

УДК 553.411:571.65

“Посвящается 80-летию первой Колымской экспедиции
под руководством Ю.А. Билибина”

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА В ДАЙКАХ ЯНО-КОЛЫМСКОГО ПОЯСА

© 2008 г. А. В. Волков*, В. Н. Егоров**, В. Ю. Прокофьев*, А. А. Сидоров*,
Н. А. Горячев**, А. В. Бирюков**

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН
119017, Москва, Ж-17, Старомонетный пер., 35

**Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН
685010, Магадан, ул. Портовая, 16

Поступила в редакцию 15.11.2007 г.

Рудоносные дайки пользуются широким распространением в Яно-Колымском металлогеническом поясе. Их состав варьирует от гранит-порфиров до порфиритов, лампрофиров, габбро-монцитов и диабазов. Они слагают целые свиты протяженностью в десятки км и шириной до 8–10 км или поля площадью в первые сотни км². Оруденение ранее традиционно относили к золото-кварцевому типу, наложенному на дайки. Однако изотопные и термобарогеохимические данные указывают на его близость к месторождениям золота, связанным с интрузивами (“intrusion-related”). Глубинный магматический очаг мог служить источником серы сульфидов в березитах и кварцевых жилах в колымских дайках. Рассмотренные в статье месторождения перспективны как потенциально крупные промышленные объекты при низких средних содержаниях золота в рудах.

ВВЕДЕНИЕ

Минерально-сырьевая база Северо-Востока России нуждается в серьезном укреплении за счет вовлечения в разведку и эксплуатацию новых коренных месторождений. Из поля зрения потенциальных инвесторов выпала большая группа месторождений золота в дайках гранитоидов. Несмотря на высокий ресурсный потенциал, изученность большинства из них очень низка. Высокая рентабельность отработки подобных месторождений подтверждена более чем 250-летней эксплуатацией Березовских рудников на Урале.

Золотое оруденение в дайках (среднеканской и безымянной свит) было установлено в 1928 г. геологами первой Колымской экспедиции под руководством Ю.А. Билибина. В дальнейшем новые открытия россыпей золота на Колыме сопровождались находками многочисленных золотоносных даек.

Металлоносность даек обусловлена золотоносными березитами и сетью секущих золото-кварцевых жил и прожилков. Последние были отнесены к колымской золото-кварцевой россыпеобразующей формации, тесно связанной с зеленосланцевым метаморфизмом толщ верхоянского комплекса (Фирсов, 1985; Шило и др., 1988; Горячев, 1998). Однако как показывает анализ

новых данных по изотопии серы, минералогическим особенностям и термобарогеохимии, есть основание полагать о близости дайковых месторождений к типу месторождений золота, связанных с интрузивами – “золото-редкометалльному”, по терминологии магаданских геологов (“intrusion-related”, по терминологии североамериканских геологов).

К началу 40-х годов в Яно-Колымском поясе было открыто более 20 золоторудных месторождений и проявлений в дайках. Промышленная эксплуатация дайки 7 на месторождении Утинское была начата в 1935 г. и продолжалась до 1956 г. Из этой дайки добыто 10.26 т золота со средним содержанием – 5.6 г/т, а из дайки 6 – 0.4 т. На месторождении Штурмовское (дайка 8) в эти же годы получено 194 кг золота со средним содержанием 8.0 г/т. С середины 50-х годов в связи с развитием добычи золота из многочисленных россыпей более трудоемкая и дорогостоящая эксплуатация золотоносных даек прекратилась.

Необходимо отметить, что в пределах мезозойд Чукотки золотое оруденение в дайках выявлено на двух месторождениях – Каральвеем (Билибинский район) и Нутекин (Анадырский район). Эти месторождения отличаются от колымских аналогов бонанцевыми рудами и наличием в них крупного золота и самородков. На месторождении Каральвеем лестничные раннемеловые золото-кварцевые

Адрес для переписки: А.В. Волков. E-mail: alexandr@igem.ru

жилы (со средним содержанием золота 29 г/т) развиты в силлах (мощностью до 300 м и более) триасовых габбро-диабазов (Городинский, 1992). Нутекинское месторождение, по данным А.В. Волкова и др. (2006), характеризуется позднемеловой золотой минерализацией в кварцевых лестничных жилах и штокверках, наложенных на дайки габброидов мощностью, не превышающей 20 м (в среднем 7–8 м).

В последние годы истощение колымских россыпей привело к тому, что золотоносные дайки вновь стали рассматриваться как потенциально промышленные большеобъемные месторождения с бедными, но легкообогатимыми рудами. Интерес к ним обусловлен успешной разработкой на Аляске крупного месторождения Форт Нокс (>350 т), из руд которого добывается ежегодно 10–12 т золота со средним содержанием 0.87 г/т. Месторождения золота в дайках также имеют средние содержания на массу от 1 до 2 г/т.

Работы по геологическому изучению даек проводятся с перерывами вплоть до нашего времени. Проведены поисково-оценочные работы на двух новых рудных полях Дубач и Стахановское, которые показали их большое сходство с разведанными ранее месторождениями.

При написании данной статьи перед авторами стояли следующие задачи: 1) показать геодинамическую обстановку формирования поясов золотоносных даек на Северо-Востоке России; 2) рассмотреть особенности геологического строения и вещественного состава руд типичных месторождений золота в дайках; 3) в сравнительном плане изучить условия рудообразования.

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

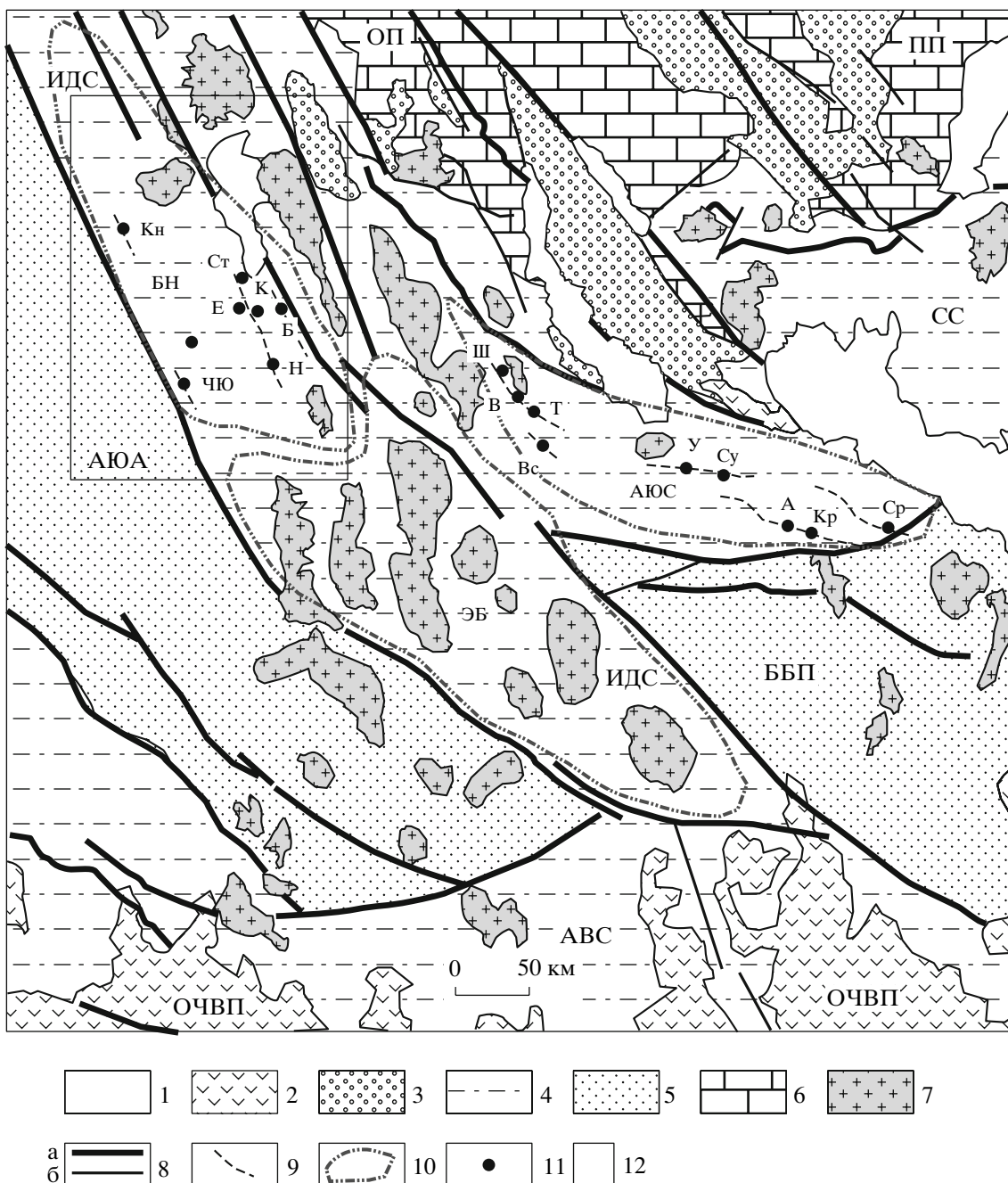
Рудоносные дайки широко распространены в Яно-Колымском складчатом поясе (фиг. 1, 2). Их состав варьирует от гранит-порфиоров до порфиритов, лампрофиоров, габбро-монцитонитов и диабазов (Апельцин, 1957). Количественно преобладают дайки среднего состава. Они слагают целые свиты протяженностью в десятки километров и шириной до 8–10 км или поля площадью в первые сотни км², обычно концентрирующиеся в надинтрузивных зонах гранитоидных массивов (фиг. 2). Как правило, свиты даек приурочены к мощным зонам разломов, сформировавшихся в раннеорогенную стадию развития территории (поздняя юра) и неоднократно подновлявшихся позднее. Вследствие этого дайки испытали динамометаморфизм и метасоматоз.

Золоторудные дайки залегают в породах верхоянского комплекса. Они размещаются обычно среди толщ триаса и юры, причем большинство выявленных месторождений – в юрских толщах. Рудовмещающие нижнеюрские отложения пред-

ставлены преимущественно тонкотерригенными алевролит-аргиллитовыми осадками, с редкими прослоями песчаников и туффитов. Мощность осадков 0.8–1.5 км. В средней юре они сменяются преимущественно флишевыми толщами алевролитов, аргиллитов и песчаников, часто с граувакками, содержащими турбидиты (мощность от 0.6–1.0 до 3–4 км). Дайки среднеканской, утинской, штурмовской свит, Стахановского рудного поля, а также отдельные золотоносные дайки Арик, Крохалиная, Ревком, Пятилетка, Скрытая-Веселая обнажаются среди юрских отложений. В нижнем триасе размещаются золотоносные дайки ларюковской свиты.

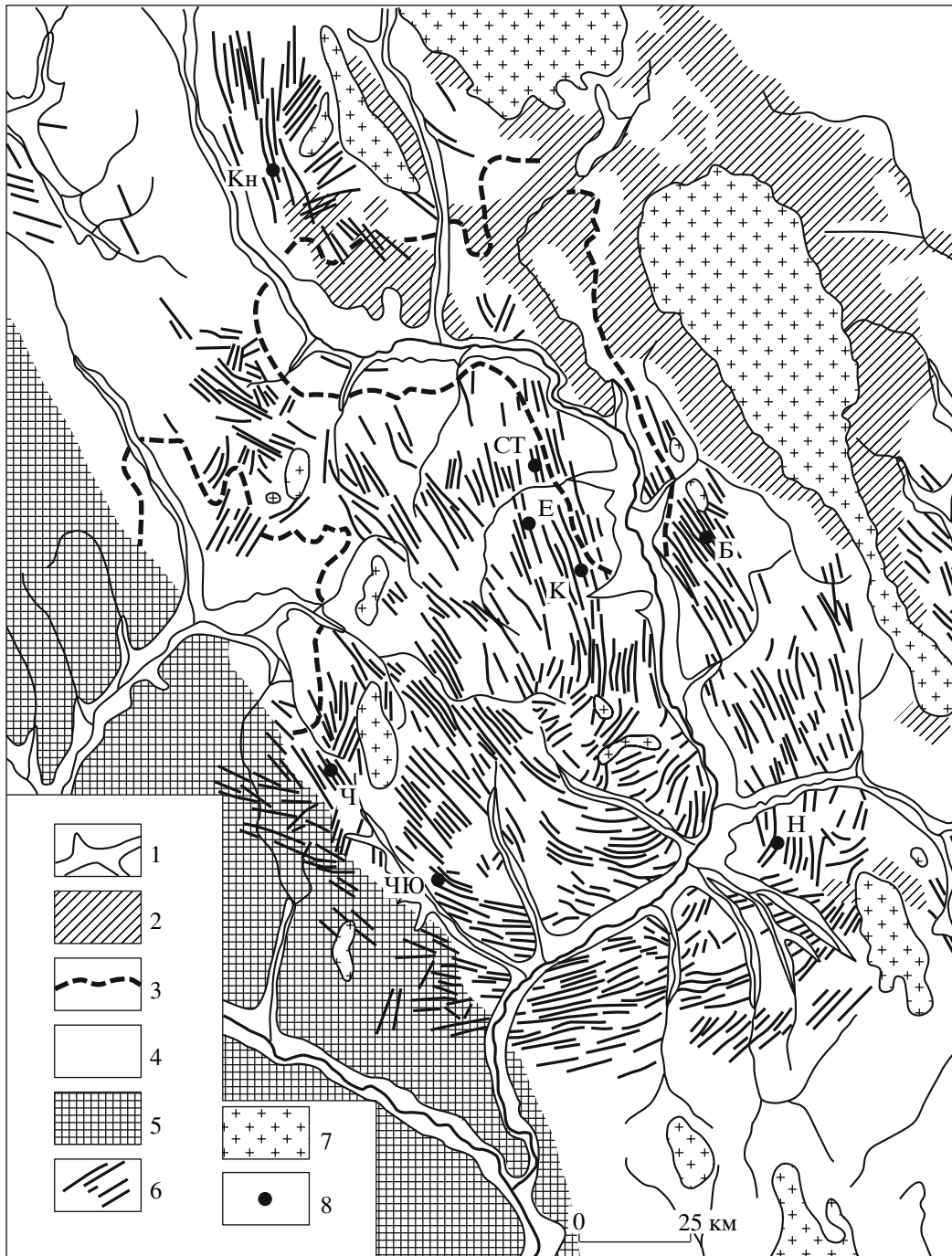
Метаморфизм вмещающих толщ. На площади развития золотоносных даек выделяются три вида метаморфических образований: 1) динамометаморфические; 2) контактовые; 3) контактово-региональные. По времени проявления метаморфические процессы совпадают лишь частично. Контактное ороговикование связано непосредственно с внедрением интрузивных тел. Динамометаморфические образования формировались длительно и большей частью до внедрения крупных гранитоидных масс. Об этом свидетельствует потеря сланцеватости и ороговикование тектонизированных глинистых пород в контактовых ореолах массивов Грозовой, Загадка. Соотношения даек нера-бохачинского комплекса с динамометаморфическими зонами сложные. Приуроченность даек утинской свиты к зоне смятия свидетельствует о существовании последней во время внедрения даек. С другой стороны, дайки в пределах зон интенсивно изменены, нередко рассланцованы. Наиболее поздние образования динамометаморфических зон – это рыхлые (сажистые) милониты, представляют собой продукт хрупких тектонических преобразований. В целом для зон динамометаморфизма (смятия) характерно крутое, часто близвертикальное и вертикальное залегание осадочных пород, интенсивный кливаж глинистых и алевритоглинистых пород (вплоть до образования филлитов, филлонитов), сульфидизация, наличие жил и прожилков кварца, зон прожилкового окварцевания. Нередко породы катаклазированы и перемяты. Для утинской зоны характерна довольно слабая пиритизация пород, наличие относительно редких кварцевых и карбонат-кварцевых прожилков, иногда жил. Содержания элементов-примесей, а также $S_{\text{общ}}$ и $S_{\text{орг}}$ в глинистых породах близфоновые.

Контактово-региональный метаморфизм охватывает терригенные, вулканогенно-осадочные и вулканогенные породы верхоянского комплекса на всей площади за исключением контактовых ореолов около интрузий. Фиксируется по появлению бластических биотита и стильпномелана в измененных осадочных породах.



Фиг. 1. Тектоническая позиция свит золотоносных даек.

1 – молассы неотектонических впадин; 2 – ниже-верхнемеловые вулканогенные отложения ОЧВП; 3 – верхнеюрские терригенно-вулканогенные молассы краевых прогибов и рифтов; 4 – тонко-терригенные формации синклиналиев Яно-Колымской системы: ИДС – Иньяли-Дебинский, СС – Сугойский, АВС – Арmano-Вилигинский; 5 – тонко-терригенные формации антиклиналий и поднятий Яно-Колымской системы: АЮА – Аян-Юряхский, ББП – Буондино-Балыгычанский; 6 – рифейско-среднепалеозойский структурный этаж: терригенно-карбонатные и кремнистые шельфовые формации окраинных поднятий и срединных массивов: ПП – Прикольмское, ОП – Омудевское; 7 – мезозойские гранитоидные массивы; 8 – тектонические нарушения: крупнейшие (а), прочие (б); 9 – свиты золотоносных даек; 10 – металлогенические зоны: АЮС – Ат-Юрях-Среднеканская, БН – Берелех-Нексиканская, ЭБ – Элэгынья-Бохапчинская; 11 – основные месторождения золота в дайках: А – Арик, Б – Богатырь, В – Восточное, Вс – Веселое, Е – Евгар, К – Корта, Кн – Контрадинское, Кр – Крохалиное, Н – Новое, Ср – Среднеканское, Ст – Стахановское, Су – Сурьямяна, Т – Транспортная, У – Утинское, ЧЮ – Чай-Юринское, Ш – Штурмовское; 12 – площадь, фиг. 2.

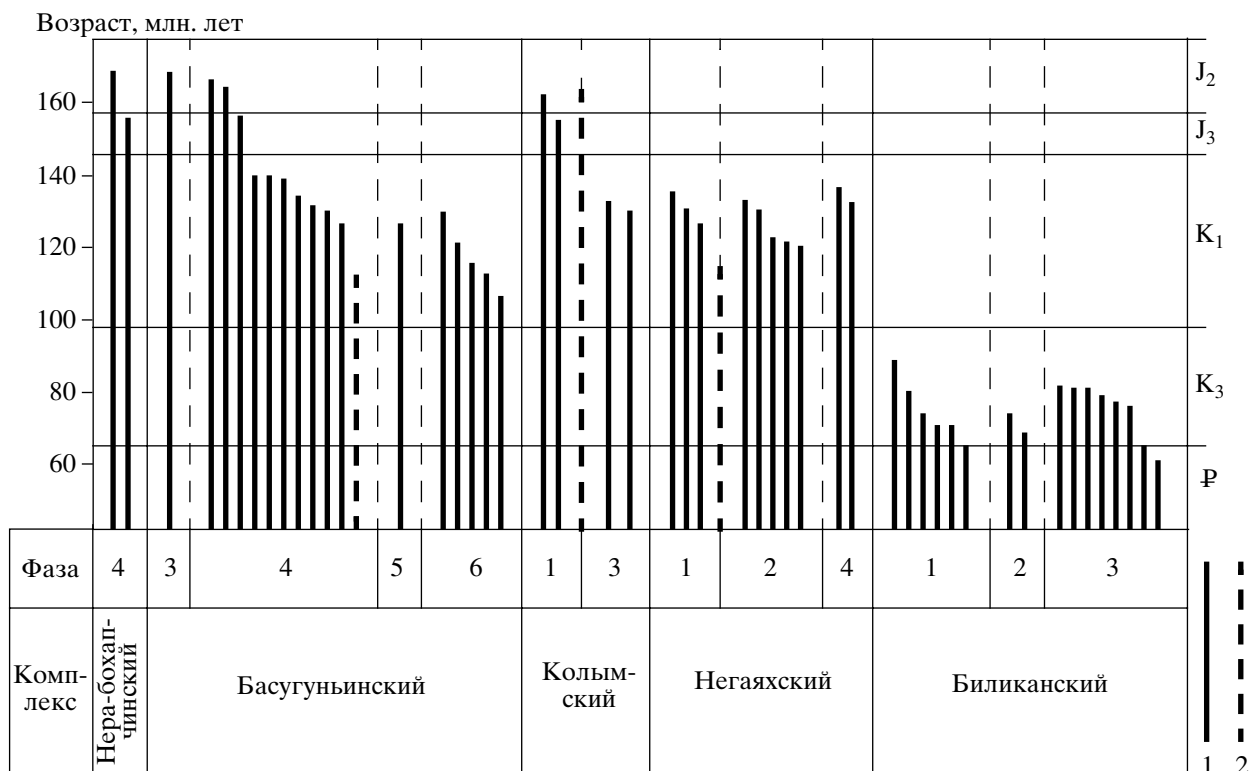


Фиг. 2. Свиты даек междуречья Аян-Юрях и Мылги, западнее батолитов Оханджа и Чьорго.

1 – четвертичные отложения в долинах; 2 – ледниковые отложения; 3 – контуры наложенных третично-четвертичных впадин; 4, 5 – площади распространения терригенных свит: юры – триаса (4) и верхней перми (верхоянский комплекс) (5); 6 – дайки; 7 – гранитоидные интрузивы (колымский комплекс); 8 – месторождения золота в дайках (названия на фиг. 1).

Биотит и (или) стильномелан установлены в подавляющем большинстве изученных шлифов осадочных пород, не обнаруживающих внешних признаков ороговикования, взятых удаленно от выходов гранитоидов. Указанные минералы распространены независимо от степени динамомета-

морфических преобразований и, в отличие от внешних контактовых ореолов слабого ороговикования, в малом количестве – от единичных зерен до первых процентов. По характеру изменений выделены зоны бурого биотита и стильномелановая.



Фиг. 3. Диаграмма изотопных датировок интрузивных пород (В.А. Шишкин, 2001 г.). Методы определения возраста: 1 – К-Аг, 2 – Rb-Sr.

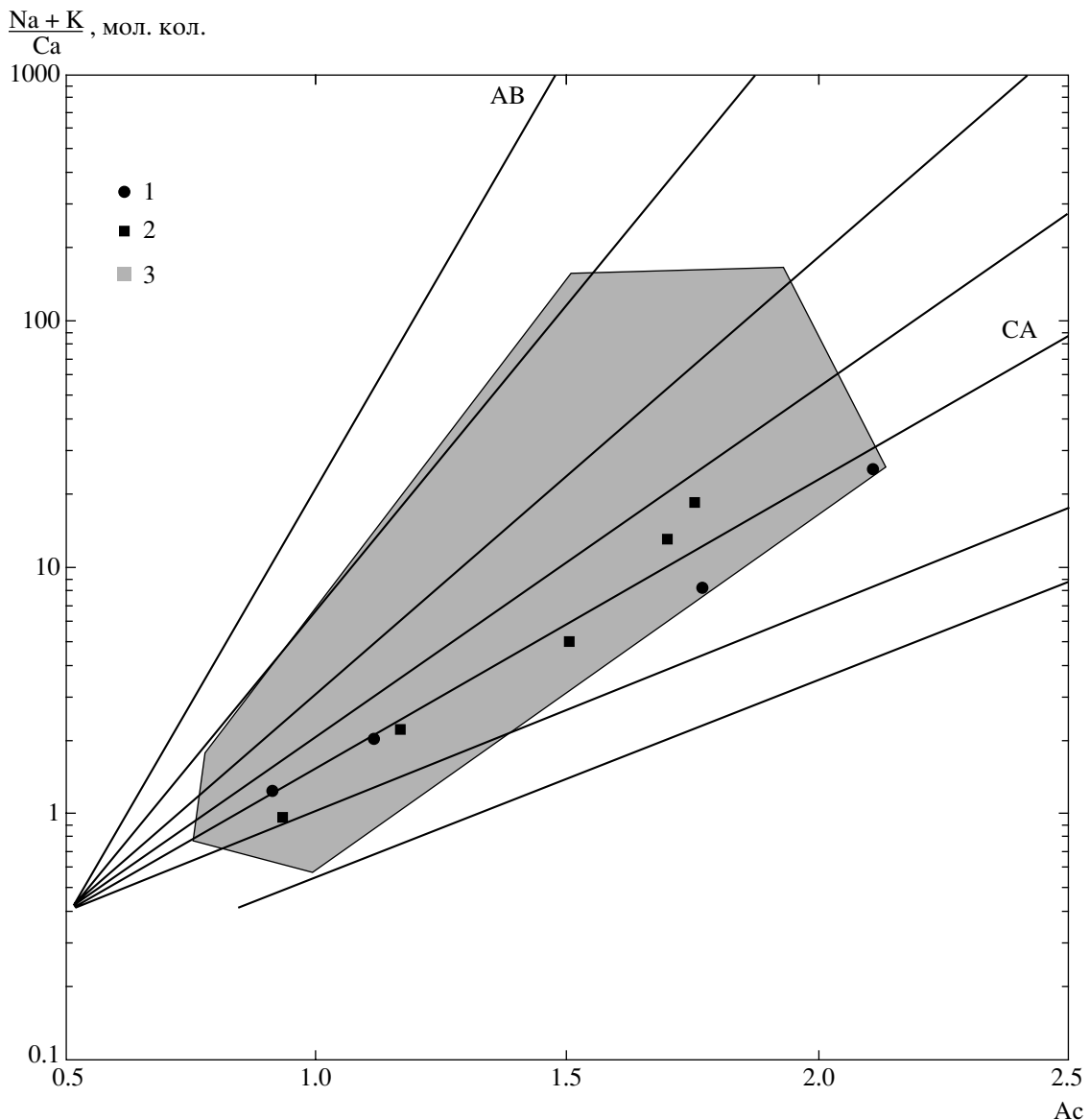
Магматизм. Интрузивные породы занимают около 5% (на юго-востоке в бассейне рек Оротукана–Среднекана) до 20% (на северо-западе в бассейне р. Сусумана-Берелеха, фиг. 2) территории развития золотоносных даек. Они объединены в многочисленные комплексы четырех основных возрастов (Апельцин, 1957; фиг. 3): *позднеюрские* (нера-бохапчинский комплекс), *позднеюрско-раннемеловые* (в легенде листов 1 : 200000 также позднеюрские) – (басугунынский, колымский, каньонский комплексы и др.), *раннемеловые* (негаяхский, сибердыкский комплексы), *поздне-меловые* (биликанский, омсукчанский, верхнеямский комплексы и др.).

На фиг. 4 позднеюрско-раннемеловые и ранне-меловые гранитоидные породы объединены в орогенные (коллизийные) гранитные комплексы. Из них нера-бохапчинский гипабиссальный, остальные плутонические. Для позднеюрских и позднеюрско-раннемеловых комплексов характерна щелочность пород нормального ряда, для более молодых – умеренно-щелочного ряда (фиг. 5). Возраст интрузивных комплексов основан на данных изотопно-хронометрических определений, взаимоотношениях с вмещающими толщами и прорывающими образованиями (фиг. 3).

Нера-бохапчинский комплекс малых интрузий традиционно объединяет многочисленные дайки

основного, среднего и кислого состава, не связанные явно ни с гранитными батолитами, ни с вулканическими структурами. Однако на юге территории они сопровождаются субсогласно вытянутыми интрузивными басугунынского комплекса (утинская свита даек и Басугунынская группа массивов). В состав комплекса входят: габбро, габбро-порфириды, диорит-порфириды, кварцевые диорит-порфириды, гранодиорит-порфиры, гранит-порфиры, лейкогранит-порфиры, иногда выделяют базальты и андезиты (возможно, из-за внешнего вида сильно измененных даек). Дайки нередко сконцентрированы в свиты (утинская, штурмовская, дебинская и др.), протягивающиеся в юго-восточном направлении (фиг. 1). Наиболее протяженная из даек вне свит – Арик прослежена с перерывами на 17 км. На северо-западе к комплексу относятся небольшие штокообразные тела максимальной площадью до 5 км².

Породы комплекса, по сравнению с одноименными более молодыми образованиями, характеризуются низкими отношениями K₂O/Na₂O; в гранит-порфирах и лейкогранит-порфирах понижена общая щелочность, в отличие от даек Березовского месторождения на Урале (фиг. 5). Содержания К составляют 1.5–3%, U – (1.75–4.5) × 10⁻⁴%, Th – (6–12) × 10⁻⁴%. Породы – немагнитные или слабо маг-



Фиг. 4. Петрохимическая диаграмма магматических пород Среднеканского рудного района (Бородин, 1987).

1 – среднеканская свита даек; 2 – утинская свита даек; 3 – область магматических пород района.

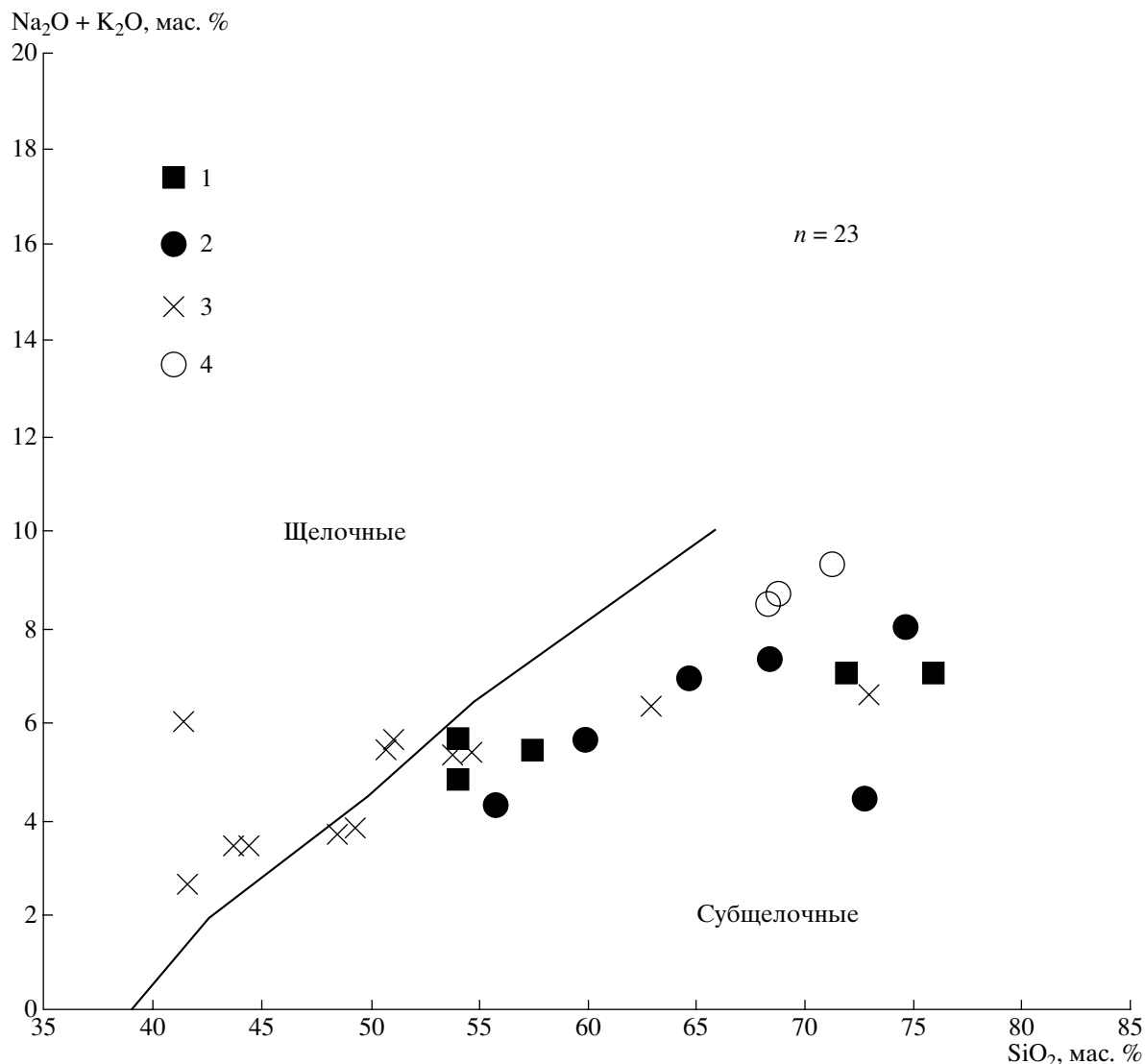
Линии основных петрохимических трендов (Бородин, 1987): АВ – щелочно-базальтовый, СА – главный известково-щелочной.

нитные, имеют пониженную плотность, обусловленную вторичными изменениями.

Нера-бохапчинский комплекс относится к диорит-гранит-гранодиоритовой формации, при этом кислую группу пород сближает с коровыми гранитоидами S-типа наличие биотита, акцессорных – ильменита, граната, других высокоглиноземистых минералов и соотношение петрохимических характеристик. В то же время в породах отмечаются низкие Rb-Sr-отношения, характерные для мантийных и мантийно-коровых образований. Возраст определен многочисленными радиологическими датировками (фиг. 3) и взаимоотношени-

ем со стратифицированными толщами и интрузиями колымского и басугуньинского комплексов. В экзоконтактных частях массивов Басугунья и Столовый дайки – контактово-метаморфизованные (Шило и др., 1988).

Басугуньинский диорит-гранодиоритовый комплекс объединяет массивы Басугуньинской группы: Басугуньинский, Сторожевой, Красивый, Грозовой, Столовый, крупный интрузив Морджат (на северо-западе), а также многочисленные более мелкие штоки и штокообразные тела; к нему же отнесены дайки, концентрирующиеся близ этих массивов и в их надынтризивных



Фиг. 5. Петрохимическая диаграмма пород колымских золотоносных даек.

1 – среднеканская свита; 2 – утинская свита; 3 – штурмовская свита; 4 – гранит-порфиры Березовского месторождения (Сазонов и др., 2001).

зонах, образуя свиты или поля: среднеканскую, ларюковскую, Сабаргинское, Сторожевое и др. Характерны многофазность интрузивных тел, но преимущественно гранит-гранодиоритового состава, преобладание в гранитоидах K_2O над Na_2O , сонахождение биотита и роговой обманки. Интрузивные тела – конкордантные и дискордантные. Порфировые разности отличаются от сходных по составу пород нера-бохапчинского комплекса более крупными и обильными вкрапленниками полевых шпатов и темноцветных минералов. Однако измененные дайки одного состава нера-бохапчинского и басугуньинского комплексов практически не различимы внешне.

В составе комплекса установлено пять фаз. Первая фаза – это диориты и кварцевые диориты,

дайки диоритов и диорит-порфиритов, кварцевых диоритов и кварцевых диорит-порфиритов в бассейне рек Среднекан, Сабарга. Вторая фаза – главная, к ней отнесены гранодиориты и граниты нерасчлененные, гранодиорит-порфиры, гранодиориты. Третья фаза – граниты, иногда гранит-порфиры. К четвертой фазе относятся лейкограниты, лейкогранит-порфиры, субщелочные двуполевошпатовые лейкограниты, субщелочные двуполевошпатовые лейкогранит-порфиры, аплиты, пегматиты. К пятой фазе, с определенной долей условности, отнесены дайки кварцевых диорит-порфиритов. Аномалии магнитного поля над интрузивными телами – слабые отрицательные.

По химическому составу породы комплекса относятся к нормальному ряду, отмечается не-

сколько повышенная щелочность в гранитоидах поздних фаз (фиг. 5). Калинатовое отношение повышенное, а в кислой группе пород K_2O стабильно преобладает над Na_2O . В гранодиоритах и гранитах второй фазы содержатся: $K - 3-5\%$, $U - (2-5) \times 10^{-4}\%$, $Th - (8-13) \times 10^{-4}\%$. С комплексом связано оруденение золото-редкометалльного и золото-кварцевого типов.

По сумме признаков кислая группа пород Басугуньинского комплекса занимает промежуточное положение между *I*- и *S*-гранитоидами. В большинстве случаев в ней установлены относительно высокие (“мантийно-коровые” и “коровые”) первичные отношения изотопов $^{87}Sr/^{86}Sr$ (Гамянин и др., 2003).

Интрузивные тела басугуньинского комплекса прорывают отложения триаса, нижней и средней юры, контактово-метаморфизуют интрузии нера-бохапчинского комплекса. Дайки среднего состава (1-я фаза), а также гранодиорит-порфиры (2-я фаза) ороговикованы в контактовом ореоле массива Средне-Буюндинский каньонского комплекса. Многочисленные $K-Ag$ -датировки пород басугуньинского комплекса (фиг. 3) неоднозначны и заключены в пределах 87.1–176.8 млн. лет (преимущественно раннемеловые).

U-Pb-датирование по акцессорным цирконам пород нера-бохапчинского и басугуньинского комплексов было проведено В.В. Акининым (Акинин и др., 2006) на ионном микрозонде в современном варианте SHRIMP (Stanford-USGS, США). Были датированы дайки – Среднеканская, Мощная, Терентьевская, шток Дарьял–2 и дайка Туманинская, колымские плутоны – Малый Анначаг и Чьорге. Для всех исследованных магматических пород получен близкий возрастной интервал $153-150 \pm 2$ млн. лет. Результаты датирования даек басугуньинского комплекса и массива Столовый показали возраст – 158.5 ± 1.4 млн. лет, несколько более древний относительно близлежащих нера-бохапчинских малых интрузий и даек.

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

Район развития золотоносных даек является частью Яно-Колымского металлогенического пояса, охватывающего область распространения коллизионных гранитоидных батолитов позднеюрского и раннемелового возраста (фиг. 1). Дайковые месторождения в пределах Яно-Колымского пояса в основном концентрируются в Иньяли-Дебинской металлогенической мегазоне, в границах одноименного синклиория. Выделяются три металлогенические зоны, трассируемые крупными линейными структурами.

На юго-востоке Иньяли-Дебинской мегазоны выделена Среднекано-Штурмовская металлогеническая зона общего северо-западного направле-

ния, охватывающая свиты золотоносных даек – Среднеканскую, Утинскую, Ат-Юрх-Штурмовскую, приуроченные к зоне разломов сдвигового характера, а также поля даек (Сабаргинское) и отдельные дайки – Арик, Крохалиная, Скрытая-Веселая и др. В этой зоне среди выявленных месторождений золота преобладает дайковый тип. Золотоносные дайки являются источниками многочисленных россыпей.

Северо-западнее выделяется Берелех-Нексканская зона, характеризующаяся развитием оруденения как дайкового, так и золото-кварцевого прожилково-жильного типов, а также очень богатыми россыпями (Чай-Юрх, Мальдяк, Некскан, Хевканья и др.). В 2003–2006 гг. в этом районе поисковыми работами подтверждена высокая перспективность Стахановского рудного поля с несколькими проявлениями золота дайкового типа (Березитовое и др.).

В расположенной южнее Эльгеня-Бохапчинской металлогенической зоне дайковый тип не имеет определяющего значения.

В первой и второй зонах практически отсутствуют крупные гранитные батолиты, здесь распространены лишь гранитоиды басугуньинского и нера-бохапчинского комплекса, обычно слагающие средние и небольшие по площади интрузивы и многочисленные свиты даек. Золотоносность установлена как в добатолитовых дайках, так и в дайках, синхронно формирующихся с гранитоидными массивами. Обычно золотоносные дайки имеют северо-западное направление, близкое к простиранию вмещающих толщ. Нередко в ядерных частях золоторудных зон и узлов, включающих свиты золотоносных даек, расположены интрузивы гранитоидов (там, где они выходят на поверхность), несущие оруденение золото-редкометалльной формации. Это характерно для Басугуньинского и Среднеканского рудно-россыпных узлов.

В строении рудных полей наблюдается некоторая аналогия с Березовским месторождением на Урале (Саонов и др., 2001; Бородаевский, Бородаевская, 1947). Площадь рудных полей достигает 100 км^2 . Рудные поля представляют собой систему параллельных даек, прослеженных на значительное расстояние (более 10 км), и контролируются крупными антиклинальными сводами, граничащими с синклинальными структурами (фиг. 2). В пределах рудных полей проявляются структурные и другие геологические особенности, присущие Березовскому месторождению. Главная особенность – локализация многочисленных жил золотоносного кварца в дайках гранитоидов. Жилы располагаются параллельно на расстоянии друг от друга до 2 м и более. Они простираются перпендикулярно по отношению к дайке, не выходя из ее

контура. Кроме того, промышленный интерес представляют также золото-кварцевые жилы, залегающие вне даек, в терригенных толщах. Золотосодержащей рудой являются не только жилы, но и импренрированные сульфидами сами дайки. Последние характеризуются бедными содержаниями, тогда как некоторые жилы, при относительно небольшой мощности, отличаются бо́льшими содержаниями золота.

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ РАЙОНА

Геодинамическую историю развития района, вмещающего дайковые месторождения, в результате обобщения материалов авторов и других исследователей (Чехов, 2000; Манафов и др. 2000; Парфенов, 1984; Шпикерман, 1998 и др.) можно представить в следующем виде. В раннем палеозое территория района была расположена на карбонатном шельфе пассивной континентальной окраины Сибирского континента. К концу девона ранее единая окраина Сибирского континента в процессе мощного рифтогенеза начинает раскалываться, и от нее отчленяется Приколымо-Омлевский блок. С карбона отлагаются терригенно-кремнистые глубоководные осадки верхоянского комплекса, которые продолжают накапливаться и в перми. Присутствие вулканогенного материала указывает на их образование в тылу Кони-Мургалской вулканической дуги. В пермских отложениях широко развиты турбидиты и диамектиты, образовавшиеся в условиях континентального склона. С середины триаса начинают формироваться внутренние поднятия, а на северо-востоке одновременно – Иньяли-Дебинский трог, в пределах которого вплоть до конца средней юры накапливаются тонкотерригенные и флишевые толщи. На ранних стадиях заложения трога (норий) отлагаются вулканогенно-терригенные осадки. Вулканический материал представлен преимущественно туфами и тефроидами, редко лавами среднего состава, образовавшимися в обстановке мелководного моря. Следующий этап геодинамического развития связан с началом субдукции океанической коры под Колымо-Омолонский микроконтинент и заложением на его краю Уяндино-Ясачненского вулканического пояса (в бат-келовейское время). В батское время, в связи с увеличивающейся скоростью субдукции, в обстановке повышенной тектонической подвижности в отдельных районах накапливаются подводно-оползневые алевролитовые и глинисто-алевролитово-песчаниковые формации, включающие олистолиты осадочных и вулканогенных пород. В тыловой части Колымо-Омолонского континента на границе с постепенно замыкающимся Иньяли-Дебинским трогом закладываются грабены, в которых формируются угленосные и вулканогенные молассы. Пик коллизионного

закрытия Иньяли-Дебинского трога приходится на границу оксфорда и кимериджа. Коллизия была вызвана столкновением Сибирского континента и Алазейской дуги (Парфенов и др., 1993), двигавшейся с северо-востока. Коллизионные процессы сопровождались грандиозной магматической деятельностью, результатом которой стало формирование Яно-Колымского гранитоидного пояса (фиг. 1), многочисленных полей даек и месторождений золота. Наиболее ранние – интрузивы неработающего и басугуньинского комплексов имеют мантийно-коровое происхождение (Гамянин и др., 2003). Их становление происходит одновременно с вулканическими процессами в Уяндино-Ясачненском поясе. Более молодые колымские гранитоды располагаются протяженной цепью северо-западного направления преимущественно вдоль оси Иньяли-Дебинского палеотрога. В значительной степени они имеют коровое происхождение и формируются на относительно небольших глубинах. По геолого-стратиграфическим данным, плутоны сформировались на глубинах 2–3 км (не более 5 км). Лишь для позднемеловых массивов предполагаемая глубина становления существенно меньше – 0.5–1.5 км (не более 3 км). В раннем мелу на юге территории на границе с плитой Кулу формируется вулканический пояс активной окраины континента (ОЧВП). В мезозоиде вдоль зон тектоно-магматической активизации в это время происходит внедрение гранитоидных массивов и локальные извержения вулканитов.

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА В ДАЙКАХ

Золотоносность колымских даек связана с интенсивностью гидротермально-метасоматических изменений (березитизации). Маломощные дайки (до 2.0 м) обычно полностью метасоматически изменены и являются рудными телами в своих границах (Утинская, Стахановская группа). Более мощные дайки отличаются неравномерной золотоносностью (Среднеканская, Арик, Россыпник и др.). Рудные столбы в этом случае приурочены либо к зальбанду дайки, либо к конкретным кварцево-жильным телам, ее пересекающим. Весьма вероятно, что дайки являлись благоприятной средой для проникновения рудоносных флюидов. Протяженность золотоносных даек – от первых тысяч до полутора десятков тысяч метров, мощность колеблется от 1 до 50 м. Вертикальный размах оруденения достигает 600 м и более (по данным бурения на Утинском месторождении).

Для дайковых месторождений характерны довольно простые геохимические поля. Отмечается тесная корреляционная связь золота и мышьяка. Эти же элементы образуют аномалии с содержаниями, превышающими 3 фона. Чуть выше фона

или на его уровне распространены свинец, цинк, вольфрам, серебро. На отдельных участках наблюдаются аномалии сурьмы (дайка 13, водораздел Утиная-Дарьял, дайка Сурьяная, дайка Крохалиная). Для рудных интервалов характерны высококонтрастные аномалии золота – до первых г/т.

Вторичные изменения в дайках – березитовые и пропиловитовые. В основных и средних породах плагиоклаз серицитизирован, темноцветные минералы хлоритизированы и карбонатизированы; более редки вторичные минералы – эпидот, кварц, альбит, актинолит, цеолиты, пирит. Часто породы представлены метадiorит-порфиридами, в них вторичные минералы составляют 90–97% объема породы.

Дайки пронизаны сетью кварцевых, альбит-кварцевых, карбонат-кварцевых, сульфидно-кварцевых прожилков (фиг. 6а), переходящих в непротяженные жилы (фиг. 6б), и местами насыщены вкрапленностью сульфидов – пирита и арсенопирита. Из рудных минералов (первые проценты) распространены – арсенопирит, пирит, самородное золото, пирротин, сфалерит, халькопирит, антимонит, шеелит и др. Среднее содержание золота на массу даек обычно не превышает первые г/т, более богатые руды характеризуются мелкогнездовым размещением. Форма гнезд часто неправильная и зависит от многих факторов. Так, повышенные концентрации золота наблюдаются на участках сложной морфологии, где установлены кулисы и заливы, а также резкие изменения мощности даек, раздувы и пережимы в местах пересечения даек тектоническими нарушениями. Участки, где отсутствуют кварцевые жилы и прожилки, не имеют высоких (более 1 г/т) содержания золота, в то же время кварцевые жилы в дайках не всегда золотоносны.

Рудные столбы приурочены к структурным ловушкам, местам изменения простирания и углов падения даек. Характеристика наиболее изученных месторождений приведена в табл. 1. Золотоносные дайки служат коренными источниками большинства колымских средних и мелких россыпей (табл. 2).

Ниже приведена более детальная характеристика нескольких изучавшихся нами месторождений золота в дайках. Их положение показано на фиг. 1.

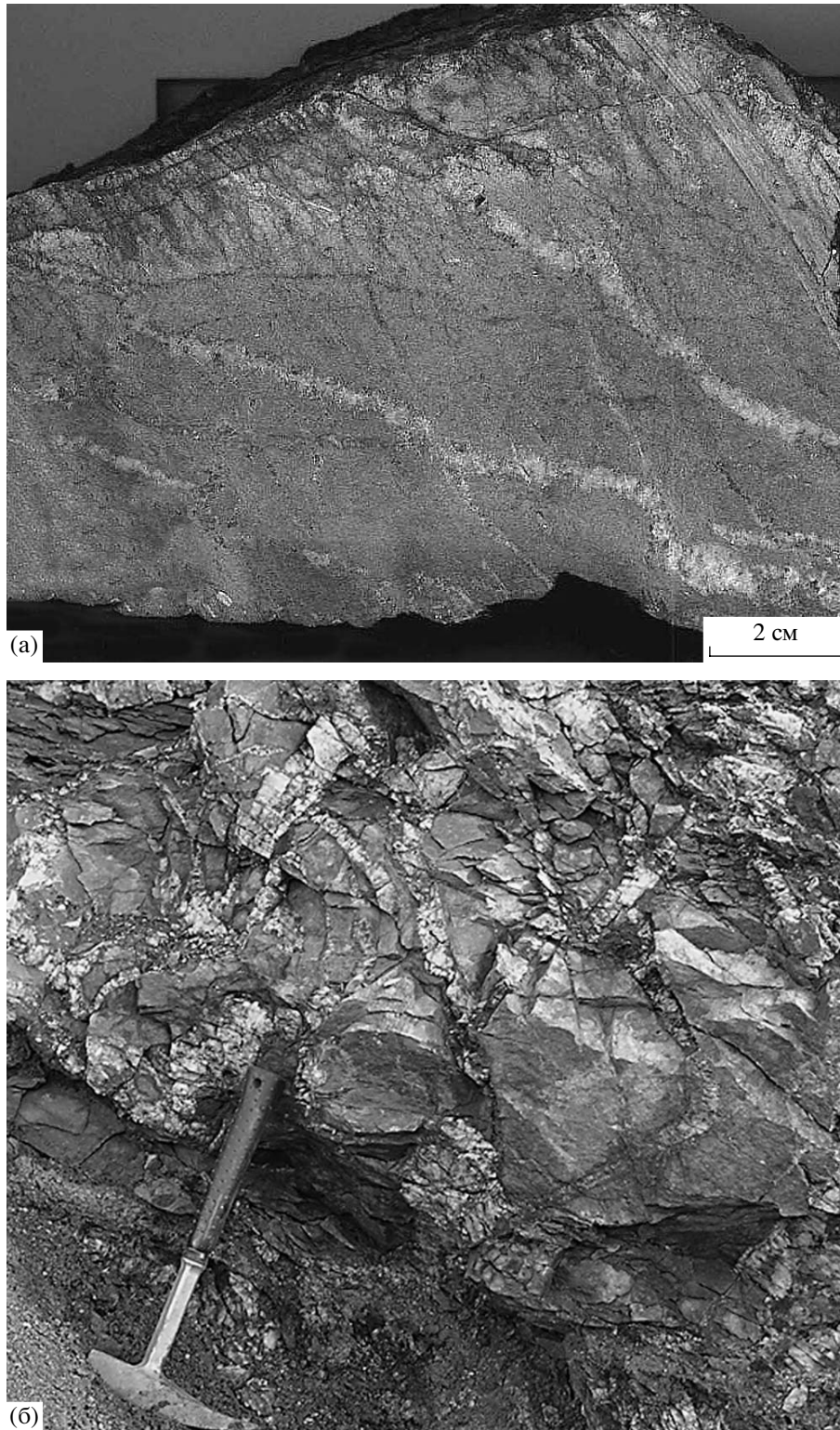
Среднеканское месторождение

Оно располагается на правом берегу р. Среднекан в междуречье Встречный–Геологический и представлено золотоносными дайками Среднеканской и Водораздельной, которые располагаются в 2.4–2.6 км друг от друга.

В 30–40-х годах поисковые работы в рудном поле проводились неоднократно. В 1978 г. в пределах рудного поля возобновляются поисковые работы, а с 1981–1984 гг. на месторождении проводит поисково-разведочные работы на Колымском горном участке Сеймчанская геологоразведочная экспедиция. Дайки изучались с поверхности канавами и траншеями со сплошным опробованием и на глубину 16 колонковыми скважинами суммарной длиной 2246.5 м. Кроме того, по дайке Среднеканской пройдены две штольни с рассечками общей протяженностью 1340 м с отбором валовых проб, через 20 м. В результате этих работ было изучено геологическое строение месторождения и его минералого-геохимические особенности.

В Среднеканскую рудно-россыпную зону входит 45 россыпных месторождений золота. Наиболее крупная по запасам – россыпь р. Среднекан, из которой добыто более 11 т. Коренными источниками россыпей служат золоторудные дайки среднеканской свиты. Общая добыча золота из россыпей узла – 30 т.

Дайка Среднеканская протягивается в северо-западном направлении от долины руч. Геологический через долину р. Среднекан до руч. Согжойный на 18 км (фиг. 7а). Она изучена с поверхности горными выработками на интервале 9.5 км (фиг. 7б). Мощность дайки постепенно меняется от 1.5–4.5 м на востоке (в долине руч. Маристый) до 8.5–9.2 м на западе. На глубину (с учетом рельефа) дайка прослежена на 580 м, установлены углы падения дайки на юго-запад 79° и более. Контакты дайки – резкие, как правило, сорванные. Дайка разбита системами разнонаправленных трещин, нередко выполненных кварцевыми прожилками (фиг. 6). Сложена она диорит-порфиридами, в значительной степени метасоматически измененными и сульфидизированными (вкрапленность пирита, арсенопирита, пирротина). Сульфиды на поверхности обычно выщелочены и замещены гидроксидами железа. Количество сульфидов в рудном теле достигает 8–10%. Золото в дайке крупное (>1 мм – 65% и более, в среднем 5–7 мм, максимум до 20 мм), характеризуется каркасными или жилковидно-пластинчатыми формами, редко встречаются кристаллы. Пробность золота колеблется от 807 до 940‰, в единичных случаях встречается и более низкопробное золото. Золотоносность в дайке носит бонанцевый характер и, несомненно, зависит от степени ее гидротермальной проработки. Протяженность рудных столбов значительно меньше безрудных интервалов дайки. По данным поверхностных горных выработок, выделено 15 рудных интервалов суммарной длиной 708 м (от 8 до 162 м) и средней мощностью 6.6 м, со средним содержанием золота 4.2 г/т (от 2.4 до 24.8 г/т). Максимальное содержание золота в сечении по дайке составило 33.7 г/т на 7 м мощности. Подземными горными выработками и сква-



Фиг. 6. Морфология кварцевых прожилков в дайке Среднеканская: а – в зальбанде дайки, б – в основной массе березитов.

жинами колонкового бурения дайка изучена на интервале в 1.5 км. Средние содержания золота и параметры рудных тел в пределах выделенных

блоков по результатам опробования штольневых горизонтов оказались ниже, чем по поверхности. По результатам поверхностных и подземных гор-

Таблица 1. Характеристика изученных месторождений золота в дайках

Дайки	Состав	Параметры даек			Содержания		Параметры рудных блоков			Содержание Au, г/т Sb, %
		L, км	H, м	мощность, м	Au, г/т	$\frac{S, \%}{As, \%}$	L, м	H, м	мощность, м	
<i>Утинская свита</i>										
Дайка 7	α - $\delta\pi$	14(12)	660	0.2–4/1.2	0.1–27.5/5.6	<u>0.5–3</u>	30–400	100–300	1.1–1.3	4.1–11.1
Дайка 6	$\gamma\pi$	16(13)	320	0.1–13/6.5	0.3–2.8/1.3		24–220	100	4.4–7	2.6–7.1
Дайка 13	$\delta\pi$	5(4)	370	0.1–9/5.5	0.1–11.7		100	50	7.2	$\frac{11.7}{3-10}$
Красивая	$\gamma\pi$	3.5(1)	100	5–10/6.9	сл-48					3.1
<i>Среднеканская свита</i>										
Среднеканская	$\delta\pi$	18(9)	350	5.6	0.3–3.8/1.97	$\frac{1-10}{0.225}$	32–235	150	2.8–11.6	2–3.9
Водораздельная	$\delta\pi$	7(3)	350	7.7–16/12.6	0.2–1.1/0.56		108		9.2	2.1
<i>Штурмовская свита</i>										
Штурмовская дайка 8	α - $\delta\pi$	5.4(2.4)	230	0.2–12.5/4.5	1.65	$\frac{0.5-7}{0.87}$	20–100	50–120	4.5	4–10
Восточная	β	4.4(0.72)	200	0.3–9.2/4.1	Низкое	<u>0.5–1</u>	23–80	80–100	1.5–5.7	9.73
Транспортная	$\delta\pi$	6(2.5)	200	2–15/4	0.22–7.34	<u>1–5</u>	2500	115–284	3.5–4.0	6.9
<i>Арик-Ревкомовская свита</i>										
Арик	$\delta\pi$	17(3)	200	2–50/15.4	0.1–1.8	<u>0.5–2</u>	16–76	200	12.2–19.4	2.04–3.57
Крохалиная	к $\delta\pi$	3(0.4)	50	4–36/8.9	/1.25		80	50	9.4	$\frac{2.92}{11.4}$
<i>Светлинско-Чалбаньинская свита</i>										
Новая	$\delta\pi$	1.9	200	6–21		<u>3–5</u>	116	200	15.6	4.5

Примечание. L – длина золотоносного участка дайки; H – протяженность по падению. $\delta\pi$ – диорит-порфириты, к $\delta\pi$ – кварцевые диорит-порфириты, $\gamma\pi$ – гранит-порфиры, α – андезиты, β – базальты.

ных выработок выделены семь рудных блоков протяженностью от 40 до 198 м и средней мощностью 5.4–10.7 м, со средним содержанием золота 2.0–3.7 г/т. Золотое оруденение не выходит за пределы дайки, совпадая с прожилковым окварцеванием. Однако в отдельных случаях наблюдаются высокие концентрации золота на участках сорванных контактов дайки.

Дайка Водораздельная располагается в 2.5 км к северу от Среднеканской и протягивается параллельно ей на 6.6 км. Изучена дайка значительно слабее, чем предыдущая, только с поверхности и наиболее детально траншеями на интервале в 900 м на междуречье истоков Геологический–Сабарга. По результатам бороздового опробования в дайке Водораздельной выявлены два рудных интервала протяженностью 28 и 108 м, мощностью 8.4 и 9.4 м со средним содержанием золота соответственно 2.7 и 2.1 г/т.

По остальным дайкам, обнажающимся в рудном поле, содержания золота значительно ниже и

лишь в отдельных сечениях превышают десятые доли г/т. В кварцевых прожилках из дайки Мощной установлено видимое золото. По данным бороздового опробования, содержание его не превышает 3.7 г/т. Кроме даек, золотоносность установлена в минерализованных зонах дробления. Так, на водоразделе руч. Встречный–Маристый в субширотной зоне сульфидизации и окварцевания, вскрытой канавой 17, содержание золота составляет 12.3 г/т на 5 м мощности. На водоразделе Маристый–Геологический в аналогичной зоне содержание золота достигает 22.99 г/т на 1 м мощности (канавы 16). Повышенные концентрации золота выявлены и в отдельных кварцевых жилах: в верховьях руч. Встречный – 12.2 г/т и на левом борту руч. Кварцевый – 11.5 г/т.

Месторождение Крохалиное

Оно входит в состав Арик-Ревкомовской рудно-россыпной зоны, которая протягивается в за-

Таблица 2. Сравнение добычи золота из россыпных и коренных месторождений

Рудная зона	Месторождение, дайки	Добыча, т		Характеристика золота				Наличие самородков, г	
		из коренных	из россыпей	пробность, ‰		крупность, мм		коренные	россыпи
				коренные	россыпи	коренные	россыпи		
Утинская	Утинское, дайки 6, 7, Красивая	10.7	30	818–950	879–934	до 10	0.5–2	До 300	До 1000
Среднеканская	Дайки Среднеканская, Водораздельная	–	Около 30	807–940	710–905	2–7 до 20	0.5–5	–	До 180
Ат-Юрях-Штурмовская	Дайки Штурмовская, Транспортная, Восточная	0.195	Около 400	900–955	900–950	0.5–30	4–6	250–300	До 4000
Арик-Ревкомовская	Дайки Арик, Крохалиная	–	Около 6	897–903	800–914	0.5–1	0.5–2		До 50

пад-северо-западном направлении на 40 км от устья руч. Золотистый до долины руч. Южный при ширине 4–8 км. Она включает золотоносные дайки нера-бохапчинского комплекса, вытянутые в северо-западном направлении и кулисообразно- или с небольшими перерывами сменяющие друг друга по простиранию. Золоторудная минерализация сконцентрирована в дайках Ревком, Арик, Крохалиная и аналогична минерализации Утинской зоны. Наиболее изучены и промышленно значимы дайки Крохалиная и Арик, меньше – дайка Ревком. В Арик-Ревкомовскую рудно-россыпную зону входят 13 россыпных месторождений золота. Коренными источниками россыпей служат золотоносные дайки. Общую добычу в зоне можно оценить в 6 т.

Дайка Крохалиная. Первые сведения о золотоносности дайки получены в 1933 г. партией Е.Т. Шаталова. В 1936 г. проводилась пробная добыча сурьмяной руды. Были пройдены каналы, 2 штольни и шахта глубиной 30 м. В пределах рудного поля распространены флишоидные раннеюрские отложения, слагающие узкую запрокинутую к югу антиклиналь. Дайка Крохалиная приурочена к трещине скола, секущей под острым углом вмещающие породы. Она прослежена в субширотном направлении на 3 км с падением на север под углами 60°–80°. Мощность дайки изменяется от 4 до 36 м, составляя в среднем 6–8 м. Дайка сложена альбитизированными кварцевыми диорит-порфиритами, рассеченными многочисленными трещинами и кварц-альбитовыми и кварц-кальцитовыми жилами и прожилками, максимальные концентрации которых наблюдаются в узлах пересечения дайки с разломами северо-восточного простирания. Мощность прожилков от нитевидных до 20–50 см. Рудная минерализация представлена антимонитом, арсенопиритом, пиритом, самородным золотом. Наиболее распростра-

нен антимонит, образующий вкрапленность, прожилки или крупные агрегатные скопления. Установлено наложение антимонитовой минерализации на более раннюю золото-кварцевую минеральную ассоциацию. По траншее 10 выделен интервал в 80 м (10–90 м) средней мощностью 9.4 м и средним содержанием золота 2.92 г/т.

Стахановское рудное поле

Оно находится в Сусуманском районе Магаданской области (в 50 км к северу от поселка Сусуман) и располагается в юго-западном крыле Иньяли-Дебинского синклинория. Рудное поле (площадью 65 км²) включает одно месторождение (Березитовое) и четыре рудопроявления: Заболоченное, Буровое, Стахановец и Незаметное.

Месторождение Березитовое залегает в морских терригенных отложениях средней юры. Вмещающие породы представлены флишоидным переслаиванием песчаников, глинистых сланцев и алевролитов с прослоями аргиллитов. Стратифицированные отложения подвержены региональному метаморфизму зеленосланцевой фации, ороговикование развито только на контактах с дайками. Осадочные породы прорваны многочисленными пологозалегающими дайками и пластообразными телами диорит-порфиритов, кварцевых диорит-порфиритов нера-бохапчинского комплекса (фиг. 8). Азимут падения даек 220°–260°, угол падения от 10° до 35°. Средняя мощность даек 5–6 м, протяженность до 1.5 км и более.

В дайках интенсивно проявлены метасоматические изменения, выразившиеся в серицитизации, карбонатизации, хлоритизации, окварцевании и сульфидизации. В результате дайка утрачивает свой первоначальный облик и в конечной стадии метасоматоза становится березитизиро-



Фиг. 7. Панорама дайки Среднеканская (а), та же дайка в траншее (б).

ванной дайкой. Для метасоматитов характерны многочисленные метакристаллы пирита и арсенопирита размером до 1.5–2.2 мм.

В березитизированных дайках распространены кварцевые жилы и зоны кварцевого прожилкования (фиг. 9). Прожилкование крайне неравномерное, в одном пересечении горной выработкой оно может меняться от 1 до 10–15% (редко достигая 30–40%) на небольших интервалах до 3–5 м, в среднем составляет 3–5%. Мощность жил 0.1–0.3 м, в редких случаях до 1.5 м. Длина жил 10–15 м, зон прожилкования до нескольких десятков метров. Кварцевые жилы и прожилки в дайках имеют неправильные формы, по простиранию они часто изгибаются, могут внезапно менять свою мощность и разветвляться. Жильные минералы в основном представлены кварцем, значительно реже встречаются карбонат, полевой шпат и гипс.

Количество рудных минералов достигает в прожилках до 1%, редко 2–3%, иногда достигает 5–7%. Рудные минералы в основном представлены пиритом и арсенопиритом, менее распространены – пирротин, халькопирит, галенит и самородное золото. Редко встречаются бурнонит, блеклая руда, сфалерит и айкинит. Эти минералы характерны для бонанцевых руд, где содержание золота превышает 100 г/т. Соотношение пирита и арсенопирита в березитизированных дайках 3 : 1, а в кварцевых прожилках и жилах 1 : 5. Содержание золота в дайках, по данным бороздового и kernового опробования, крайне неравномерное, от первых десятых долей г/т до сотен г/т.

Выделено две генерации самородного золота.

Самородное золото I встречено в виде мелких (<0.01–0.05 мм) выделений, приуроченных к трещинкам в метакристаллах арсенопирита или же к границам сростаний метакристаллов арсенопирита (реже к границам сростаний пирита и арсе-

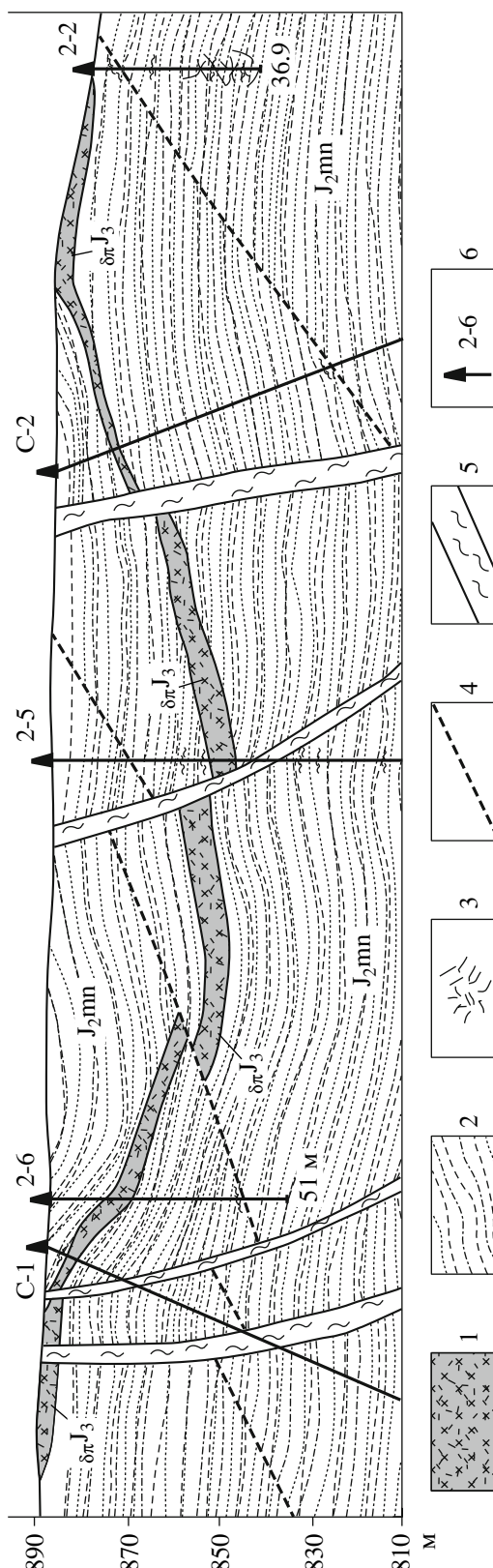
нопирита) в березитах. Присутствие субмикроскопического золота в сульфидах подтверждено атомно-абсорбционным анализом метакристаллов арсенипирита (золото от 46 до 60 г/т, серебро от 15 до 36 г/т). Золотоносность сульфидов подтверждается данными бороздового и кернового опробования березитизированных даек (со всей площади Стахановского рудного поля). В участках даек, где прожилкование практически отсутствует, но есть незначительная сульфидизация породы, содержания золота составляют от 0.1 до 0.5 г/т (редко до 1 г/т). Присутствие значительного количества тонкодисперсного золота в сульфидах позволяет проводить аналогию золотоносных даек и золото-редкометального типа оруденения.

Самородное золото 2 распространено в кварцевых прожилках и жилах в березитизированных дайках. Крупность его от 0.05 до 13 мм, преобладает фракция 0.25–2.0 мм (фиг. 10). Морфология его частиц пластинчатая, цементационная и интерстициальная. Редко встречаются практически идиоморфные октаэдрические кристаллы размером 0.3–1.0 мм. В сростаниях с самородным золотом 2 установлены следующие минералы: арсенипирит, пирит, блеклая руда, бурнонит, сфалерит, галенит, халькопирит, Pb-Sb-сульфосоли, скородит, лимонит, кварц и серицит. Средняя проба золота 864‰. Внутренняя структура самородного золота 2 преимущественно полизернистая, реже – монокристаллическая, часто встречаются простые и полисинтетические двойники, иногда высокопробные каймы (травление $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$).

Спектральным анализом в самородном золоте 2 установлены следующие элементы примеси: Sb, Fe, Pb, As, Mn, Bi, Cu. Эти примеси являются типоморфными как для золото-кварцевой, так и для золото-редкометальной формаций Яно-Колымского металлогенического пояса. Они отражают состав минералов, сростающихся с самородным золотом.

На основании данных атомно-абсорбционного, пробирного и спектрального анализов 100 задирковых проб на рудные компоненты со всей площади Стахановского рудного поля, проведен корреляционный анализ. Выявлена группа элементов – Au, Sb, Pb, Ag, Cu –, между которыми установлены наиболее высокие положительные корреляционные зависимости. Значения коэффициентов корреляции для Au с этими элементами следующие: Sb – 0.77, Pb – 0.80, Ag – 0.95, Cu – 0.72.

Степень окисления руд варьирует в широких пределах от 0 до 100% и в среднем составляет 30–40%. Гипергенные минералы в основном представлены лимонитом, скородитом и ярозитом, менее распространены – малахит, азурит, халькозин и пиролюзит.



Фиг. 8. Разрез через участок Березитовый, по второму буровому профилю. Масштаб 1 : 2000.
1 – пластообразные залежи березитизированных диоритовых порфиров с кварцевыми прожилками, нерабохапчинский комплекс; 2 – песчаники, алевролиты, артиллиты средней юры; 3 – кварцевые жилы и прожилки; 4 – разрывные нарушения; 5 – зоны дробления и милонитизации; 6 – сваяина и ее номер.



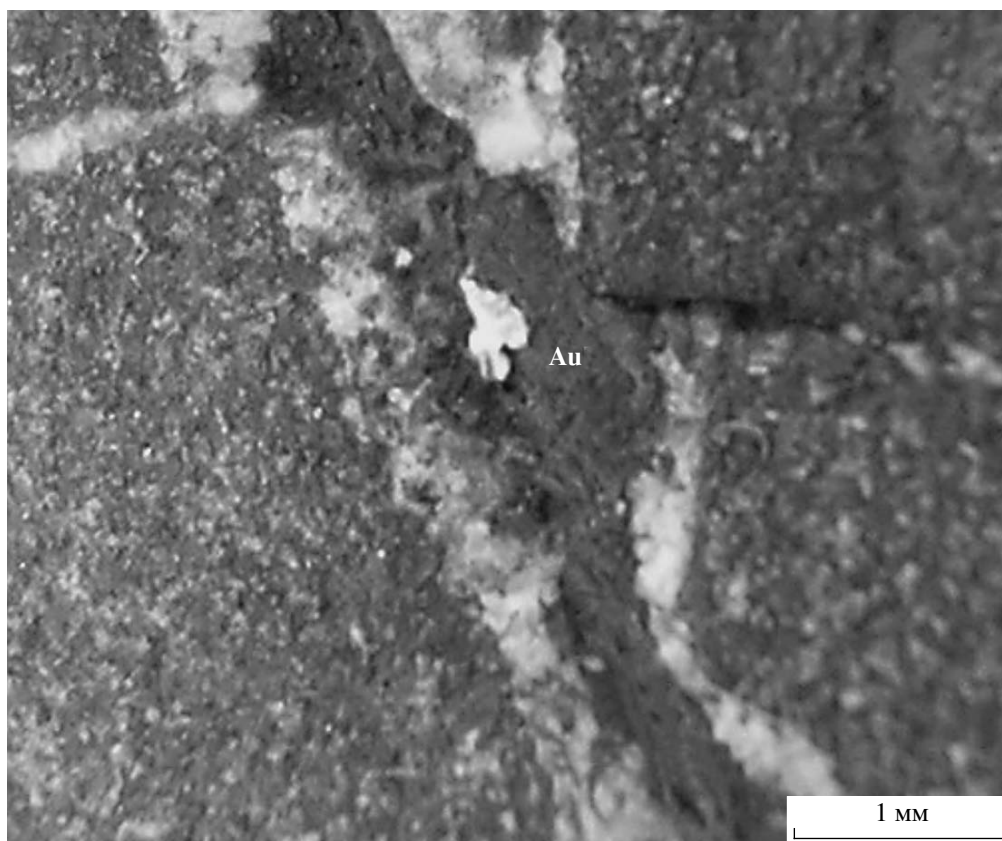
Фиг. 9. Лестничные жилы в дайке, Березитовое месторождение.

На основании изучения вещественного состава и пространственно-временных взаимоотношений минералов установлены признаки дискретного минералоотложения, выделены семь стадий минералообразования, сгруппированных в три этапа. Первый этап – метаморфогенный, представлен одной кварц-хлоритовой стадией. Второй этап – гидротермально-метасоматический, представлен пятью стадиями: кварц-пирит-пирротиновая; кварц-пирит-арсенопиритовая; золото-арсенопирит-пиритовая; золото-галенит-халькопиритовая и карбонат-антимонитовая. Третий этап – гипергенный, представлен одной скородит-лимонитовой стадией.

Пологое залегание даек Стахановского рудного поля (фиг. 8) является благоприятным фактором для образования относительно крупных частиц самородного золота (преобладает фракция 0.25–2 мм), так как создаются условия для экранирования рудоносных растворов. Пологое залегание также способствует экономически выгодно проведению разведочных и эксплуатационных работ. Наличие в кварцевых прожилках или в отдельных участках кварцевых жил бурнонита, блеклой руды, сульфосолей и галенита, а также иногда хорошо заметных вторичных минералов малахита и азурита можно использовать в качестве поискового признака для обнаружения обогащенных участков руд (гнезд с содержанием золота более 100 г/т).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗОН ТОНКОВКРАПЛЕННОЙ СУЛЬФИДИЗАЦИИ В ТЕРРИГЕННЫХ ТОЛЩАХ, ВМЕЩАЮЩИХ ЗОЛОТОНОСНЫЕ ДАЙКИ

Золотоносные дайки размещаются обычно среди тонкотерригенных толщ триаса и юры, причем большинство выявленных месторождений на современном эрозионном срезе концентрируется в юрских толщах. Вмещающие дайки породы обычно неравномерно сульфидизированы (преимущественно пиритизированы и пирротинизированы, изредка встречается арсенопирит). В значительной степени сульфиды (пирит и пирротин) приурочены к зонам смятия, нередко ассоциируют с золотоносным кварцем (фиг. 11). Пиритизация здесь представлена как вкрапленностью обычно кубического пирита в тонкотерригенных породах, так и прожилками либо чисто пиритовыми, либо кварц-пиритовыми и пиритовыми конкрециями. Эти зоны сульфидизации обычно имеют субширотное или северо-западное направление. Золотоносные дайки располагаются либо целиком в пределах зон сульфидизации (сопровождают их), и тогда они интенсивно расланцованы (утинская, штурмовская, чай-юринская свиты), либо частично в их пределах (среднеканская свита, дайки Арик, Крохалиная). Отмечается увеличение золотоносности даек в пределах региональных зон сульфидизации.



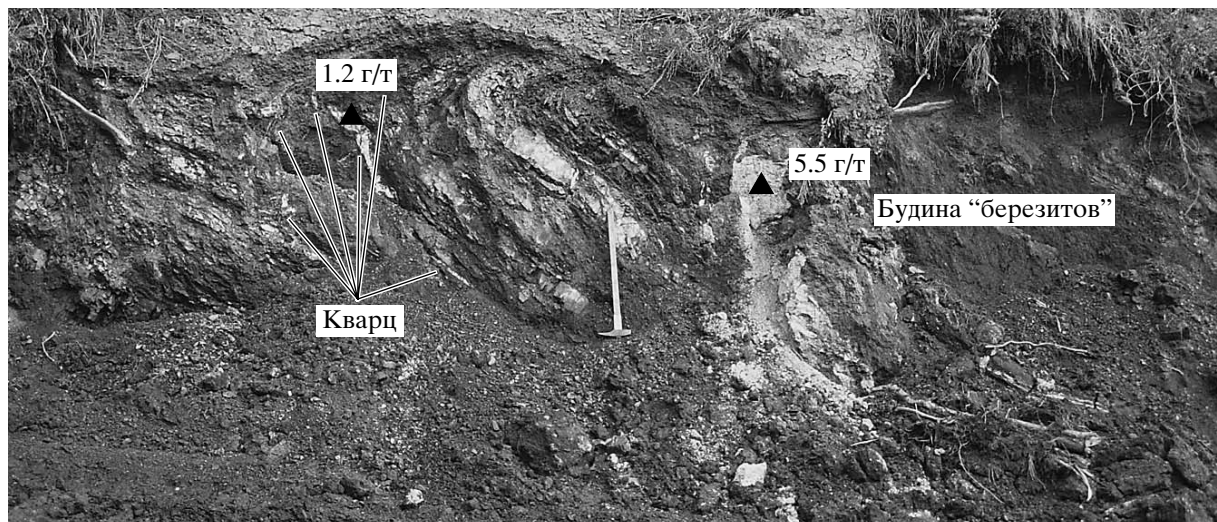
Фиг. 10. Самородное золото в кварцевом прожилке в дайке (Березитовое месторождение).

В 1976 г. было подсчитано, что в Яно-Колымском поясе выявлена 121 зона сульфидизации мезозойского возраста (Бабкин и др., 2001). Из этих зон 60% – пиритовые и пирит-пирротиновые, а 24% – многосульфидные (галенит, арсенопирит, сфалерит, халькопирит и другие минералы) и 14% – минералогически не исследованы. Параметры зон в тех случаях, когда они были определены, следующие: ширина – от первых метров до 5–6 км (обычно 0.1–2 км), длина – от сотен метров до 20 км и более, при площади от 0.5 до 120 км². Только некоторые из этих зон содержат золотое оруденение жильного и дайкового типа. Но это, тем не менее, стимулировало развитие представлений об околорудной (то есть синрудной) природе зон сульфидизации. На протяжении ряда лет нами развивались иные, более сложные представления о совмещении жильных месторождений с разновозрастными золотоносными зонами сульфидизации (Сидоров, Волков, 1998), а также о существенной роли этих зон как источников жильной золото-кварцевой и золото-сульфидной вкрапленной минерализации (Сидоров, Волков, 2000, 2001).

Нами изучалась сульфидизация толщ нижнего и среднего триаса, нижней и средней юры, вмещающих золотоносные дайки. Количество сульфидов в этих породах обычно составляет доли про-

цента (Утинская зона), достигая иногда 1–3% (Право-Оротуканская зона). В плотике Среднеканской россыпи выходят терригенные отложения нижней юры, в которых установлены зоны повышенной пиритизации и сгущения непротяженных маломощных кварцевых прожилков, ориентированных в восток-северо-восточном направлении (в единичных пробах концентрация золота достигает 12.3 г/т). Содержание элементов-примесей во вкрапленном пирите из среднеканской зоны сульфидизации, по данным нейтронно-активационного анализа (аналитик – А.Л. Керзин, ИГЕМ РАН), составляет: Au – 0.5 г/т, Ag – 2.1 г/т, As – 0.19%, Co – 0.006%, Se – 0.002%, Sb – 0.0025%, Cd – 0.0019%.

Пирит в зонах сульфидизации встречается в виде метакристаллов кубической формы (фиг. 12а), размерами до 20–30 мм по ребру и в виде глобулярных лентовидных микрообособлений тонкозернистого строения. Общее количество его составляет обычно 1–3%, иногда достигая до 30%. Нередки конкреции размером от 1.5 см до 25 × 70 см в поперечнике (фиг. 12б). Следует отметить первичную природу глобулярного пирита и метанетичный характер кристаллического пирита, что отчетливо наблюдается в конкрециях, содержание золота в которых достигает 1.2 г/т (фиг. 12б). В



Фиг. 11. Зона смятия, насыщенная вкрапленными сульфидами, Стахановское рудное поле.

Центрально-Колымском районе Яно-Колымского пояса, как правило, участки, обогащенные пиритом, приурочены к границам слоев или к песчаным прослоям среди глинистых сланцев (фиг. 12а).

Исследование изотопного состава серы пирита показало его чрезвычайную неоднородность, от -17.8 до $+15.69\%$ в отличие от жильного пирита, обладающего устойчиво легкой серой (Степанов, 2001). Среди вкрапленного пирита по составу выделяются две разновидности: чистый пирит и мышьяковистый (до $3.9-4.25\%$ As) пирит. Последний, по всей видимости, ближе по времени формирования золото-рудообразующим процессам. Золотоносность пирита невысокая – от 0.08 до 3 г/т (среднее 0.57) для чистого пирита и более высокая (в среднем 1.34 г/т) для мышьяковистого пирита.

В плотике россыпи руч. Штурмового (штурмовская свита даек) выходит алевролитово-аргиллитовая толща нижней юры, в которой также выявлены зоны вкрапленной пиритовой минерализации шириной от первых до $10-30$ м. Количество пирита в них – от $1-3$ до 5% . Повышенные концентрации золота приурочены в зонах к местам скопления ветвящихся кварцевых прожилков и сгущения сульфидов. Золото установлено в кубическом пирите – $0.01-1$ г/т, в прожилках пирита от 1 до 100 г/т. В золотоносном пирите заметно увеличивается его мышьяковистость до 0.5% .

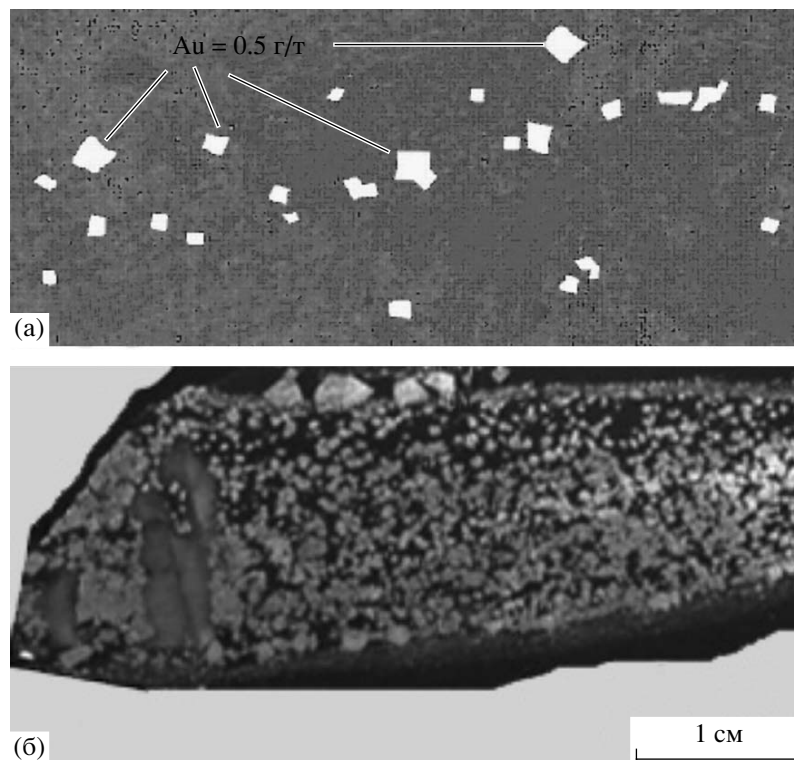
В плотике россыпи р. Малый Ат-Юрях (стахановская свита даек) выявлены зоны сульфидной вкрапленности и прожилково-жильного окварцевания мощностью до нескольких десятков метров. Сульфидизация и окварцевание развиты по зонам смятия в углеродсодержащих аргиллитах и алевролитах с прослоями песчаников и туфопесчаников. Золотоносные образования в зонах

представлены как кварцевыми жилами и прожилками, так и скоплениями сульфидов. Среди последних резко преобладает пирит (от 1 до $3-5\%$), который представлен либо кубическими кристаллами (содержащими золото от 0.01 до 1 г/т), либо прожилками и линзами мощностью до $1-2$ см (содержат золото от $1-10$ г/т). Повышенные концентрации пирита тяготеют к границам прослоев туфопесчаников среди глинистых сланцев, а также к постлойным трещинам. Золото внутри зон распространено неравномерно, на фоне низких содержаний ($0.5-3$ г/т) отмечаются небольшие участки с содержанием более 10 г/т. Самородное золото отмечается в жильном кварце в ассоциации с арсенопиритом в виде мелких ($0.01-1$ мм) выделений. В пирите золото установлено в микроскопических выделениях ($0.01-0.1$ мм). С повышением золотоносности в пирите увеличивается содержание мышьяка.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КВАРЦЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА В ДАЙКАХ

Для изучения условий формирования золотого оруденения в дайках были выполнены термобарогеохимические исследования флюидных включений в кварце трех месторождений (Среднеканское, Крохалиное и Березитовое).

Среди флюидных включений в кварце из рудных жил золоторудных даек выделены в соответствии с известными критериями (Реддер, 1987 и др.) первичные, первично-вторичные и вторичные включения. Первичные флюидные включения, изучению которых было уделено особое внимание, располагаются по зонам роста зерен минералов или распределены равномерно в объеме



Фиг. 12. Кристаллический слабозолотоносный пирит (а) и пиритовая конкреция (б) из вмещающих алевросланцевых пород в плотике Среднеканской россыпи.

кварца внутри зерен. В большинстве изученных образцов размеры этих флюидных включений варьируют от 3 до 30 мкм, в основном же составляют 10–15 мкм. Первично-вторичные включения приурочены к трещинам, заканчивающимся в наружных зонах зерен и не выходящим за их границы. К вторичным флюидным включениям отнесены цепочки включений, приуроченные к секущим трещинам, пересекающим границы зерен.

По фазовому составу при комнатной температуре флюидные включения подразделены на три типа (фиг. 13):

Тип I: углекислотно-водные флюидные включения. Среди них встречаются двухфазовые, в которых присутствуют фазы жидкой воды и плотной CO_2 в газовой фазе, и трехфазовые, содержащие жидкую воду, а также жидкую и газообразную CO_2 .

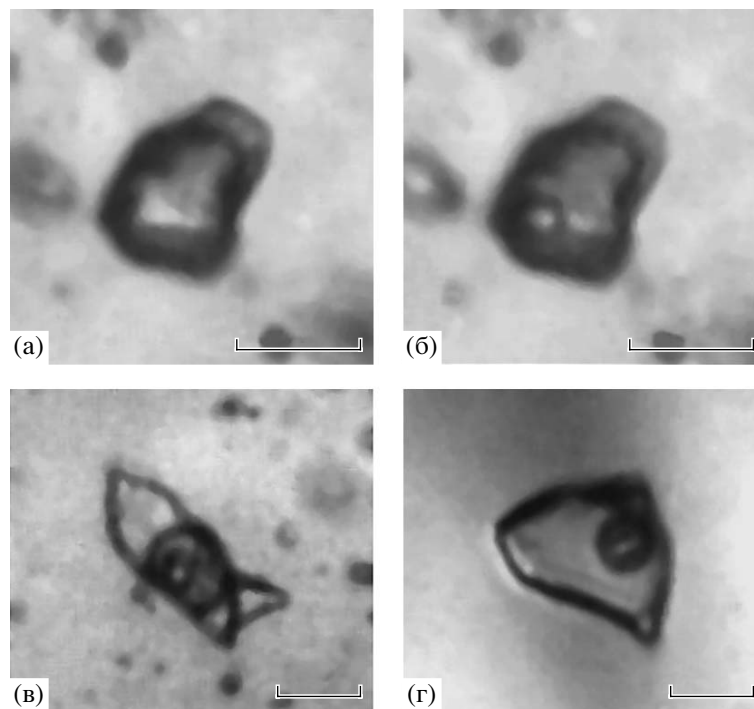
Тип II: существенно углекислотные флюидные включения, однофазовые или двухфазовые (с каймой водного раствора), содержащие главным образом CO_2 с незначительными примесями других газов. Включения этого типа содержат реликты газовой фазы, возникшей при гетерогенизации газонасыщенного рудообразующего флюида.

Тип III: двухфазовые флюидные включения, содержащие водный раствор и малоплотный га-

зовый пузырек, заполненный преимущественно водяным паром.

Микротермометрические исследования флюидных включений проводились на установке THMSG-600 фирмы "Linkam", позволяющей производить измерения температур фазовых переходов в интервале температур от -196 до 600°C и наблюдать за ними при больших увеличениях. Концентрация солей для флюидных включений оценивалась по температуре плавления льда, с использованием данных из работы (Vodnar, Vityk, 1994). Давление определялось для гетерогенного флюида по сингенетичным существенно газовым и газо-жидким флюидным включениям как сумма парциальных давлений паров воды и давления CO_2 (Прокофьев, Кигай, 1999). Для оценки давления использовался метод пересечения изохоры (строилась по флюидным включениям газовой фазы) и изотермы (по температуре гомогенизации существенно водных флюидных включений (Калюжный, 1982)). Оценка концентраций солей, плотностей водного флюида и CO_2 , а также давлений проводилась с использованием программы "FLINCOR" (Brown, 1989).

Результаты термо- и криометрических исследований индивидуальных флюидных включений представлены в табл. 3 и на фиг. 14 и 15.



Фиг. 13. Типы флюидных включений в кварце рудных жил из месторождений в дайках.

а, б – первичное существенно углекислотное включение (тип II: а – $+20$, б – $+1^{\circ}\text{C}$); в – первичное углекислотно-водное включение с жидкой углекислотой (тип I); г – вторичное низкотемпературное двухфазовое флюидное включение (тип III). Масштаб 10 мкм.

Месторождение Крохалиное. В кварце из образца К-3 имеются углекислотно-водные (тип I) включения, которые содержат водный раствор хлоридов Mg и Na ($T_{\text{эвт.}} = -43^{\circ}\text{C}$) с концентрацией солей 10.7 мас. %-экв. NaCl и углекислоты 6.9 моль/кг раствора, и гомогенизируются в жидкость при температуре 284°C . Имеются также сингенетичные им существенно газовые (тип II) включения, свидетельствующие о гетерогенном состоянии флюида. Существенно газовые включения содержат плотную углекислоту ($D = 0.88 \text{ г/см}^3$), развивающую давления 1860–1840 бар при температуре 284°C .

Месторождение Среднеканское. В кварце из образца С-1 обнаружены первичные и вторичные двухфазовые газо-жидкие включения (тип III). Первичные газо-жидкие включения содержат водный раствор хлоридов Mg и Na ($T_{\text{эвт.}} = -37^{\circ}\text{C}$) с концентрацией солей 3.7 мас. %-экв. NaCl и гомогенизируются в жидкость при температуре 314°C . Вторичные включения также содержат водный раствор хлоридов Mg и Na ($T_{\text{эвт.}} = -37 \dots -36^{\circ}\text{C}$) с концентрацией солей 4.0–4.8 мас. %-экв. NaCl и гомогенизируются в жидкость при температурах 197 – 185°C .

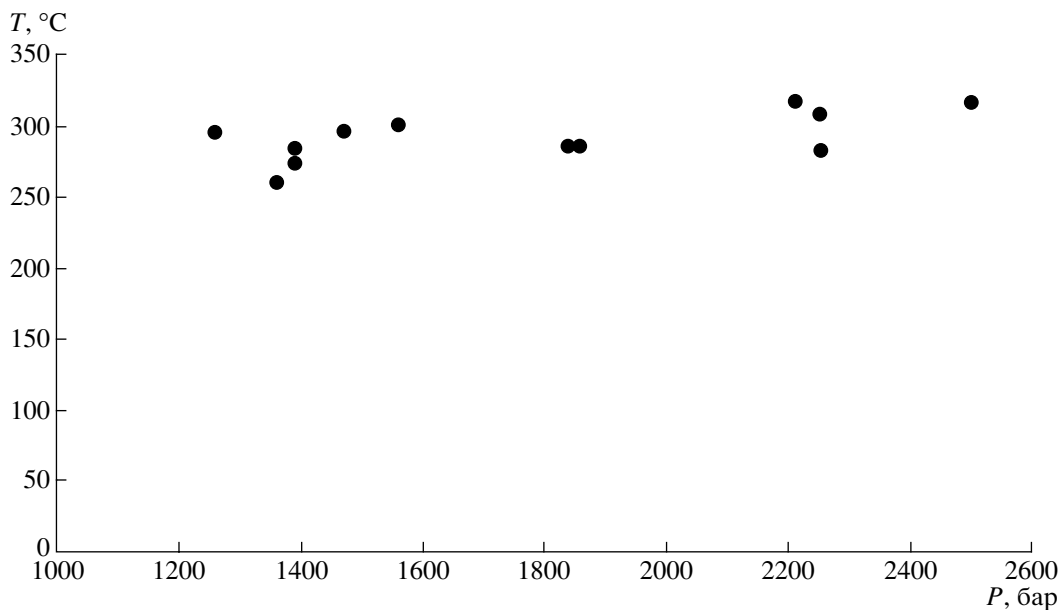
Месторождение Березитовое (Стахановское рудное поле). В кварце из 5 образцов были обнаружены сингенетичные углекислотно-водные (тип I)

и существенно газовые (тип II) включения, свидетельствующие о гетерогенном состоянии флюида. Углекислотно-водные включения содержат водный раствор хлоридов Mg и Na ($T_{\text{эвт.}} = -32 \dots -38^{\circ}\text{C}$) с концентрацией солей 4.3–8.9 мас. %-экв. NaCl и углекислоты 4.3–5.8 моль/кг раствора и гомогенизируются в жидкость при температурах 260 – 315°C . Существенно газовые включения содержат плотную углекислоту ($D = 0.74$ – 0.95 г/см^3), развивающую давления 2500–1360 бар при температурах 315 – 260°C . Вторичные включения содержат водный раствор хлоридов Mg и Na ($T_{\text{эвт.}} = -30^{\circ}\text{C}$) с концентрацией солей 4.3 мас. %-экв. NaCl и гомогенизируются в жидкость при температуре 201°C .

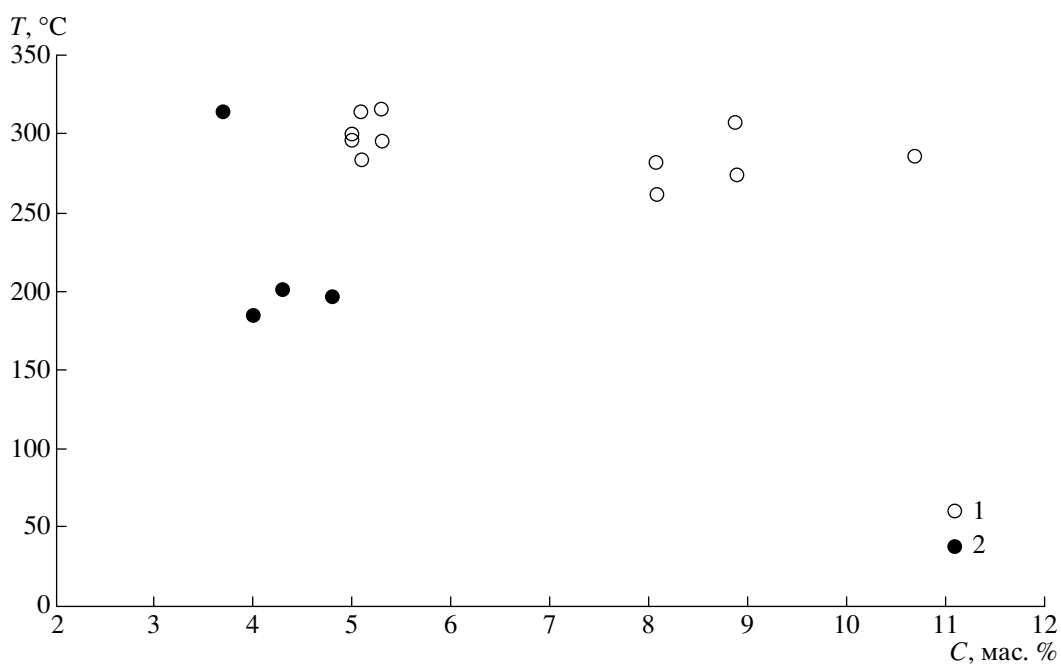
В целом рудообразующие флюиды содержат умеренные концентрации солей и высокие – углекислоты и по многим параметрам соответствуют флюидам орогенных жильных месторождений золота (Ridley, Diamond, 2000), и в частности золоторудным месторождениям, связанным с интрузивами гранитоидов (Бортников и др., 1996; Бортников, 2006; Lang *et al.*, 2000; Baker, 2002).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА СЕРЫ СУЛЬФИДОВ

Изотопный состав серы был исследован в сульфидах из вмещающих толщ, из золотоносных



Фиг. 14. Диаграмма температура–давление для рудообразующих флюидов месторождений золота в дайках.



Фиг. 15. Диаграмма температура–концентрация солей для рудообразующих флюидов месторождений золота в дайках. 1, 2 – типы флюида: 1 – углекислотно-водный, 2 – водно-солевой.

березитов и золото-кварцевых жил в Среднеканской и Крохалиной дайках (табл. 4). Величина $\delta^{34}\text{S}$ в пирите из зон сульфидизации вмещающих пород составляет $-0.9 \dots -1.9\text{‰}$. Изотопный состав серы сульфидов из золотоносных кварцевых жил в Среднеканской дайке располагается в области от -0.8 до -3.7‰ , практически совпадает с интервалом по месторождению (типа “intrusion-related”)

Форт Нокс ($-3.4 \dots -0.9$; табл. 5), а в дайке Крохалиной – от -8.3 до -12.5‰ .

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Золотое оруденение в колымских дайках концентрируется на незначительном удалении от контактов интрузивов и не обнаруживает отчет-

Таблица 3. Результаты исследований индивидуальных флюидных включений в кварце золоторудных месторождений в дайках

№ пробы	Минерал	n	$T_{\text{гом}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{эвт}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пл. льда}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пл. CO}_2}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{гом. CO}_2}$ в жидкость, $^\circ\text{C}$	$T_{\text{газидрата}},$ $^\circ\text{C}$	$C_{\text{солей}},$ мас. %-экв. NaCl	$C_{\text{CO}_2},$ моль/кг р-ра	$D, \text{г/см}^3$	$P, \text{бар}$
<i>Месторождение Крохалиное</i>												
К-3	Кварц*	4	284	-43	-11.3	-57.9	12.3	8.1	10.7	6.9	1.04	1860-1840
	»*	7	-	-	-	-57.5	8.0 7.3	-	-	-	0.88	-
С-1	Кварц	4	314	-37	-2.2	-	-	-	3.7	-	0.72	-
	»	3	197	-37	-2.9	-	-	-	4.8	-	0.91	-
	»	3	185	-36	-2.4	-	-	-	4.0	-	0.91	-
<i>Месторождение Среднеканское</i>												
<i>Месторождение Березитовое</i>												
К-82-58	Кварц*	9	281-260	-32	-6.6	-56.9	23.3	8.5	8.1	4.3	1.03	2250-1360
	»*	35	-	-	-	-58.4...-57.5	-3.0...15.6	-	-	-	0.95-0.82	-
К-81-41	Кварц*	11	313-283	-35	-4.1	-57.5	19.5...26.2	8.8	5.1	5.1-5.0	1.01-1.00	2500-1390
	»*	11	-	-	-	-58.7...-58.5	-3.3...19.0	-	-	-	0.95-0.79	-
4009	Кварц*	6	306-272	-37	-8.2	-57.6	17.3	9.5	8.9	5.8	1.03	2250-1390
	»*	8	-	-	-	-58.9...-58.7	17.5...1.4	-	-	-	0.92-0.80	-
	»	13	201	-30	-2.6	-	-	-	4.3	-	0.90	-
К-81-45	Кварц*	11	315-295	-38	-4.3	-58.9	20.6...21.0	8.5	5.3	5.3	0.99	2210-1260
	»*	24	-	-	-	-59.5...-57.2	4.0...23.3	-	-	-	0.90-0.74	-
К-86-31	Кварц*	17	300-296	-34	-4.0	-58.6	17.1	10.0	5.0	5.4	1.00	1560-1470
	»*	11	-	-	-	-58.9...-57.5	15.3...18.8	-	-	-	0.82-0.79	-

Примечание. * – гетерогенный флюид. n – количество исследованных включений.

ливой связи с последними. Характеризуется повышенной пробностью (до 930–950‰) и крупностью (с образованием самородков) золота, как и на Березовском месторождении (Сазонов и др., 2001; Клейменов и др., 2005). Такое закономерное распределение золотой минерализации Н.А. Шило и др. (1988) считают латеральной зональностью, относительно гранитоидных массивов. Г.Н. Гамянин и др. (2003) придерживаются другой точки зрения, полагая, что золото-кварцевое и золото-редкометальное оруденение разновозрастные и связаны с разными этапами магматизма.

Сравнительный анализ геолого-структурных, минерало-геохимических и термобарогеохимических особенностей изученных месторождений в колымских дайках с опубликованными данными по Березовскому месторождению (Бортников и др., 1998; Бортников, 2006; Сазонов и др., 2001; Клейменов и др., 2005) показывает большое сходство (табл. 5). Вместе с тем заметно отличается геологическое строение месторождений. Так, Березовское рудное поле сложено вулканогенно-осадочными зеленосланцевыми породами, а вмещающие колымские дайки породы – терригенные, слабо измененные. Важную роль в геологическом строении Березовского месторождения играют основные разности магматических пород и серпентиниты, которые не только контролируют распространение оруденения, но и оказывают влияние на минералогические особенности руд. С ними связано развитие лиственитовых метасоматитов в пределах месторождения и минералогических редкостей в рудах. В Яно-Колымском поясе такие породы отсутствуют.

Другая важная в промышленно-экономическом отношении отличительная черта Березовского месторождения – средняя мощность золотоносных даек превышает почти в два раза таковую колымских аналогов (табл. 5). В мощных дайках Березовского месторождения формируются более выдержанные и протяженные бананцевые золото-кварцевые жилы (средние содержания 15–20 г/т), которые и были объектом селективной добычи на протяжении 250 лет (Константинов и др., 2002). В настоящее время предполагается возобновить золотодобычу на Березовских рудниках, используя новую технологию, – отработку дайковых тел на всю массу; основным объектом добычи станут березиты с низкими в средненем (до 2.5 г/т) содержаниями золота (Клейменов и др., 2005).

Проведенные исследования позволяют также сопоставить золотое оруденение в колымских дайках с золото-кварцевым и золото-редкометальным (связанным с гранитоидными интрузивами) месторождениями (табл. 3, 5).

Таблица 5 показывает, что между месторождениями этих типов по многим признакам наблю-

Таблица 4. Изотопный состав серы сульфидов месторождений золота в дайках

Дайки	Минералы	$\delta^{34}\text{S}$, ‰
Среднеканская дайка	Пирит вкрапленный	-1.75
»	»	-1.97
»	»	-1.49
»	»	-3.67
Борискин руч. Среднеканское рудное поле	Вкрапленный пирит в сланцах плотика россыпи	-1.89
»	»	-0.9
Среднеканская дайка	Арсенопирит	-1.63
»	»	-0.83
»	»	-1.57
Дайка Крохалиная	Пирит	-10.2
»	»	-8.8
»	»	-9.4
»	Арсенопирит	-11.3
»	»	-9.7
»	»	-8.3
»	Антимонит	-12.5
»	»	-11.6

Примечание. Анализы выполнены в ИГЕМ РАН, аналитик – Л.П. Носик.

дается большое сходство, так как их рудообразование происходило в среднеглубинных условиях. Вместе с тем соленость растворов (<12–15 мас. %-экв. NaCl), температуры гомогенизации включений (200–400°C), высокие концентрации CO₂ во флюидах (табл. 3; Baker, 2002), давление при рудообразовании (1.0–2.5 кбар), высокая пробность части золота (>900‰), присутствие тонкодисперсного золота в сульфидах, изотопия серы сульфидов указывают на сходство минерализации в дайках с золото-редкометальным оруденением в интрузивах гранитоидов.

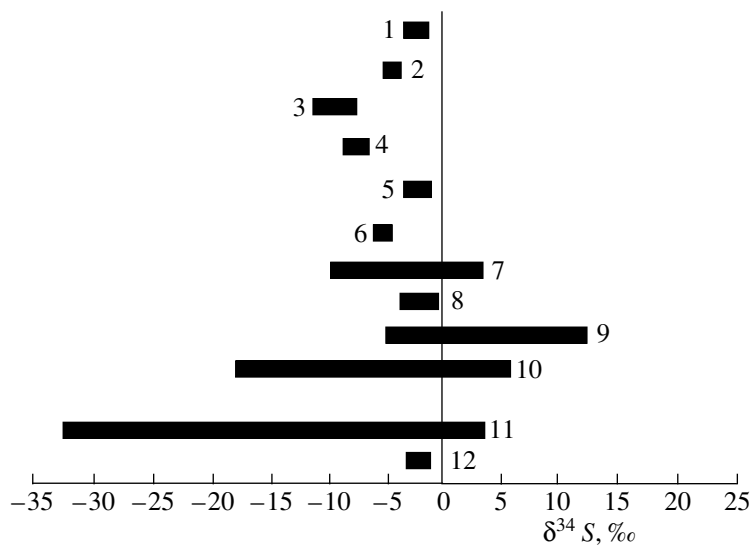
Данные по изотопии серы в сульфидах месторождений золота в колымских дайках заметно отличаются от золото-кварцевых месторождений и сходны с золото-редкометальными месторождениями (фиг. 16). М.Л. Йенсен (1970) считает, что узкий интервал значений $\delta^{34}\text{S}$ сульфидов свидетельствует о магматическом происхождении серы. Для сульфидов рудных объектов, связанных с гранитоидной магмой, характерны значения $\delta^{34}\text{S}$ от -4 до +4‰ (Ohmoto, Rye, 1977; Ohmoto, 1986). По мнению Г.Р. Роллинсона (Rollinson, 1994), этот интервал значительно шире от -9 до +11‰.

Из табл. 4 видно, что сера метакристаллического пирита из зоны сульфидизации в плотике Среднеканской россыпи (рассланцованные алев-

Таблица 5. Сравнительная характеристика месторождений золота разных типов

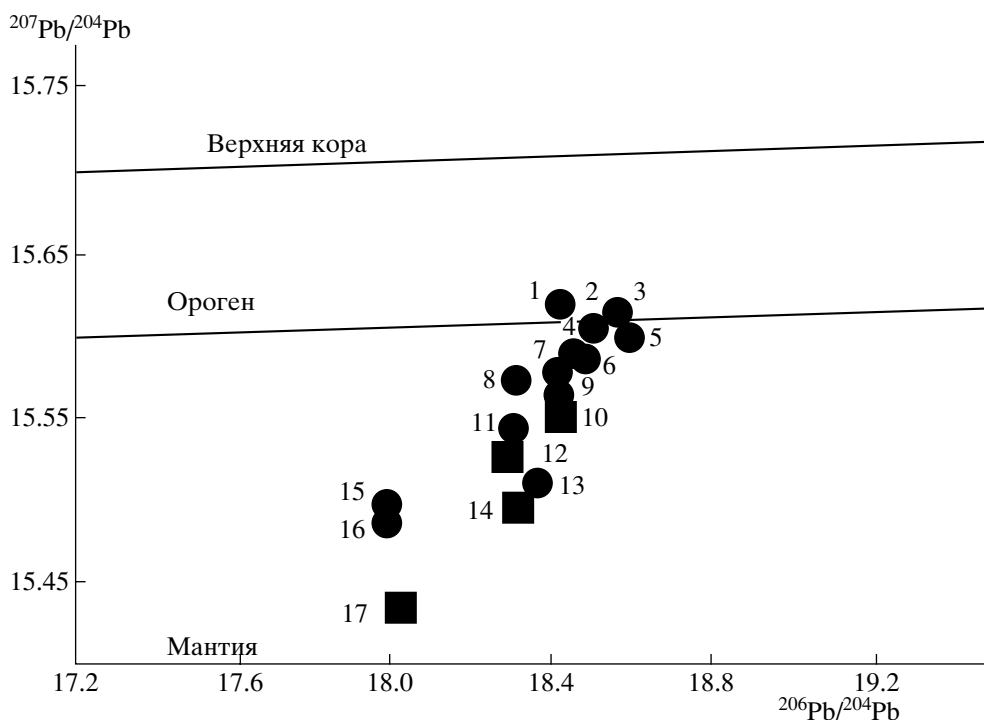
Признаки	Месторождения			
	Совиное	Березитовое	Березовское	Форт Нокс
Тип оруденения	Золото-кварцевый	Au в дайках	Au в дайках	Au-intrusion-related
Геодинамическая обстановка, этап рудообразования	Постколлизийная, орогенный	Постколлизийная, раннеорогенный	Постколлизийная, орогенный	Постколлизийная, орогенный
Вмещающие породы	Известковистые песчаники, сланцы, турбидиты нижнего карбона	Юрские переслаивающиеся песчаники, сланцы и алевролиты	Силурийские зеленокаменные вулканогенно-осадочные породы	Докембрийские метаморфизованные терригенно-вулканогенные толщи
Магматические породы рудного поля	Отсутствуют	Дайки диоритовых порфириров, 150 млн. лет	Дайки гранит-порфириров, 316 млн. лет	Шток гранитов, 92 млн. лет
Рудовмещающие структуры	Замки и крылья опрокинутых антиклинальных складок	Юрские дайки диоритовых порфириров, зоны смятия, разломы	Раннекарбонатные дайки гранит-порфириров зоны смятия, разломы	Поздне меловой шток порфирировых гранитов
Морфология рудных тел	Седловидные жилы, линейные штокверки	Золотоносные березиты, лестничные кварцевые жилы и прожилки	Золотоносные березиты, лестничные кварцевые жилы и прожилки, красичные жилы во вмещающих породах	Штокверк
Средняя мощность рудных тел, м	0.5–9.0	5–6	8–10	700
Протяженность, м	800–1000	1500–3000	2500–3000	1000
Глубина оруденения, м	>500	>500	>500	300
Околорудные изменения	Березиты	Березиты	Березиты, гумбеиты, листовиты	Березиты
Текстуры руд	“Книжный” кварц	Вкрапленная, прожилковая, шестоватая	Вкрапленная, прожилковая, шестоватая	Прожилковая
Содержание золота от-до/ср. (г/т)	2–700/12	1.0–100/25 в бананцах 0.3–3.8/2.3 в березитах	/15–20 в жилах /1.5–2.5 в березитах	0.83
Пробность золота, ‰	728–808	860–916	850–960	950
Продуктивные минеральные ассоциации	Золото-арсенипитовая Золото-полисульфидная	Золото-арсенипитовая Золото-полисульфидная	Золото-пиритовая Золото-полисульфидная	Золото-арсенипитовая Золото-полисульфидная
Геохимический профиль	Au, As, W, Ag, Pb	Au, As, Sb, Pb, Ag, Cu, Bi, W	Au, As, Sn, Zn, Ag, Co, Bi, W, Cr, Ni	Au, As, Bi, Te, W, Mo, Sb
Температуры гомогенизации включений в кварце продуктивных ассоциаций, °C	280–220	314–185	285–260	480–200
Давление при образовании продуктивных ассоциаций, бар	35	1800–2200	1000–2300	>1500
Соленость, мас. %-экв. NaCl	2–7	3.7–8.9	2.4–14.1	2–8
$\delta^{34}\text{S}$, ‰	–33...+3.94	–3.87...–0.83	–3.5...+13.7	–3.4...–0.9

Примечание. В таблице использованы данные из работ (Константинов и др., 2002; Викентьева, 2000; Baker, 2002).



Фиг. 16. Изотопный состав серы сульфидов месторождений золота в дайках и других мезотермальных месторождений и рудопроявлений золота (по данным авторов: Горячева, 2003; Гамянина и др., 2000; Ворошина и др., 2003; Викентьевой, 2000; Baker, 2002).

1–11 – месторождения: 1–7 – месторождения золота в дайках: 1 – Дарьял, 2 – Штурмовское, 3 – Крохалиное, 4 – Каральвеем, 5 – Среднеканское, 6 – Утинское, 7 – Березовское, 8 – золото-редкометальное (Школьное), 9 – золото-сульфидное (Наталкинское), 10 – золото-сульфидное (Нежданкинское), 11 – золото-кварцевое (Совиное), 12 – Au-intrusion-related (Форт Нокс).



Фиг. 17. Диаграмма $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, показывающая изотопный состав рудного свинца для раннеорогенных мезотермальных месторождений золота Северо-Востока России (Горячев, 2003).

1–17 – мезотермальные месторождения (10, 12, 14, 17 – в дайках, квадраты):

1 – Совиное, 2 – Юр, 3 – Ичувеем, 4 – Нежданкинское, 5 – Родионовское, 6 – Берентал, 7 – Школьное, 8 – Дегдекан, 9 – Дорожное, 10 – Каральвеем, 11 – Наталкинское, 12 – Штурмовское, 13 – Павлик, 14 – Утинское, 15 – Хангалас, 16 – Светлинское, 17 – Крохалиное.

ролиты и вмещающие песчаники) характеризуется теми же значениями, что и в сульфидах из березитов в дайке, что может указывать на общий источник. Данные изотопного состава серы по каждой из изученных золотоносных даек находятся в узких интервалах в отрицательной области, что резко отличает их от Березовского месторождения на Урале, в сульфидах которого преобладает утяжеленная сера (фиг. 16). Таким образом, отмеченная особенность, по-видимому, указывает на заметную роль в рудообразовании месторождений золота в дайках магматических процессов.

Вместе с тем все это не противоречит нашим представлениям о существенной роли зон сульфидизации в качестве одного из источников золото-кварцевой жильной и золото-сульфидной вкрапленной минерализации (Сидоров, Волков, 2000).

Особенности рудообразования месторождений золота в дайках могли быть обусловлены коровыми и подкоровыми процессами, а значительная часть рудных компонентов могла быть привнесена из подкоровых мантийных очагов. Это подтверждается анализом диаграммы свинцово-изотопных отношений (фиг. 17). Невысокая дисперсия свинцово-изотопных данных указывает на ниже-верхнекоровые источники рудного вещества месторождений золота в дайках (фиг. 17).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изученные месторождения сформировались в течение длительного интервала времени от поздней юры до начала позднего мела (155–100 млн. лет) в обстановках коллизии и последующей орогенной активизации. Пространственное распространение даек подчеркивает формирование в Яно-Колымском поясе в этот период крупных орогенных сводов (фиг. 2).

Пик золотого оруденения в дайках пришелся на неоком (145–125 млн. лет).

Исследованные месторождения ранее традиционно относили к золото-кварцевому формационному типу, наложенному на дайки и парагенетически связанному с гранитоидами. Однако изотопные и термобарогеохимические данные указывают на близость изученного золотого оруденения в дайках к месторождениям золота, связанным с интрузивами (“intrusion-related”, Lang *et al.*, 2000). Источником серы зон сульфидизации вмещающих пород, сульфидов в березитах и кварцевых жил в колымских дайках мог служить глубинный магматический очаг. На это указывают очень узкие интервалы значений $\delta^{34}\text{S}$, характерные для всех месторождений в дайках Северо-Востока России.

Наиболее эффективными источниками золота, по всей вероятности, являлись зоны тонкой пиритизации (пирротинизации), развивавшейся в

разной степени на протяжении всех эпох формирования толщ верхоянского комплекса.

Рассмотренные в статье месторождения перспективны как потенциально крупные промышленные объекты при низких средних содержаниях золота в рудах. Аналогии – Форт Нокс, Даблин Галч, Трю Норф, (штат Аляска, США). Кроме того, так же, как и в Березовском (Урал), Утинском (Магаданская область) и Каральвеевском (Западная Чукотка) месторождениях, в них могут быть выявлены рудные столбы (бананцы) с богатейшими рудами самородков. На фиг. 2 видно, что в пределах Яно-Колымского металлогенического пояса при проведении широкомасштабных поисковых работ может быть выявлено большое количество новых месторождений золота в дайках.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного проекта IGCP № 540, Российского фонда фундаментальных исследований (проект 08–05–00135) и Программы ОНЗ № 2 “Фундаментальные проблемы геологии, условия образования и принципы прогноза традиционных и новых типов крупномасштабных месторождений стратегических видов минерального сырья”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акинин В.В., Миллер Э., Вуден Дж. и др. U-Pb SHRIMP-датирование циркона из батолитов и рудосных даек Яно-Колымского коллизионного пояса: первые результаты и геологические следствия // Изотопное датирование процессов рудообразования, магматизма, осадконакопления и метаморфизма: материалы конференции. М.: ГЕОС, 2006. Т. 1. С. 26–30.
- Апельцин Ф.Р. Отличительные черты петрографии и петрохимии разновозрастных формаций малых интрузий Главного золотоносного пояса Северо-Востока СССР. Магадан: Труды ВНИИ-1. Т. VIII. 1957. С. 75–190.
- Бабкин П.В., Гельман М.Л., Вельдяков Ф.Ф., Павлюченко Л.А. Перспективы выявления золотого оруденения в зонах сульфидизации в черносланцевых толщах Северо-Востока СССР // Колыма. 2001. № 2. С. 14–22.
- Борадаевский Н.И., Борадаевская М.Б. Березовское рудное поле. М.: Металургиздат, 1947.
- Бородин Л.С. Петрохимия магматических серий. М.: Наука, 1987.
- Бортников Н.С. Геохимия и происхождение рудообразующих флюидов в гидротермально-магматических системах в тектонически активных зонах // Геология руд. месторождений. 2006. Т. 48. № 1. С. 3–28.
- Бортников Н.С., Прокофьев В.Ю., Раздолина Н.В. Генезис золото-кварцевого месторождения Чармитан (Узбекистан) // Геология руд. месторождений. 1996. Т. 38. № 3. С. 238–257.

- Бортников Н.С., Сазонов В.Н., Викентьева О.В. и др.* Роль магматического флюида в формировании Березовского мезотермального золото-кварцевого месторождения Урал // Докл. РАН. 1998. Т. 363. № 1. С. 82–85.
- Ворошин С.В., Тюкова Е.Э., Шахтыров В.Г. и др.* Геология и оруденение Ат-Юрях-Штурмовского золото-рудного узла (Магаданская область). Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003.
- Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Бахарев А.Г. и др.* Условия зарождения и эволюции гранитоидных золото-магматических систем в мезозоидах Северо-Востока Азии. Магадан: ДВО СВКНИИ РАН, 2003.
- Горячев Н.А.* Происхождение золото-кварцевых жильных поясов Северной Пацифики. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003.
- Йенсен М.Л.* Изотопы серы и проблемы минерогенеза // Геохимия гидротермальных рудных месторождений. М.: Мир, 1970. С. 129–147.
- Калюжный В.А.* Основы учения о минералообразующих флюидах. Киев: Наук. думка, 1982.
- Клейменов Д.А., Альбрехт В.Г., Ерохин Ю.В. и др.* Березовское золоторудное месторождение. Екатеринбург: ФГУИП “Уральский Рабочий”, 2005.
- Константинов М.М., Косовец Т.Н., Кряжев С.Г. и др.* Строение и развитие золотоносных рудообразующих систем. М.: ЦНИГРИ, 2002.
- Маннафов Н.Г., Вознесенский С.Д., Абрамович И.И.* Металлогенетическая карта Охотско-Колымского региона масштаба 1 : 500000. Объяснительная записка. Магадан, 2000.
- Ненахов В.М., Иванников В.В., Кузнецов Л.В., Стрик Ю.Н.* Особенности изучения и картирования коллизионных гранитоидов. М.: Роскомнедра, 1992.
- Ньюберри Р.Дж., Лейер П.У., Ганз П.Б. и др.* Предварительный анализ хронологии мезозойского магматизма, тектоники и оруденения на Северо-Востоке России с учетом датировок $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и данных по рассеянным элементам изверженных и оруденелых пород // Золотое оруденение и гранитный магматизм Северной Пацифики. Геология, геохронология и геохимия: Тр. Всеросс. совещ. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. Т. 1. С. 181–206.
- Парфенов Л.М.* Континентальные окраины и островные дуги мезозойд Северо-Востока Азии. Новосибирск: Наука, 1984.
- Парфенов Л.М., Натанов Л.М., Тильман С.М. и др.* Террейны и аккреционная тектоника Северо-Востока Азии // Геотектоника. 1993. № 1. С. 68–78.
- Прокофьев В.Ю., Кигаи И.Н.* Практическая термобарогеохимия. Современные методы изучения флюидных включений в минералах. М.: ИГЕМ РАН, МГГА, 1999.
- Реддер Э.* Флюидные включения в минералах. М.: Мир, 1987.
- Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А. и др.* Месторождения золота Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2001.
- Сидоров А.А., Волков А.В.* Об особенностях совмещения жильных и вкрапленных руд в золото-сульфидных месторождениях // Докл. РАН. 1998. Т. 362. № 4. С. 533–537.
- Сидоров А.А., Волков А.В.* О золоторудных месторождениях в гранитоидах // Докл. РАН. 2000. Т. 375. № 6. С. 807–811.
- Сидоров А.А., Волков А.В.* Источники рудного вещества и условия формирования золоторудных месторождений Северо-Востока России // Докл. РАН. 2001. Т. 376. № 5. С. 658–661.
- Степанов В.А.* Зональность золото-кварцевого оруденения Центральной Колымы. Владивосток: Дальнаука, 2001.
- Чехов А.Д.* Тектоническая эволюция Северо-Востока Азии. М.: Научный мир, 2000.
- Фирсов Л.В.* Золото-кварцевая формация Яно-Колымского пояса. Новосибирск: Наука, 1985.
- Шило Н.А.* Новый взгляд на роль даек в формировании рудных систем // Проблемы рудной геологии, петрологии, минералогии и геохимии. М.: ИГЕМ РАН, 2004. С. 25–34.
- Шило Н.А., Гончаров В.И., Альшевский А.В. и др.* Условия формирования золотого оруденения в структурах Северо-Востока СССР. М.: Наука, 1988.
- Шпикерман В.И.* Домеловая минерогенеза Северо-Востока Азии. Магадан, СВНЦ ДАО РАН, 1998.
- Baker T.* Emplacement depth and carbon dioxide-rich fluid inclusions intrusion-related gold deposits // Econ. Geol. 2002. V. 97. P. 1111–1117.
- Bodnar R.J., Vityk M.O.* Interpretation of microtermometric data for H_2O – NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Pontignano-Siena, 1994. P. 117–130.
- Brown P.* FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data // Amer. Mineralogist. 1989. V. 74. P. 1390–1393.
- Lang J.R., Baker T., Hart C.J., Mortenson J.K.* An exploration model for intrusion-related gold systems // SEG Newsletter. 2000. № 40. P. 6–15.
- Ohmoto H., Rye R.O.* Isotopes of sulfur and carbon // Geochemistry of hydrothermal ore deposits. N. Y.: Wiley, 1977. P. 509–567.
- Ohmoto H.* Stable isotope geochemistry of ore deposits // Stable isotope in high temperature geological processes // Reviews in Mineral. 1986. V. 16. P. 491–560.
- Ridley J.R., Diamond L.W.* Fluid chemistry of orogenic lode gold deposits and implications for genetic models // Gold in 2000. SEG Reviews. 2000. V. 13. P. 141–162.
- Rollinson H.R.* Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. London: Group UK Ltd., 1994.