный контроль и условия образования // Геология руд. месторождений. 2016. Т. 52, № 6. С. 559–594.
- Аристов В.В., Кряжев С.Г., Рыжов О.Б., Вольфсон А.А., Прокопьев В.Ю., Сидорова Н.В., Сидоров А.А. Источники флюидов и рудного вещества золотой и сурьмяной минерализации Адычанского рудного района (Восточная Якутия) // Докл. АН. 2017. Т. 476, № 2. С. 174–180.
- Бергер В.И. Сурьмяные месторождения. Л.: Недра, 1978. 276 с.
- Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокопьев В.Ю., Алпатов В.А., Бахарев А.Г. Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Нежданнинского золоторудного месторождения (Саха-Якутия, Россия) // Геология руд. месторождений. 2007. Т. 49, № 2. С. 99–145.
- Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокопьев В.Ю., Прокопьев А.В. Золото-сурьмяные месторождения Сарылах и Сентачан (Саха-Якутия): пример совмещения мезотермальных золото-кварцевых и эпитептермальных антимонитовых руд // Геология руд. месторождений. 2010. Т. 52, № 5. С. 381–417.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Старостин В.И. Металлогения вулканогенных поясов и зон активизации. М.: МАКС Пресс, 2014. 356 с.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Мурашов К.Ю., Сидорова Н.В. Новые данные по геохимии руд золото-кварцевого месторождения Родионовское (Северо-Восток России) // Тихоокеан. геология. 2016. Т. 35, № 5. С. 77–85.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Савва Н.Е., Прокопьев В.Ю., Колова Е.Е., Савчук Ю.С., Мурашов К.Ю., Сидорова Н.В., Земскова М.И., Аристов В.В., Вольфсон А.А. Золотокварцевые месторождения Яно-Колымского складчатого пояса: геохимические особенности руд и флюидов, условия рудообразования // Вестн. СВНИЦ ДВО РАН. 2016. № 3. С. 3–21.
- Гамянин Г.Н. Минералого-генетические аспекты золоторуднения Верхояно-Колымских мезозойских поясов. М.: ГЕОС, 2001. 222 с.
- Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 210 с.
- Горячев Н.А., Викентьева О.В., Бортников Н.С., Прокопьев В.Ю., Алпатов В.А., Голуб В.В. Наталкинское золоторудное месторождение мирового класса: распределение РЗЭ, флюидные включения, стабильные изотопы кислорода и условия формирования руд (Северо-Восток России) // Геология руд. месторождений. 2008. Т. 50, № 5. С. 414–444.
- Индолев Л.М., Жданов Ю.А., Суплецов В.М. Сурьмяное оруденение Верхояно-Колымской провинции. Новосибирск: Наука, 1980. 232 с.
- Кряжев С.Г., Аристов В.В. Органическое вещество флюидных включений в жильном кварце Адычанского золоторудного района: Материалы XIII Междунар. конф. по термобарогеохимии и IV симпозиума АРIFIS. Т. 2. М.: ИГЕМ РАН, 2008. С. 249–252.
- Задорожный Д.Н., Рыжов О.Б., Аристов В.В., Султанаев Р.Г., Тихонова Н.В. Крупнотоннажное месторождение золота Делювиальное // Руды и металлы. 2011. № 2. С. 11–18.
- Михалицына Т.И. Литология и геохимия верхнепермских пород юго-западного фланга Аян-Юряхского антиклинория на примере разреза по руч. Тихоня (Магаданская область) // Вестн. СВНИЦ ДВО РАН. 2014. № 4. С. 17–28.
- Остапенко Л.А., Рыжов О.Б., Щегольков Ю.В., Аристов В.В. Типоморфные особенности россыпного золота бассейна р. Адыча (Восточная Якутия), состав и генезис рубашек на его поверхности // Отч. геология. 2011. № 1. С. 29–42.
- Палымский Б.Ф., Горячев Н.А., Акинин В.В., Голубенко И.С., Лямин С.М. Позднемезозойские плутонические се-

- рии Охотско-Колымского региона // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2015. № 2. С. 3–14.
23. Прушинская Э.Я., Манучарянц Б.О., Владимиров В.Г. Основы геолого-генетической модели золото-сурьмяных месторождений востока СССР. Рудообразование и генетические модели эндогенных рудных формаций. Новосибирск: Наука, 1988. С. 279–285.
  24. Сидоров А.А., Волков А.В. Проблемы онтогенеза и филогенеза руд // Вестн. РАН. 2016. Т. 86, № 1. С. 30–34.
  25. Скорняков П.И. Систематика золоторудных месторождений СВ СССР: Материалы по геологии СВ СССР. М., 1949. № 4. С. 52–62.
  26. Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1985. 294 с.
  27. Стружков С.Ф., Кряжев С.Г., Наталенко М.В., Голубев С.Ю. Отличия золото-кварцевых и золото-полисульфидно-кварцевых месторождений Центральной Колымы по термобарогеохимическим данным: Материалы XIII Междунар. конф. по термобарогеохимии и IV симпозиума АРIFIS. Т. 2. М.: ИГЕМ РАН, 2008. С. 124–127.
  28. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
  29. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Отв. ред. Л.М. Парфенов. М.: Наука, 2001.
  30. Третьяков Ф.Ф. Стадии надвигового этапа позднемезозойских деформаций Верхояно-Колымской орогенной области // Отеч. геология. 2015. № 5. С. 89–95.
  31. Фридовский В.Ю. Структуры золоторудных полей и месторождений Яно-Колымского рудного пояса (Восточная Якутия – территория Верхояно-Колымской коллизионной металлогенической области) // Металлогения рядов коллизионных геодинамических обстановок. В 2-х томах. Т. 1. М.: ГЕОС, 2002. С. 6–241..
  32. Чернышов И.В., Бортников Н.С., Чугаев А.В. Гамянин Г.Н., Бахарев А.Г. Источники металлов крупного орогенного Нежданнинского золоторудного месторождения (Якутия, Россия): результаты высокоточного изучения изотопов свинца (МС -ICP-MS) и стронция // Геология руд. месторождений. 2011. Т. 53, № 5. С. 395–418.
  33. Читалин А.Ф. Сдвиговая тектоника и золотоносность Колымского региона // Золото и технологии. 2016. № 4 (34). С. 128–133.
  34. Шахтыров В.Г. Сдвиговые структурные ансамбли и золотое оруденение Яно-Колымской складчатой системы: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Иркутск, 2010. 35 с.
  35. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 2011. 742 с
  36. Bau M. Rare earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and the significance of the oxidation state of europium // Chem. Geol. 1991. V. 93. P. 219–230.
  37. Bau M. Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect // Contrib. Miner. Petrol. 1996. V. 123. P. 323–333.
  38. Berger B.R., Ayuso R.A., Wynn J.C. et al. Preliminary model of porphyry copper deposits // U.S. Geol. Surv. Open-File Report. 2008–1321. 55 p.
  39. Dongen M.V, Weinberg R.F., Tomkins A.G. REE-Y, Ti, and P remobilization in magmatic rocks by hydrothermal alteration during Cu-Au deposit formation // Soc. Econ. Geologists. 2010. Inc. Econ. Geol. V. 105. P.763–776.
  40. Jones B., Manning D.A.C. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones // Chem. Geol. 1994. V. 111. P. 111–129.
  41. Kun L., Ruidong Y., Wenyong Ch. et al. Trace element and REE geochemistry of the Zhewang gold deposit, southeastern Guizhou Province, China // Chin. J. Geochem. 2014. V. 33. P. 109–118.
  42. Layer P.W., Newberry R., Fujita K. et al. Tectonic setting of the plutonic belts of Yakutia, northeast Russia, based on <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology and trace element geochemistry // Geol. 2001. V. 29. P. 167–170.
  43. Liu C., Liu J., Wang J., Yang L. et al. Geochemical characteristics of rare earth elements and their implications for the Huachangou gold deposit in Shaanxi Province, China // J. Rare Earth. 2013 V. 31. P. 215–226.
  44. Monecke T., Kempe U., Gotze J. Genetic significance of the trace element content in metamorphic and hydrothermal quartz: a reconnaissance study // Earth. Planet. Sci. Lett. 2002 V. 202. P. 709–724.
  45. Oreskes N., Einaudi M.T. Origin of rare-earth element enriched hematite breccias at the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit, Roxby Downs, South Australia // Econ. Geol. 1990. V. 85, N 1. P. 1–28.
  46. Prokoviev A.V., Toro J., Hourigan J.K. et al. Middle Paleozoic-Mesozoic boundary of the North Asian craton and the Okhotsk terrane: new geochemical and geochronological data and their geodynamic interpretation // Stephan Mueller Spec. Publ. Ser. 2009. V. 4. P. 71–84.
  47. Rhys D., DiMarchi J., Smith M. et al. Structural setting, style and timing of vein-hosted gold mineralization at the Pogo deposit, east central Alaska // Miner. Deposita. 2003. V. 38. P. 863–874.
  48. Sun S.-s., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Geol. Soc. London, Spec. Publ. 1989. V. 42. P. 313–345.
  49. Tang H., Liu.C. Trace element geochemistry during metamorphic dehydration: A case study from the Xingzi Group of Lushan, southeast China // Geochem. J. 2002 V. 36. P. 545–561.
  50. Thompson J.F.H., Sillitoe R.H., Baker T. et al. Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces // Miner. Deposita. 1999. V. 34. P. 323–334.
  51. Wood S.A. The aqueous geochemistry of the rare earth elements and yttrium. Theoretical predictions of speciation in hydrothermal solutions to 350 °C at saturation vapor pressure // Chem. Geol. 1990. V. 88. P. 99–125.

*Рекомендована к печати Н.А. Горячевым  
после доработки 27.02.2019 г.  
принята к печати 24.05.2019 г.*

*V.V. Aristov, O.B. Ryzhov, A.A. Volfson, N.V. Sidorova, A.V. Kurmayev*

**Orogenic gold mineralization of the Adychansky ore cluster (eastern Yakutia, Russia).  
Geological settings and geochemical features of ores**

Features of the geological structure of the ore region play a significant role of gently sloping structures of the early collision stage in the control of ore fields. The similarity of ores with host rocks in the main components, lithophile trace elements and REE was established. The distribution features of trace elements and the values of the indices do not contradict the assumption about the metamorphogenic origin of the fluids, their weakly reducing and near-neutral character and the sorption interaction between the rock and the fluids. A group of elements the distribution of which in the ores is significantly different from the enclosing rocks was established. Geochemical specialization of the ore district is characterized by Mo, Au, Bi, Sb. These elements are present in increased amounts in the ores of all studied ore objects. The elements Cr, As, Pb, Te occur within all ore fields except a few objects. The geochemical specialization of the Deluvialny, Lazovsky and Sentachiansky ore fields was added with the Co-Ni-W-Zn-Cd-Ag, Co-Ni-W-In-Mn-Cu-Sr and Sn-In-Mn-Cu-Zn-Cd-Sr-Ag associations respectively. The investigations carried including thermobarogeochemical data made it possible to clarify the existing metamorphogenic magmatic model of formation of the gold-quartz deposits in the Coular-Nersky belt and to identify approaches to the practical application of the revealed regularities.

***Key words:* collision, internal formation disruptions, shears, trace elements, rare earth elements, gold-quartz ores, stockwork, veins, ore formation, Yakutia, Russia.**