

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЯНО-КОЛЫМСКОЙ ПРОВИНЦИИ

В.В. Аристов

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

Для решения задач регионального прогнозирования в пределах Яно-Колымской золоторудной провинции проведен анализ пространственного распределения 2140 орогенных рудных объектов и уровней содержания золота на них. После выноски рудных объектов с содержаниями золота выше 1 г/т на схемы м-ба 1:2 500 000, области повышенной плотности точек минерализации оконтурены в последовательности: общий контур — контуры вокруг скоплений точек высоких концентраций — контуры, объединяющие сближенные скопления точек, — длинные оси анизотропных контуров. Кривые, полученные после интерполяции между осями с учетом фактического положения рудных объектов, интерпретируются как пересечения современной топографической поверхности с плоскостями разрывных нарушений, активных на момент рудообразования (рудовмещающими разломами). Кривые, на которые попали известные месторождения, предложено называть «трендами» (дуговыми и линейными), а если месторождений пока не выявлено — «рудными линеаментами», вне зависимости от их кривизны. Форма общего контура, объединяющего золотые рудопоявления, и характер распределения рудных объектов внутри этого контура позволили наметить Верхнеиндигирский (ВИР) и Центрально-Колымский (ЦКР) мегарайоны.

Проведено сопоставление геометрии и пространственного положения трендов и рудных линеаментов с современным структурным планом территории, с геофизическими полями, а также с существующими представлениями о кинематических типах разрывных нарушений, возникающих при определенных геодинамических режимах развития структур Яно-Колымской провинции.

Высказано предположение о последовательном образовании рудовмещающих разрывных нарушений при коллизионном взаимодействии пассивной окраины Сибирского континента с Колымо-Омолонским супертеррейном и при формировании вулканических дуг Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Тренды и рудные линеаменты могут быть соотнесены с группами структур рудных полей, образовавшихся на позднеколлизионной и субдукционной (постколлизионной) стадиях развития территории. К складчатым взбросам и надвигам и к сдвигам различной кинематики отнесены тренды и рудные линеаменты северо-западной ориентировки. В постколлизионную стадию происходило образование рудных линеаментов и трендов северо-восточной ориентировки в зонах тектономагматической активизации, субпараллельных простиранию вулканических дуг, входящих в состав Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Распределение скоплений золоторудных объектов и «пустых» интервалов между такими скоплениями по простиранию выделенных структур, вероятно, соответствует распределению областей растяжения и сжатия в плоскости рудовмещающего разрывного нарушения.

Соответствие между трендами, рудными линеаментами и рудовмещающими разрывными нарушениями позволяет прогнозировать положение и ориентировочный масштаб новых рудных объектов в пределах Яно-Колымской провинции. На экстраполируемых и интерполируемых продолжениях трендов и на участках их взаимного пересечения выделены площади, перспективные для выявления новых рудных объектов.

Золото, пространственное распределение золоторудных объектов, рудные районы, рудные линеаменты, тренды, коллизия, региональный прогноз, Яно-Колымская провинция.

SPATIAL REGULARITIES OF THE LOCALIZATION OF GOLD ORE OCCURRENCES IN THE YANA-KOLYMA PROVINCE

V.V. Aristov

To solve the problems of regional forecast within the Yana-Kolyma gold ore province, analysis of the spatial distribution of 2140 orogenic ore objects and their gold contents was carried out. Ore objects with >1 ppm Au were mapped on a scale of 1: 2,500,000, and areas of the high density of mineralization points are outlined in the sequence: general contour—contours around clusters of points with high Au contents—contours around proximal clusters of points—long axes of anisotropic contours. The curves obtained after the interpolation between the axes, with regard to the actual position of the ore objects, are interpreted as intersections of the recent topographic surface with the planes of faults that were active at the time of ore formation (ore-hosting faults). We propose to call the curves intersecting the known deposits «trends» (arched and linear). If no deposits

have been revealed, the curves should be called «ore lineaments», regardless of their curvature. The shape of the general contour around the gold ore occurrences and the distribution of ore objects within this contour permit outlining the Upper Indigirka (UID) and Central Kolyma (CKD) megadistricts.

The geometry and spatial position of trends and ore lineaments are compared with the recent structural plan of the area, with geophysical fields, and with the existing ideas of the kinematic types of faults arising under certain geodynamic regimes of evolution of structures in the Yana–Kolyma province.

A hypothesis is put forward that the ore-hosting faults formed successively during the collisional interaction of the passive margin of the Siberian continent with the Kolyma–Omolon superterrane and during the formation of the volcanic arcs of the Okhotsk–Chukchi volcanic belt. Trends and ore lineaments can be correlated with groups of structures of ore fields formed at the late collision and subduction (postcollisional) stages of the area evolution. The trends and ore lineaments of NW orientation are attributed to the folded reverse faults and thrusts and to shears of different kinematics. At the postcollisional stage, the ore lineaments and trends of NE orientation formed in the zones of tectonomagmatic activity, subparallel to the strike of volcanic arcs of the Okhotsk–Chukchi volcanogenic belt. The distribution of clusters of gold ore occurrences and «empty» intervals between them along the strike of the recognized structures probably corresponds to the distribution of areas of extension and compression in the plane of the ore-hosting faults.

The correlation among the trends, ore lineaments, and ore-hosting faults permits forecasting the position and approximate size of new orebodies within the Yana–Kolyma province. Areas promising for gold ores have been outlined on the extrapolated and interpolated extensions of the trends and at the sites of their intersection.

Gold, spatial distribution of gold ore occurrences, ore districts, ore lineaments, trends, collision, regional forecast, Yana–Kolyma province

ВВЕДЕНИЕ

В Яно-Колымской золотоносной провинции (ЯКЗП), расположенной в восточной части Якутии и на северо-западе Магаданской области, установлено и разведано множество мелких месторождений и рудопроявлений с богатыми рудами, несколько крупнотоннажных объектов с штокверковыми убогими рудами (Дегдекан, Верхний Хакчан, Наталка и др.) и два объекта со значительными параметрами рудных тел при высоких или умеренных содержаниях золота. Это месторождения Дразное (более 35 т золота при среднем содержании 6.5 г/т) [Аристов и др., 2015] и Павлик (более 150 т золота при среднем содержании около 3 г/т) [Савчук и др., 2018]. Все эти объекты относятся к орогенным мезозональным (в понимании [Groves et al., 1998]) в фанерозойском коллизионном поясе [Goldfarb et al., 2001] или к золото-кварцевой и золото-редкометалльной формациям, согласно региональным классификациям [Горячев, 1998].

На линейное и поясовое размещение рудных и россыпных объектов в пределах ЯКЗП внимание было обращено Ю.А. Билибиным [1961], который выделил Колымский золотой пояс. По мере выявления россыпных и рудных объектов внутренняя структура пояса была детализирована. Выделены такие рудовмещающие разломы, как Тенькинский [Ларин, 1949; Шахтыров, 1997], Адыча-Тарынский [Бычок, 1969; Владимиров, 1973], Балыгычано-Сугойский [Политов, 1972; Зарудный, Константинов, 1981] и некоторые другие, контролирующие положение линейных и изометричных рудно-россыпных районов. Представления о ЯКЗП совершенствовались в ходе дальнейшего изучения и изменения геодинамических концепций. Современные представления о природе и границах поясов золото-кварцевых месторождений в пределах ЯКЗП наиболее подробно изложены Н.А. Горячевым [1998], В.А. Фридовским [2002], а также в нескольких коллективных обобщающих работах [Тектоника..., 2001; Nokleberg et al., 2005; Геодинамика..., 2006; Goldfarb et al., 2014; Voroshin et al., 2014].

Яно-Колымская золотоносная провинция охватывает восточную часть Яно-Колымской складчатой области (ЯКСО). Складчатая область расположена между восточной частью Чарско-Алданского блока Сибирской платформы и западной частью Колымо-Омолонского аккреционного супертеррейна (рис. 1).

В вещественном плане ЯКСО соответствует Верхоянская миогеосинклиналь (область карбонатно-терригенного осадконакопления на коре континентального типа). Начало формирования миогеосинклинали относят к началу вендского времени [Тектоника..., 2001]. Доверхнекарбовое развитие территории связывают с накоплением субаркозовых терригенных и хемогенных карбонатных осадков, мощность которых возрастает в пределах девонских рифтогенных структур. Наиболее широким распространением на современном уровне среза пользуются полимиктовые алевропесчаные дельтовосельфовые и флишоидные отложения верхоянского комплекса с возрастом от позднего карбона до средней юры и мощностью до 10–15 км [Константиновский, 2009]. В процессе диагенеза сформирова-

ны горизонты с сидеритовыми конкрециями, регионально распространенные ореолы карбонатной (анкерит-сидеритовой), пиритовой и марказитовой вкрапленности.

ЯКСО включает:

– Яно-Колымский складчатый пояс (ЯКСП), в общих чертах соответствующий Яно-Колымскому рельефу в понимании [Шпикерман, 1998], за исключением Полоусного синклинария и Куларского поднятия;

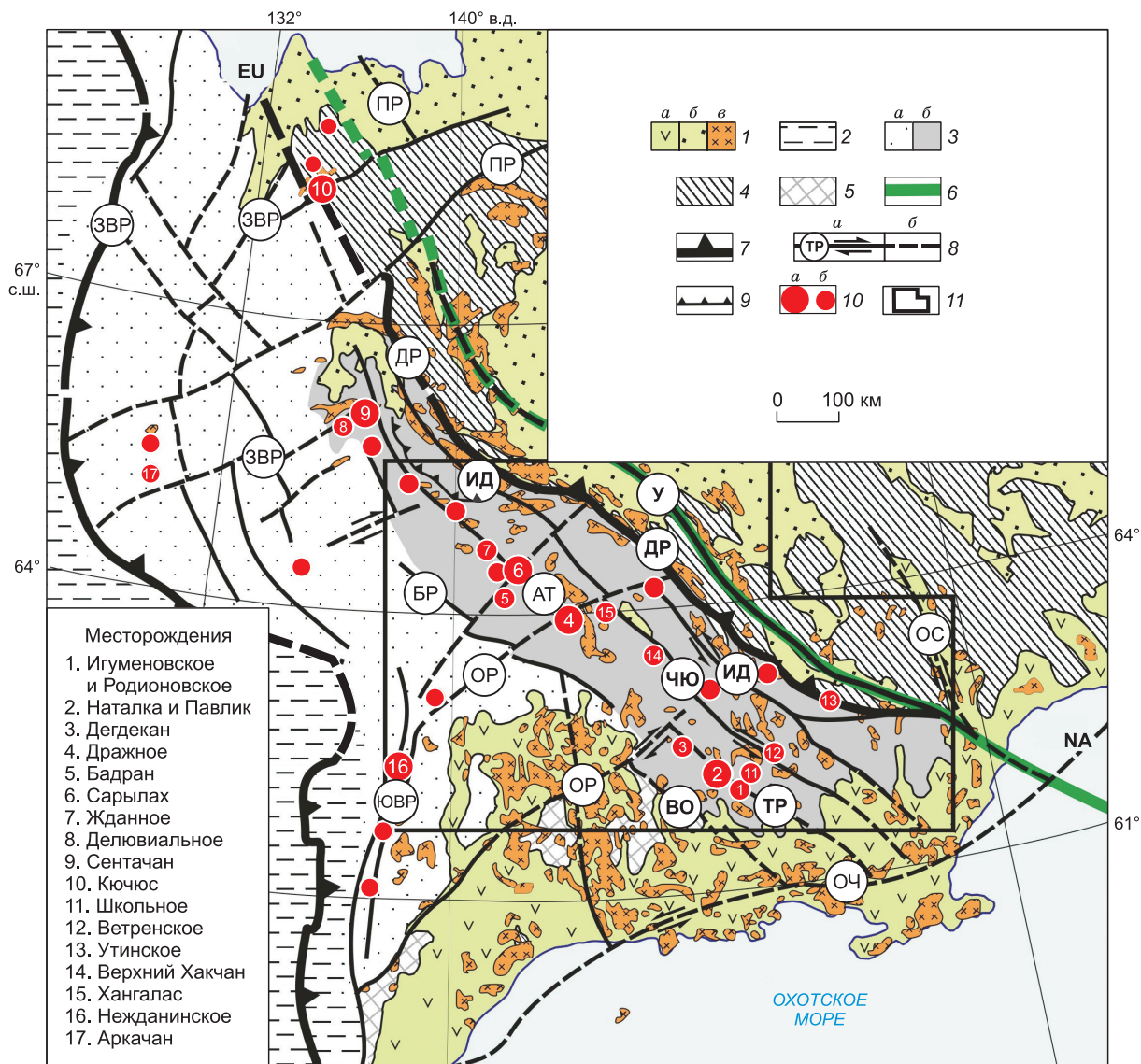


Рис. 1. Тектоническая схема Верхояно-Колымского складчатого пояса, по [Гусев, 1979; Тектоника..., 2001].

1 — Верхнеюрско-кайнозойские формации: вулканогенные Охотско-Чукотского вулканического пояса (а), терригенные моласовые (б), гранитоидные (в); 2, 3 — Северо-Азиатский кратон: 2 — Сибирская платформа, 3 — Яно-Колымская складчатая область (ЯКСО): Верхоянский складчато-надвиговый пояс (а), Яно-Колымский складчатый пояс (б); 4 — Колымо-Омолонский супертеррейн: островодужные, океанические и континентальные террейны; 5 — Охотский террейн; 6 — современные границы литосферных плит (NA — Северо-Американская, EU — Евразийская, по [Тектоника..., 2001]); 7 — системы тыловых и ведущих надвигов, ограничивающих ЯКСО; 8 — крупнейшие сдвиговые разломы: достоверно установленные (а), предполагаемые (б); 9 — надвиги; 10 — орогенные месторождения золота: более 100 т запасов и ресурсов (а), менее 100 т запасов и ресурсов (б); 11 — площадь детализации. Системы разрывных нарушений и отдельные разломы: в кружках полужирным шрифтом: Индигиро-Колымская система разломов — ВО — Восточно-Охотский, БР — Брюнгадинский, ТР — Тенькинский, АТ — Эльгинский (Адыча-Тарынский и Сентачанский), ЧЮ — Нерский и Чай-Юреинский, ИД — Иньяли-Дебинский, ДР — Дарпирский, У — Улахан; в кружках светлым: ОЧ — Охотско-Чукотская (Приохотская) система разломов; ОР — Охотская система разломов; ЮВР — Южно-Верхоянская система разломов; ЗВР — Западно-Верхоянская система разломов; ОС — Колымо-Омолонская система разломов; ПР — Полоусненская система разломов.

– Верхоянский терригенный складчато-надвиговый пояс (ВСНП) (в границах, предложенных А.В. Прокопьевым и А.В. Дейкуненко [Тектоника..., 2001]), в том числе (в Магаданской области) Хиникинский синклиниорий и чехол Охотского массива.

В ЯКСП крупные линейные складки повсеместно связаны с зонами разрывных нарушений и могут иметь унаследованный характер, что особенно типично для приразломных синклиналей, ядра которых выполнены нижнетриасовыми и нижнеюрскими породами. Отмечаются короткие синклинальные складки, эшелонированно расположенные в зонах сдвигов, или более протяженные антиклинали в зонах взбросов и надвигов. В пределах ВСНП складчатость, связанная с общим сжатием территории, относится к концентрическому типу [Сборщиков, 1972; Гусев, 1979]. Складки крупные, часто протяженные, ориентированы в северо-западном и меридиональном направлении. Ундуляции и виргации шарниров не характерны. Зеркало складчатости полого погружается с запада на восток.

Разрывные нарушения относят к меж- и внутриформационным срывам, надвигам, взбросам и сдвигам. Относительно осей складчатости выделяют продольные и поперечные сдвиги. В качестве основных структур ЯКСП рассматриваются последовательно формирующиеся малоамплитудные правые [Шахтыров, 2010] и крупноамплитудные левые продольные сдвиги [Константиновский, 2007]. В пределах ВСНП подчеркивается роль сопряженных с надвигами и взбросами поперечных левых и правых сдвигов [Гусев, 1979]. По данным Д.Н. Задорожного [2002], сдвиги в ВСНП входят в более поздние, чем надвиги, структурно-вещественные парагенезы с оперяющими взбросами, сбросами, интрузивными телами гранитоидов и рудными телами серебро-полиметаллических месторождений. Можно предполагать, что эти сдвиги соответствуют позднеколлизионным поперечным сдвигам и совпадающим с их ориентировкой зонам тектономагматической активизации, значение которых для металлогении региона подчеркивается многими исследователями [Политов, 1972; Волков и др., 2014].

В целом синколлизионная структура ЯКСО представляет собой систему надвиговых чешуй, ограниченных детачментом по поверхности фундамента снизу и с запада и тыловым надвигом на востоке. Западная граница ЯКСО соответствует протяженным системам пологих надвигов и надразломных складок – фрагментов зоны детачмента [Тектоника..., 2001]. Южная граница проведена по серии сдвигов северо-восточной ориентировки, принадлежащих к Охотской системе разломов. В качестве северо-восточной границы ЯКСО принимается разлом Дарпирский [Шпикерман, 1998], отделяющий мезозойские отложения Инъяли-Дебинского синклинория от палеозойских отложений Приколымских антиклинориев. Пояс антиклинориев отнесен нами к хинтерланду, по [De Paor, 1988].

Менее изучены изометричные положительные структуры, связанные с интрузивно-тектоническими процессами поздне- и постколлизионного этапов развития территории. «Очаговые» рудоконцентрирующие структуры с концентрическим строением — Верхнеколымский и Индигирский мегасводы — выявлены И.Н. Томсоном с соавторами [1984] и, по их мнению, определяют металлогению Центрально-Колымской и Верхнеиндигирской областей соответственно. К концентрическим структурам низших порядков относится, например, Верхнеиндигирская кольцевая структура (с центром в районе Тарынского субвулкана), выявленная Г.Н. Шаровым с соавторами [1979] и детально рассмотренная А.Г. Бахаревым с соавторами [1997].

Батолиты и штоки коллизионных гранитоидов колымской и тенькинской серий [Палымский и др., 2015] (S-тип, ильменитовая серия), а также субвулканические массивы гиперстеновых дацитов сосредоточены исключительно в пределах ЯКСП и в прилегающей части хинтерланда. Начало кристаллизации гранитоидов 150 ± 3 млн лет (U-Pb SHRIMP метод по цирконам [Акинин и др., 2009]). Окончание кристаллизации относится к началу раннего мела. С гранитообразованием тесно связано развитие регионального зонального метаморфизма биотитовой, хлорит-биотитовой и хлорит-серицитовой субфаций, а также трансформация части диагенетического пирита в пирротин и формирование ореолов пиритовой вкрапленности.

Внедрение гранитоидов поперечных рядов в пределах ВСНП датировано от 137.1 до 109.4 млн лет (Ar-Ar методом по биотитам и амфиболам [Layer et al., 2001]). К этой же стадии можно относить образование ультракалиевых кислых вулканитов Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП), которые датированы U-Pb SHRIMP методом по цирконам 134.6 ± 1.3 млн лет [Акинин, Миллер, 2011].

Начало образования наиболее поздних известково-щелочных вулканоплутонических ассоциаций охотской, эвенской и янской серий датируется концом раннего мела (97 ± 5 млн лет по усредненным данным [Акинин, Миллер, 2011] по гранитоидам массивов Улахан и Неорчан), а завершение (дайки базальтов и образование покровных базальтов) относят к концу позднего мела [Палымский и др., 2015]. Массивы этих ассоциаций распространены в непосредственной близости от ОЧВП и синхронны с вулканизмом в его пределах.

Согласно литературным данным [Горячев, 1998], орогенные месторождения золота являются син- и постбатолитовыми и тяготеют к определенным субфациям регионального метаморфизма.

Наблюдаемые соотношения структур, интрузивных образований и рудных тел объясняются эволюцией коллизионного взаимодействия Колымо-Омолонского супертеррейна (микроконтинента) со структурами Северо-Азиатского кратона и последующей субдукцией Охотоморской плиты под кратон с формированием ОЧВП [Тектоника..., 2001; Геодинамика..., 2006]. Большая часть геодинамических концепций рассматривает террейны с континентальной корой, входящие в состав супертеррейна, как фрагменты континентальной окраины, которые были оторваны от нее в океан Панталасса в среднем палеозое. Образовавшийся при этом Оймяконский бассейн был последовательно закрыт во время обратного причленения террейнов в начале средней юры. В пределах Верхоянской миогеосинклинали на начальных стадиях коллизии происходило формирование пологих срывов и зон приразломной складчатости, затем во время разворота супертеррейна по часовой стрелке развивались продольные сдвиговые разломы различной кинематики. Рассмотренная в работе [Goldfarb et al., 2014] геодинамическая схема позднеюрско-меловой эволюции востока Азии предполагает, что стадийность развития разрывно-складчатой структуры, гранитоидного магматизма и золотого оруденения ЯКСО обусловлена последовательной аккрецией террейнов с восточной, северной и южной сторон пассивной окраины кратона. Направление субдукции, т. е. кратон был субдуцирован под микроконтинент или наоборот, не выяснено [Goldfarb et al., 2014]. Часть исследователей отрицает существование субокеанического бассейна [Прокопьев, Тронин, 2004] и рассматривает взаимодействие между микроконтинентом и Северо-Азиатским кратоном как проявление субдукции А-типа [Некрасов, 2017]. Одновременно с завершением коллизионных событий происходило формирование вулканических дуг, их структуры расположены поперечно к простиранию коллизионной зоны.

Рудообразующие процессы носят наложенный характер и могли проявляться как во время коллизионных событий [Геодинамика..., 2006] (поздняя юра—ранний мел), так и в условиях постколлизионной обстановки [Третьяков, Прокопьев, 2014], сопряженной с развитием в пределах Охотско-Чукотского вулканического пояса Удско-Мургальской (ранний мел) и Охотско-Чукотской (альб—кампан) вулканических дуг. Раннемеловой возраст определен для серицитов и калиевых полевых шпатов, предположительно синхронных с золотым оруденением ЯКЗП (149—124 млн лет [Goldfarb et al., 2014]); 132 ± 7 млн лет [Акинин, Ворошин, 2006]), для серицитов и галенитов золотых и полиметаллических ассоциаций Южного Верхоянья (120.0 ± 1.3 млн лет [Prokopyev et al., 2009; Чернышев и др., 2011]). Позднемеловой возраст предполагается для метасоматитов, связанных с антимонитовой минерализацией, наложенной на золото-кварцевую минерализацию месторождений Сарылах и Сентачан [Бортников и др., 2010]. Более точные данные, полученные Rb-Sr и Ar-Ar методами по адулярам золото-серебряных месторождений на смежной территории Охотско-Чукотского вулканического пояса [Стружков, Константинов, 2005], позволяют выделить неокомовый (136 ± 3 млн лет) и коньяк-кампанский (79.5 ± 7.5 млн лет) этапы рудообразования, коррелирующие с позднеколлизионным и постколлизионным этапами рудообразования в ЯКЗП.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Несмотря на хорошую изученность территории провинции, остро стоят вопросы регионального прогнозирования и ранжирования по перспективности объектов поисков. Практика проведения буровых работ на известных жильных объектах для выявления крупнообъемной минерализации показала недостаточную эффективность и отсутствие прямой связи между масштабами жильной и прожилково-вкрапленной минерализации.

При металлогеническом районировании, основанном на формационном или террейновом анализе складчато-надвиговых поясов, месторождения оказываются на границах структурно-формационных зон (террейнов) и зачастую включаются в состав соответствующих металлогенических зон на основании волевого решения. Чтобы убедиться в этом, достаточно сравнить тектонические карты, карты металлогенического районирования и карты полезных ископаемых для территории Яно-Колымской золоторудной провинции (например, http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/dvfo/magadanskaya_obl/). Показателен пример золото-сурьмяного пояса Якутии, контролируемого зоной Адыча-Тарынского разлома. Вдоль этого разлома большинство исследователей тектоники региона [Тектоника..., 2001] проводит границу между структурами деформированной пассивной окраины и перикратонными террейнами. При этом золоторудные месторождения Делювиальное, Бадран, Малотарынское, Якутское, Ким и целая серия мелких золоторудных объектов расположены к западу от этой границы (в ВСНП), а месторождения Сентачан, Сарылах, Малтан, Тан, Дрожное — к востоку от нее. Соответственно, при проведении средне-масштабного металлогенического районирования авторы либо избегают проводить границы металлогенических подразделений [Тектоника..., 2001], либо объединяют сближенные рудные объекты в более или менее обоснованном и геометризованном контуре, пересекающем геологические и тектонические границы [Амузинский, 2005; Политов и др., 2008]. Сходным образом граница между формационными

комплексами Кулар-Нерского и Инъяли-Дебинского террейнов разделяет совершенно не различающиеся в минералого-геохимическом плане рудные объекты (например, Бурустах, Золотой Рог, Хангалас, Нагорное и Светлое, Ветренское). Уникальная россыпная золотоносность южной части Инъяли-Дебинского синклинория и его почти полная стерильность в отношении золота к северо-западу от р. Индигирка также не получает объяснения с точки зрения металлогенического районирования, основанного на формационном анализе. Здесь это касается не только осадочных, но и гранитоидных формаций, которые не отличаются от гранитоидов, размещающихся южнее.

Ситуация объясняется тем, что золотоносные минеральные ассоциации относятся к позднеколлизийным образованиям. Эти ассоциации наложены на синаккреционные вещественные комплексы, в том числе и на гранитоидные массивы и сопутствующие им метаморфические ореолы. Таким образом, необходимо выделить вещественные комплексы и тектонические структуры, непосредственно сформированные в условиях континентального орогенеза. К территории Яно-Колымской провинции вполне применимы слова И.Н. Томсона с соавторами [Томсон и др., 1984, с. 4]: «...традиционные методы тектонического районирования, такие, как метод анализа фаций и мощностей отложений, имеют ограниченное применение для условий континентального орогенеза тектогенеза...» из-за сокращения геологической летописи. И далее [Томсон и др., 1984, с. 5] «...на первый план выступают структурные факторы контроля оруденения». Можно предполагать, что трудности могут быть отчасти преодолены на основе «металлогении линеаментов» [Смирнов, 1982]. Однако из-за высокой неотектонической активности современный структурный план провинции не полностью совпадает со структурным планом, существовавшим на момент рудообразования. Это затрудняет прогнозирование месторождений на основе структурных критериев, выявляемых при дешифрировании дистанционных материалов. Для решения задач выявления скрытых закономерностей размещения известных золоторудных объектов и прогнозирования новых объектов в пределах Яно-Колымской провинции нами проведено дешифрирование данных по золотоносности с выделением и интерпретацией рудных линеаментов (металлолинеаментов, по [Кац и др., 1985]).

Цель статьи — показать возможность регионального прогнозирования золото-кварцевой минерализации в терригенных комплексах Яно-Колымской провинции на основе реконструкции структурного плана на момент рудообразования, восстановленного с помощью анализа пространственного распределения золоторудных проявлений.

Можно предполагать, что выявление новых закономерностей в пространственном размещении золоторудных объектов позволит прогнозировать области развития скрытых или перекрытых золоторудных объектов, локализовать поисковые усилия и, соответственно, существенно снизить затраты на проведение геолого-разведочных работ.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ особенностей пространственного распределения месторождений золота является разновидностью общепринятого метода геологических аномалий и используется преимущественно для прогнозирования [Стружков, Константинов, 2005]. Чаще всего проводится анализ пространственного распределения однородных по минералого-геохимическим характеристикам рудопоявлений и месторождений. На основе такого анализа предварительно оконтуриваются металлогенические таксоны, выявляются рудные тренды и пояса, устанавливается «рудный шаг» между объектами, прогнозируются скрытые рудоконтролирующие структуры. При использовании разновозрастных рудных объектов картируемое распределение месторождений может содержать информацию о кинематике систем разломов, на что указывается, в работе [Micklethwaite, 2007] на основе анализа пространственного распределения месторождений Северной Америки.

Теоретическими основами использованной методики служат представления о том, что золотоносные гидротермальные растворы мигрируют вдоль региональных тектонических нарушений и откладывают золото на геохимическом (электрохимическом) и/или термобарическом барьерах [Kerrick et al., 2000]. В условиях однородности толщи для существования такого барьера необходима повышенная трещиноватость пород. Относительная однородность вмещающей среды (терригенный верхоянский комплекс) и постоянство состава и последовательности образования продуктивных минеральных ассоциаций на орогенных золоторудных объектах ЯКЗП позволяют предположить, что распределение золоторудных объектов в пространстве отражает структуру разрывных нарушений, существовавшую на момент рудоотложения.

Для построения схемы (рис. 2) привлечены данные штучного опробования по 2140 рудным объектам, расположенным за пределами ОЧВП и учтенным в кадастрах рудных объектов Яно-Колымского междуречья. Материалы дополнены данными, полученными автором при работе в регионе с 2000 по 2014 г. Кроме резко преобладающих объектов золото-кварцевой и золото-редкометалльной (связанной с гранитоидами) формаций учитывались проявления золотоносности в серебро-полиметаллических,

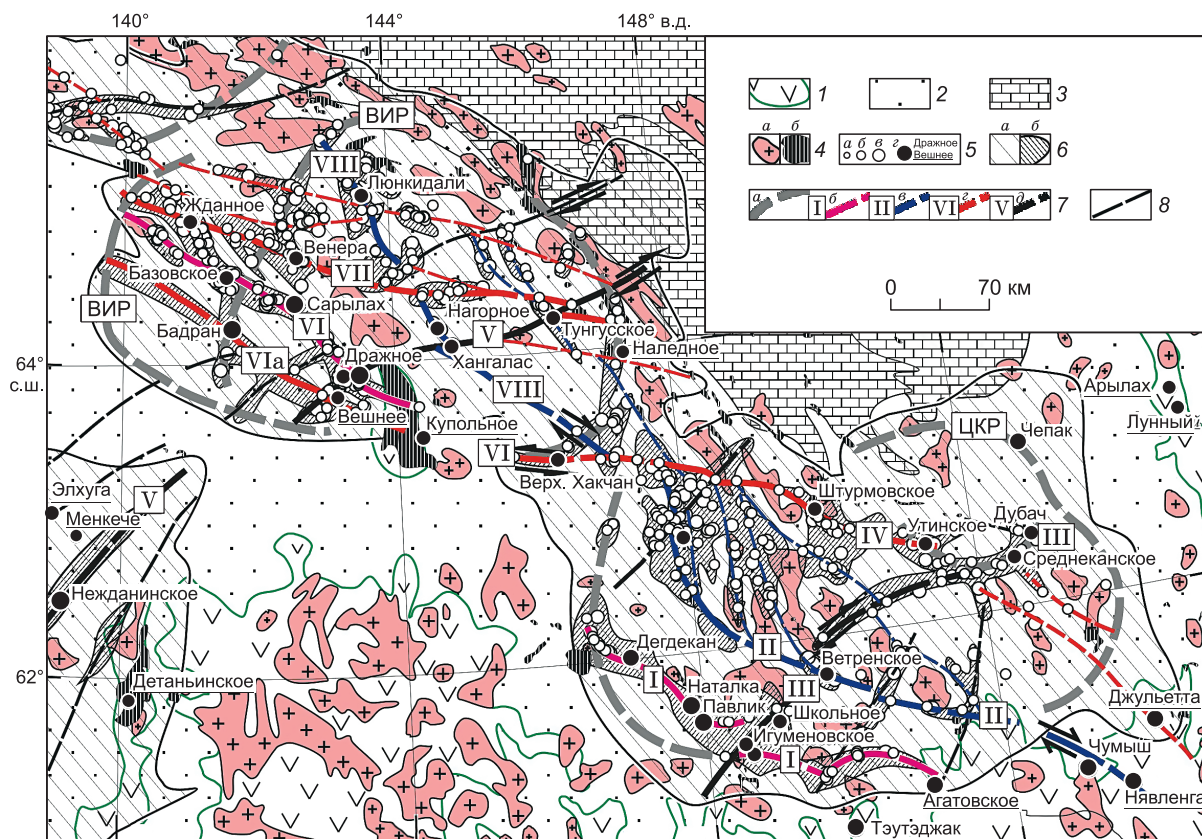


Рис. 2. Структура размещения золотого оруденения в терригенных комплексах южной части Яно-Колымской золоторудной провинции.

1 — меловые вулканыты (лавы, туфы и субвулканические тела); 2 — терригенные породы верхоянского комплекса; 3 — доверхнекарбонные породы основания с наложенными юрско-четвертичными впадинами; 4 — интрузивные (а) и субвулканические (б) тела; 5 — (а-в): содержания золота (г/т) по данным пробирного анализа штучных проб: а — менее 3, б — от 3 до 300, в — более 300; 6 — опорные месторождения золота и серебра (подчеркнуты); 7 — рудные тренды: дуговые (а), линейные северо-западного простирания (б-г); 8 — рудные линейменты (цвет соответствует усл. 7). Цифрами обозначены главные рудные тренды: I — Тенькинский, II — Чай-Юрьинский, III — Паутовский, IV — Детринский, V — Сунтар-Индигирский, VI — Эльги-Тарынский (VIa — Бадранский); VII — Ольчано-Делянкирский; VIII — Нерский. Схема составлена с использованием кадастров к картам Магаданской области м-ба 1:200 000 [Маннафов и др., 1997; Кузнецов и др., 1998], фондовых материалов (кадастр полезных ископаемых на территории деятельности ОАО «Янгеология», кадастр полезных ископаемых на территории деятельности ГУГПП «Якутскгеология»), а также собственных данных автора.

оловорудных, вольфрамовых и сурьмяных рудных объектах. При построении трендов учитывалось распределение россыпных проявлений, показанное на картах полезных ископаемых м-ба 1:500 000 [Кузнецов и др., 1998; Маннафов и др., 1999] и на схемах [Шило, 2002; Скрыбин, 2010]. Из рассмотрения были исключены позднемеловые золото-серебряные месторождения в пределах ОЧВП.

Точки штучного опробования выносились на схему м-ба 1:2 500 000 в трех градациях уровней содержания золота: 1—5 г/т — низкий; 5 — 300 г/т — средний и более 300 г/т — высокий. При этом использовалось максимальное значение содержания золота, полученное при отборе штучных проб. Отметим, что штучные пробы удовлетворяют условиям экстремума, а выборка в целом — условиям однородности, так как геолог отбирает в штучную пробу лучшие образцы руды. Вариации содержаний золота составляют от 0.1 до 13600 г/т (рис. 3). Значения ниже 1 г/т были отброшены для повышения достоверности выборки (чувствительность пробирного анализа колеблется от 0.2 до 0.5 г/т, остальные виды анализов применялись спорадически). Крупные месторождения отнесены к уровню высоких концентраций.

После выноски рудных объектов на схему области повышенной плотности точек минерализации оконтурены в последовательности: общий контур — контуры вокруг скоплений точек высоких концентраций — контуры, объединяющие сближенные скопления точек, — длинные оси анизотропных конту-

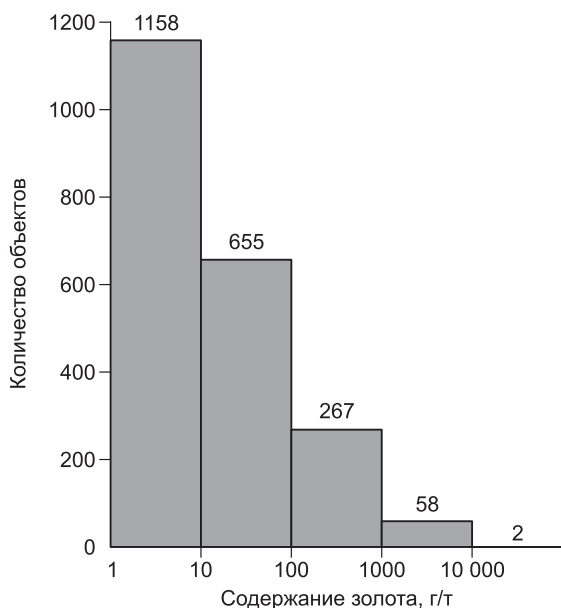


Рис. 3. Распределение штучных проб из рудопроявлений Яно-Колымской провинции по десятичным классам содержаний золота (всего 2140 объектов).

ров. Затем оси интерполировались с учетом фактического положения рудных объектов. Полученные после интерполяции кривые интерпретируются нами как пересечения современной топографической поверхности с плоскостями разрывных нарушений, активных на момент рудообразования. Эти кривые выделены и показаны на схемах так, чтобы их ориентировка, форма и соотношения между ними не противоречили существующим реконструкциям кинематики рудовмещающих разломов [Калинин, 1992; Фридовский, 2002; Шахтыров, 2010; Войтенко, Задорожный 2015; Читалин, 2016] и нашим собственным наблюдениям [Аристов и др., 2016]. При оконтуривании сближенных скоплений точек минерализации учитывалась возможность выявления дуговых или полукольцевых структур.

Кривые, на которые попадают известные месторождения, мы называем «трендами» (дуговыми и линейными), а если месторождений пока не выявлено — «рудными линеаментами» вне зависимости от их кривизны. Некоторые (чаще всего крупные) рудные объекты включены нами в состав двух или трех трендов как на основании их масштаба, так и по присутствию на золоторудных объектах минералогических или геохимических признаков, указывающих на существенное изменение условий отложения поздних стадий минералообразования. Сравнение положения выделенных линейных структур с картируемыми разрывными нарушениями проводилось в основном по схемам Г.С. Гусева [1979] и по описаниям разрывных нарушений в работе [Геодинамика..., 2006].

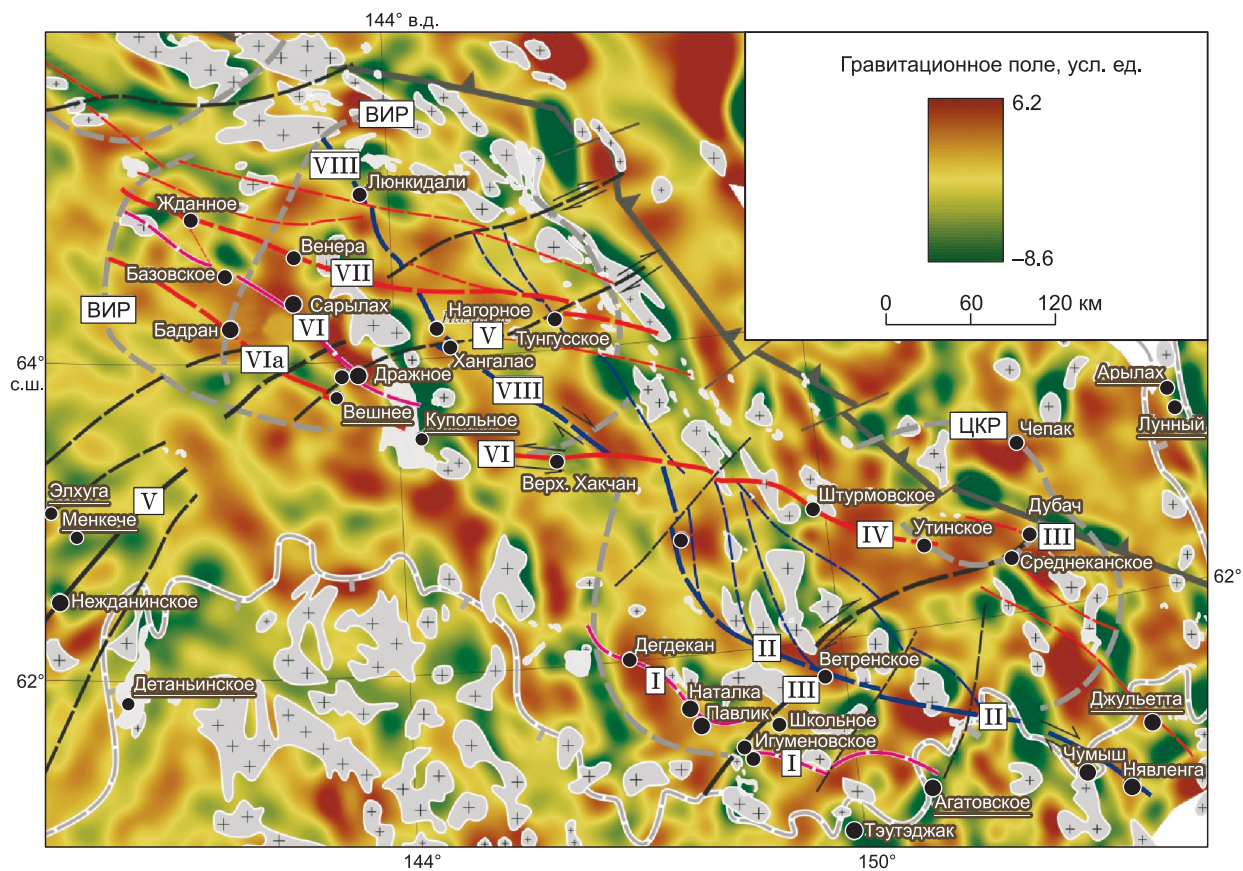
При интерпретации данных использовались цифровые модели гравитационного и магнитного полей, созданные ВИРГ в виде матриц по сети 0.5×0.5 км и построенные по этим цифровым моделям карты гравитационного и магнитного полей. В качестве исходных данных использовались первичные данные геофизической основы государственной геологической карты м-ба 1:1 000 000 и результаты среднемасштабных (1:200 000 – 1:50 000) геофизических съемок. Д.С. Зеленецким по стандартным методикам проведены дополнительные трансформации гравитационного поля (в том числе позволяющие выделить его «локальную» и «региональную» составляющие).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

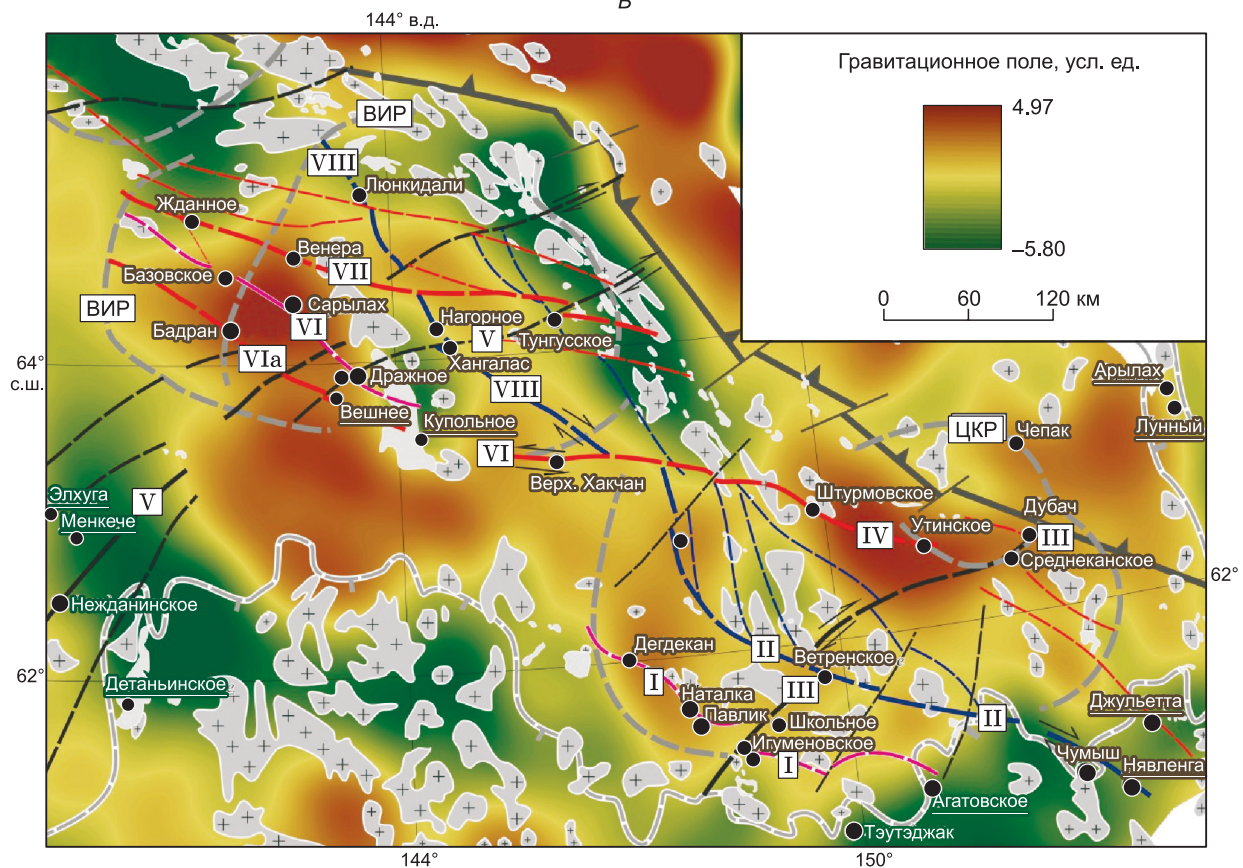
Полученная схема (см. рис. 2) отражает структуру распределения золоторудных объектов центральной и южной частей Яно-Колымской провинции. Характер распределения рудных объектов позволяет наметить контуры Верхнеиндигирского (ВИР) и Центрально-Колымского (ЦКР) мегарайонов с повышенными концентрациями золотых месторождений. Еще два мегарайона (Южно-Верхоянский и Адычанский) попадают на схему фрагментарно. Ориентировочные границы мегарайонов — дуговые (концентрические) тренды — фиксируются не только рудными объектами, но и небольшими субвулканическими телами. Дуговые тренды ограничения мегарайонов не находят четкого соответствия на существующих тектонических схемах. Восточнее зоны разлома Дарпирский золоторудные объекты имеют спорадическое распространение и большинство выявленных рудных трендов не прослеживается. Зона разлома Дарпирский ограничивает с юго-запада Омудевский террейн и прослежена на расстояние более 800 км при мощности от 0.3 до 3.0 км [Геодинамика..., 2006]. Вертикальная амплитуда смещения составляет 3—5 км [Чехов, 1973]. Местами разлом трансформирован в надвиг с перемещением отдельных блоков на юго-запад до 40—50 км.

Линейные размеры ЦКР — 390×280 км, площадь около 85 765 км², ВИР — 420×238 км, площадь примерно 78 500 км². Данные показатели существенно превышают общепринятые [Томсон, 1988; Стружков, Константинов, 2005] размеры рудных районов, что заставляет нас пользоваться термином «мегарайон». Сопоставление мегарайонов с аномалиями на картах трансформации гравитационного поля (рис. 4, А, Б) показало, что мегарайоны отвечают зонам повышенной плотности на уровне глубин около 15 км. Это хорошо согласуется с представлениями [Буряк и др., 2002] о связи золотой минерализации ЦКР с образованиями основного состава. Наиболее крупные месторождения (Бадран, Дразное, Наталка, Павлик) концентрируются вдоль западной периферии мегарайонов. Центры мегарайонов,

А



Б



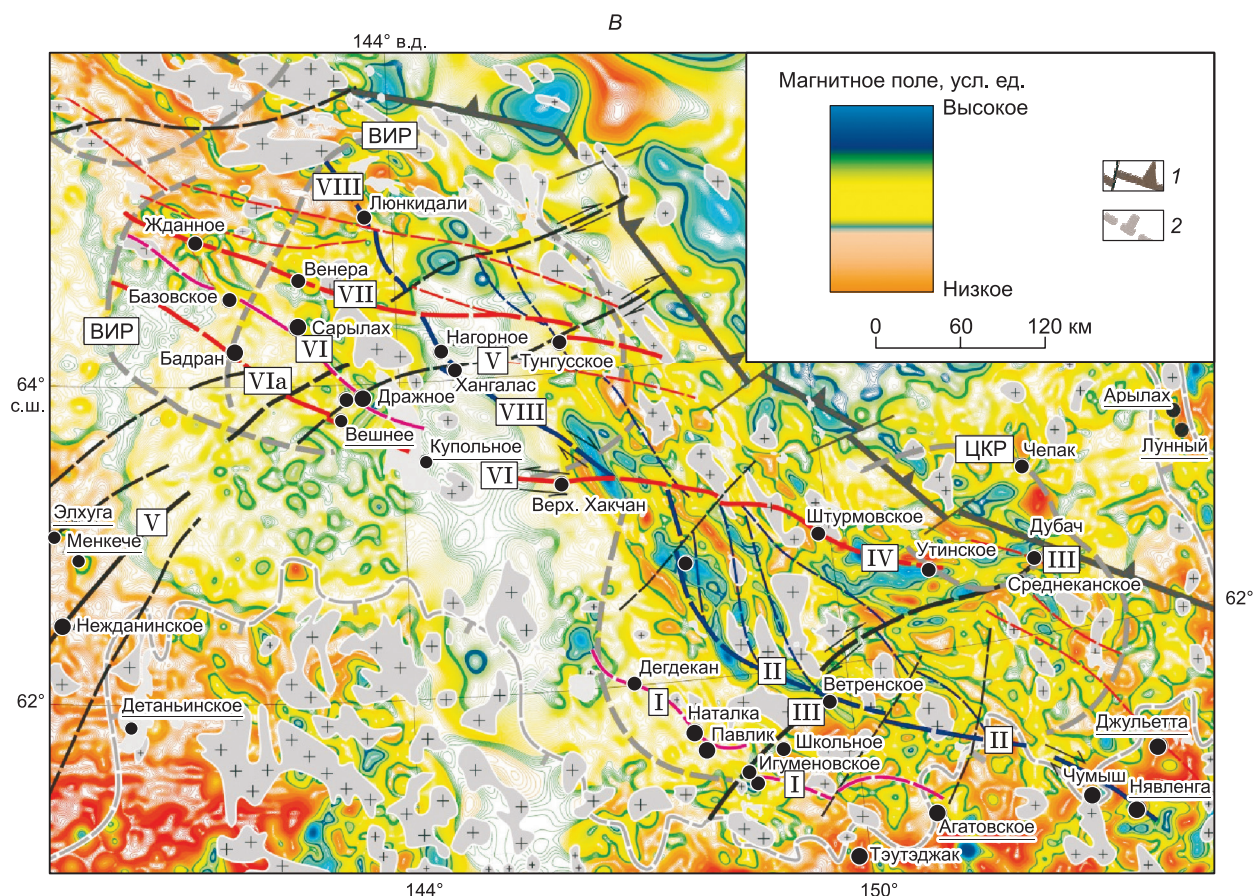


Рис. 4. Положение основных месторождений и рудных трендов в гравитационном (А, Б) и магнитном (В) полях:

А — частотная характеристика соответствует уровню среза 5 км, Б — уровню среза 15 км. 1 — граница Колымо-Омолонского супертеррейна; 2 — область распространения вулканитов ОЧВП. Остальные усл. обозн. см. на рис. 2.

предполагаемые по уменьшению радиусов дуговых трендов, тяготеют к восточной границе ЯКСО и смещены к востоку относительно установленных ранее [Томсон и др., 1984] концентрических структур с центрами в районах скопления гранитоидных массивов. Размеры мегарайонов несколько меньше размеров таких концентрических структур. Асимметричные мегарайоны пересечены линейными трендами и рудными линеаментами северо-западной и северо-восточной ориентировок. На продолжении этих структур за пределами мегарайонов количество рудных объектов резко уменьшается. Линеаменты северо-западной ориентировки косо секут оси складчатых структур и близки по простиранию к рифтогенным палеоструктурам [Чехов, 2000] с юрским и раннетриасовым осадочным выполнением. Линеаменты северо-восточной ориентировки совпадают с простиранием основных структур Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Некоторые тренды, особенно в пределах Центрально-Колымского мегарайона, совпадают с линейными аномалиями магнитного поля (см. рис. 4, В).

Наиболее крупными трендами в пределах ЦКР и ВИР являются:

1) тренды северо-западного простирания, косесекущие оси крупных структурных элементов (тренды объединены в три группы, по вероятной связи между ними):

Первая группа:

I — Тенькинский, VI — Эльги-Тарынский; отвечающий южной части Адыча-Тарынского золото-сурьмяного рудного пояса.

Вторая группа:

II — Чай-Юрьинский, VIII — Нерский.

Третья группа:

IV — Детринский, VIa — Мугурдах-Селериканский (Бадранский), VII — Ольчано-Делянкирский, фиксируемый по крупнейшим россыпям Верхнеиндигирского района.

- 2) тренды северо-восточного простирания, поперечные относительно основных складчатых структур:
III — Паутовский;
V — Сунтар-Индигирский.

Тренды северо-западного простирания. Эльги-Тарынский (VI) и Тенькинский (I) тренды сопровождаются широким (10—15 км) ореолом россыпных (Адычанская, Тарынская, Омчакская россыпи) и золото-кварцевых объектов. Месторождения Базовское, Малотарынское, Дразное и, возможно, Верхний Хакчан и Контрандынское входят в тренд VI. Тенькинский тренд (I) включает крупные и уникальные концентрации золота месторождений Дегдекан, Наталка, Павлик. Золотоносные тренды отчасти совпадают с зоной Адыча-Тарынского разлома (АТР) [Шахтыров, 1997]. Такое совпадение устанавливается на отрезках АТР от р. Адыча до верховьев р. Эльга (Адычанский тренд, на рис. 1 не показан), от среднего течения р. Эльга до верховьев рек Бол. и Мал. Тарын (Эльги-Тарынский тренд (VI)) и на отрезке, отвечающем Тенькинскому тренду (I). Тренды этой группы, в отличие от самой зоны АТР, деформированы, что подчеркивается их изогнутой формой в плане. Эльги-Тарынский и Тенькинский тренды разделены примерно 150-километровым интервалом, где рудной минерализации не установлено.

Чай-Юрьинский тренд (II) включает среднее по запасам месторождение Ветренское и несколько мелких объектов (Светлое, Мальдяк и др.), а также оперяющие его рудные линеаменты со значительным количеством мелких рудных объектов, расположенных между гранитоидными массивами Главного батолитового пояса. С юго-восточным продолжением тренда (II), в пределы ОЧВП, пространственно связаны мелкие и средние по запасам золота месторождения Чумыш и Нявленга, для которых установлен раннемеловой возраст рудной минерализации. В северо-западном направлении в качестве продолжения Чай-Юрьинского тренда может рассматриваться Нерский тренд (VIII), в котором расположены месторождения Хангалас, Нагорное и несколько перспективных участков на правом берегу р. Инди-гирка, в том числе золото-серебряное месторождение Люнкидали. Субпараллельно трендам II и VIII, к северо-востоку от них, по серии мелких золоторудных объектов с невыясненным промышленным значением (Бурхалинское, Фарт и др.) фиксируется рудоносный линеамент, связанный с трендом II непротяженными зонами непромышленной минерализации. При сближении тренда II с этим линеаментом наблюдается широкое развитие россыпной золотоносности (в частности, уникальной Чай-Юрьинской россыпи). Южнее 62 °с.ш. Чай-Юрьинский тренд совпадает с зоной одноименного разлома. Зона Чай-Юрьинского разлома [Чехов, 1973] имеет протяженность около 1000 км при мощности около 1 км и отделяет юрские отложения Инъяли-Дебинского синклинария от пермских и триасовых в Аян-Юрхском антиклинории и Адыча-Эльгинской зоне. Вертикальная амплитуда смещений по разлому оценивается в 1—3 км, а правосторонние сдвиговые перемещения достигают десятков километров [Чехов, 1973]. В северном направлении разлом трансформируется в надвиг (Чаркы-Индигирский), горизонтальная амплитуда по которому достигает нескольких десятков километров.

Детринский тренд (IV), в котором сосредоточены средние и мелкие по запасам месторождения золота, тесно связанные с дайками и малыми интрузиями (Штурмовское, Утинское), выделен в пределах ЦКР. На продолжении Детринского тренда расположен Мугурдах-Селериканский (Бадранский) тренд (VIa). С ю.-в. на с.-з. он включает месторождение Эргелях, серебро-полиметаллическое месторождение Вешнее, месторождение Бадран и перспективные проявления Сюрампинского рудного поля. Юго-восточная часть тренда VIa изучена плохо. Детринский и Мугурдах-Селериканский тренды примерно соответствуют Брюнгадинскому разлому, как он показан на схеме, предложенной Н.А. Горячевым [2010].

Параллельно тренду IV в Верхнеиндигирском мегарайоне расположен Ольчано-Делянкирский (VII) тренд, в котором известны мелкие месторождения Тунгусское, Венера, Безымянное и Жданное, пространственно связанные с дайками риолитов, диоритовых порфириров и лампрофиров [Аристов и др., 2016].

Тренды северо-восточного простирания достаточно близко совпадают с известными зонами поперечных разрывных нарушений или зонами тектономагматической активизации (ТМА). Эти зоны являются транзитными относительно границ мегарайонов. Их рудоносность связана с проявлениями минерализации «порфирового» типа или типа «intrusion relative» и аномальна относительно основного минералого-геохимического фона региона (в продуктивных минеральных ассоциациях повышена роль серебра, висмута и меди).

Северо-восточная часть выделенного Паутовского тренда (III) характеризуется развитием золото-рудной минерализации в гранитоидных массивах или их ближайшем окружении (Игуменовское—Школьное—Среднеканское—Дубач и др.). Паутовский тренд расположен субпараллельно крупному Паутовскому разлому северо-восточного простирания. Этот разлом [Геодинамика..., 2006] отделяет Кулар-Нерский террейн от Балыгычанского поднятия и ориентирован согласно с общим простиранием ОЧВП. Зона разлома представлена широкой полосой сближенных нарушений и многочисленных аномалий силы тяжести и магнитных полей. Кинематически разлом представляет собой взброс (надвиг) с плоскостью падения сместителя на юг.

Сунтар-Индибирский тренд (V) выделен нами в пределах зоны тектономагматической активизации, основной особенностью которой является линейное расположение золоторудных объектов, в радиусе 50—70 км от которых наблюдаются «парные» сереборудные. Из относительно крупных объектов Верхнеиндибирском районе это пары: Тунгусский (Au)—Наледный (Ag), Хангалас (Au)—Купольное (Ag) и Дразный (Au)—Вешнее (Ag), а в Южно-Верхоянском — Нежданинское (Au)—Верхнеменкеченское (Ag) и на дублирующем основной тренд рудном линеаменте — Лазурный (Au)—Элхуга (Ag). В южной части тренд частично совпадает с зоной Сунтарского разлома [Коростелев, 1982], а в северо-восточной — с тектоническим нарушением, прослеженным по развороту интрузивных тел в южном контакте Нельканского массива, по изолированному поясу даек на лево- и правобережье р. Нера, по ориентировке Хуламиринского массива субщелочных гранитоидов и ряда субвулканических тел (массив Марка). Два субпараллельных рудных линеамента расположены севернее основного тренда и один — южнее. Самый северный линеамент отчасти отвечает так называемому Индибирскому разлому, который, по данным [Бергер, 1978], ограничивает с юго-востока главные рудные зоны Сарылахского месторождения.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Закономерное линейное размещение рудных объектов в структурах различного таксономического порядка замечено еще на эмпирической стадии развития геологии. Планетарные рудные пояса (Уральский, Кавказский, Тихоокеанский и др.) рассматривают как элементы геологической структуры складчатых областей [Методическое руководство..., 1986; Радкевич, 1987; Пространственные..., 2002]. В пределах поясов рудные объекты концентрируются в линейных или изометричных структурах — рудных районах [Томсон, 1988]. Линейное размещение рудных объектов Казахстана позволило М.А. Фаворской сформулировать представления о рудоцентрирующих структурах, подчеркнув важность тектонических факторов контроля оруденения. Выраженное поясовое распределение рудных объектов Забайкалья использовано А.Д. Щегловым [1980] для подтверждения идеи об областях тектономагматической активизации как об особом типе структур земной коры. В настоящее время положение и металлогеническая специализация рудных поясов планетарного и регионального масштабов удовлетворительно объясняется с геодинамических позиций тектоники литосферных плит (приуроченность к зонам взаимодействия тектонических плит с различным типом земной коры) [Kerrich et al., 2000].

Внутри рудных районов также наблюдается линейное размещение объектов, так называемые «рудные пояса рудных районов» [Вольфсон, 1955], которое находит объяснение в приуроченности месторождений к определенным разрывным нарушениям. В зарубежной литературе «рудным поясам рудных районов» соответствуют тренды, характеризующиеся пространственно сближенными проявлениями однородных минеральных ассоциаций, приуроченными к единой зоне разрывного нарушения. Широко известны золоторудные тренды Карлин и Гетчел, пояс Сьерра Футхилс, включающий линейные зоны золото-кварцевых жил месторождений Мазер Лад и Грасс Вэлли, тренды зеленокаменных поясов Австралии и многие другие. Особенности линейного распределения рудных объектов достаточно широко используются как для различных теоретических обобщений, так и в поисковой практике. Примером удачного прогноза на основе анализа пространственного распространения рудных объектов является тренд Карлин, выделенный по сближенным объектам золото(мышьяковисто)-сульфидной формации. Прослеживание тренда в ходе поисковых работ позволило выявить скрытые месторождения золота в его пределах (например, месторождение Мейкл) [Teal, Jakson, 1997; Константинов, 2006]. На основе анализа распределения промышленных золоторудных объектов в Северных и Южных Кордильерах автор работы [Silitoe, 2008] выделил 22 пояса, сформированных при сжатии или растяжении в условиях магматических дуг и в задуговых обстановках, и рекомендовал проведение работ в пределах этих поясов.

Неожиданным результатом проведенного анализа оказалось то, что неравномерное распределение золотых месторождений Яно-Колымской провинции описывается достаточно простой геометрией палеосети разрывных нарушений. Сопоставление геометрии выявленной сети трендов и рудоносных линеаментов с геологическими и тектоническими схемами показывает, что ориентировка рудоносных линеаментов близка к простиранию известных разрывных структур, сводное описание которых приведено С.Г. Бялобжеским с соавторами [Геодинамика..., 2006]. В то же время выделенные нами линейные структуры только отчасти совпадают с крупными разломами. Тренды и рудные линеаменты интерпретируются как фрагменты зон крупных разрывов, существовавших на момент образования золотоносных руд. Распределение скоплений золоторудных объектов и «пустых» интервалов между такими скоплениями по простиранию этих структур, вероятно, соответствует распределению областей растяжения и сжатия в плоскости рудовмещающего разрывного нарушения. При увеличении масштаба анализа и привлечении дополнительных геологических и геохимических данных может быть выявлена внутренняя

структура таких зон. Можно предполагать, что она будет сходна со строением зон рудовмещающих дислокаций, выделенных В.М. Яновским [1990].

Выделенные тренды и рудные линейные элементы могут быть соотнесены с группами структур рудных полей, образовавшихся на позднеколлизийной и субдукционной (постколлизийной) стадиях развития территории, по [Фридовский, 2002], а также с определенными структурными группами (фазами деформации), на основании которых А.И. Калинин [1992] выделяет структурные типы месторождений золото-кварцевой формации.

С складчатостями взбросами и надвигами могут быть отнесены Тенькинский (I) и Эльги-Тарынский (VI) тренды. Вероятно, этим трендам соответствовали разрывные ограничения отдельных надвиговых чешуек в составе Яно-Колымской складчатой области. Они тяготеют к юго-западной периферии мегарайонов и содержат наиболее крупные рудные месторождения (Павлик, Наталка, Дегдекан, Державное, Сарылах). Значительная кривизна трендов, северо-западное генеральное простирание и наклоненные под разными углами на северо-восток плоскости падения рудовмещающих разрывных нарушений позволяют рассматривать эти тренды как структуры, наследующие положение зоны развития листрических разломов во фронтальной (западной) части Яно-Колымского складчатого пояса.

Особенности морфологии остальных трендов северо-западного простирания и узловое распределение в них рудных объектов не противоречат предположению о том, что главные стадии рудоотложения на золотоносных объектах связаны с левосдвиговыми смещениями при коллизийном взаимодействии Колымо-Омолонского микроконтинента с окраиной Северо-Азиатского кратона, как это предполагается большинством исследователей. По-видимому, на распределение золоторудных объектов оказывают влияние разломы с правосдвиговой кинематикой, которые могут интерпретироваться как ранние относительно левосдвиговых [Шахтыров, 2010] или как сопряженные с ними. С складчатостями правыми сдвигами идентифицированы Нерский (VIII) и Чай-Юрьинский (II), а с левыми сдвигами — Мугурдах-Селериканский (VIa), Детринский (IV) и Ольчано-Делянкирский (VII) тренды.

Нами уточнено положение рудоконтролирующих зон северо-восточной ориентировки (зоны поперечных сбрососдвиговых нарушений, субпараллельные основным разломам ОЧВП) с левосдвиговой составляющей и установлено, что в большинстве случаев они являются рудоограничивающими, смещают ранние тренды и иногда вмещают промышленную минерализацию. Образование этих зон происходило в постколлизийную стадию. Минерализация поперечных структур всегда более поздняя, чем в главных трендах. Дислокациям в зонах ТМА мезозой могут быть сопоставлены Сунтар-Индигирский (V) и Паутовский (III) тренды. Геодинамическая позиция рудных трендов северо-восточной ориентировки (рис. 5), вероятно, сходна с позицией рудных трендов Невады (Карлин и др.). Развитие этих трендов [Grauch et al., 2003] связывают с древними структурами фундамента, поперечными к простиранию основных надвиговых нарушений и границ блоков с разными типами земной коры. Поперечные зоны могут быть аналогичны следам зон миграции рудно-магматических флюидов в пределах Южного Тянь-Шаня [Савчук, Мухин, 1993].

Тренды, которые можно сопоставить с пластической и конечной фазами деформации [Калинин, 1992] или с раннеколлизийными структурами [Фридовский, 2002] нами не идентифицированы.

Наблюдается сходство локального структурного контроля и состава минерализации крупных месторождений ЯКСО с золото-кварцевыми объектами в ограничениях аллохтонных пластин в аккреционных призмах (активные окраины), такими как Мурунтау (линейные зоны региональных надвигов Южного Тянь-Шаня [Савчук, Мухин, 1993]), Бакырчик (взбрососдвиги Западно-Калбинской зоны [Рафаилович, 2009]), Мазер Лод (взбросы и надвиги пояса Сьерра Фудхилл (Калифорния) [Silotoe, 2008]). Не менее заметно сходство с золото-кварцевыми месторождениями в деформированных отложениях пассивных окраин (параавтохтонные пластины зон форланда), например, с месторождениями Сухой Лог и Олимпиада [Yakubchuk et al., 2005]. Это сходство связано как с кинематикой разрывных систем, формирующихся в зонах транспрессии, так и с влиянием состава терригенного комплекса на состав минерализации.

На основании сопоставления последовательности образования трендов с установленной последовательностью минералоотложения и с данными по составам руд и флюидных включений в кварце [Аристов и др., 2015, 2017], а также по результатам анализа геологического строения отдельных рудных объектов [Аристов, 2009; Аристов и др., 2016] мы можем высказать предположение о том, что складчатые взбросы и надвиги концентрировали флюидопотоки, генерированные при метасмене и метаморфизме осадочных толщ верхоянского комплекса, а поздние структуры, такие как складчатые сдвиги и сдвиги зон ТМА, отвечали за распределение рудоносных флюидов. Часть рудоконтролирующих разломов, сформированных при сжатии на коллизийном этапе развития территории, была подновлена в постколлизийную стадию.

На основании экстраполяции и интерполяции получившихся трендов и границ мегарайонов можно прогнозировать выявление значительных по масштабам золоторудных объектов в области интерфе-

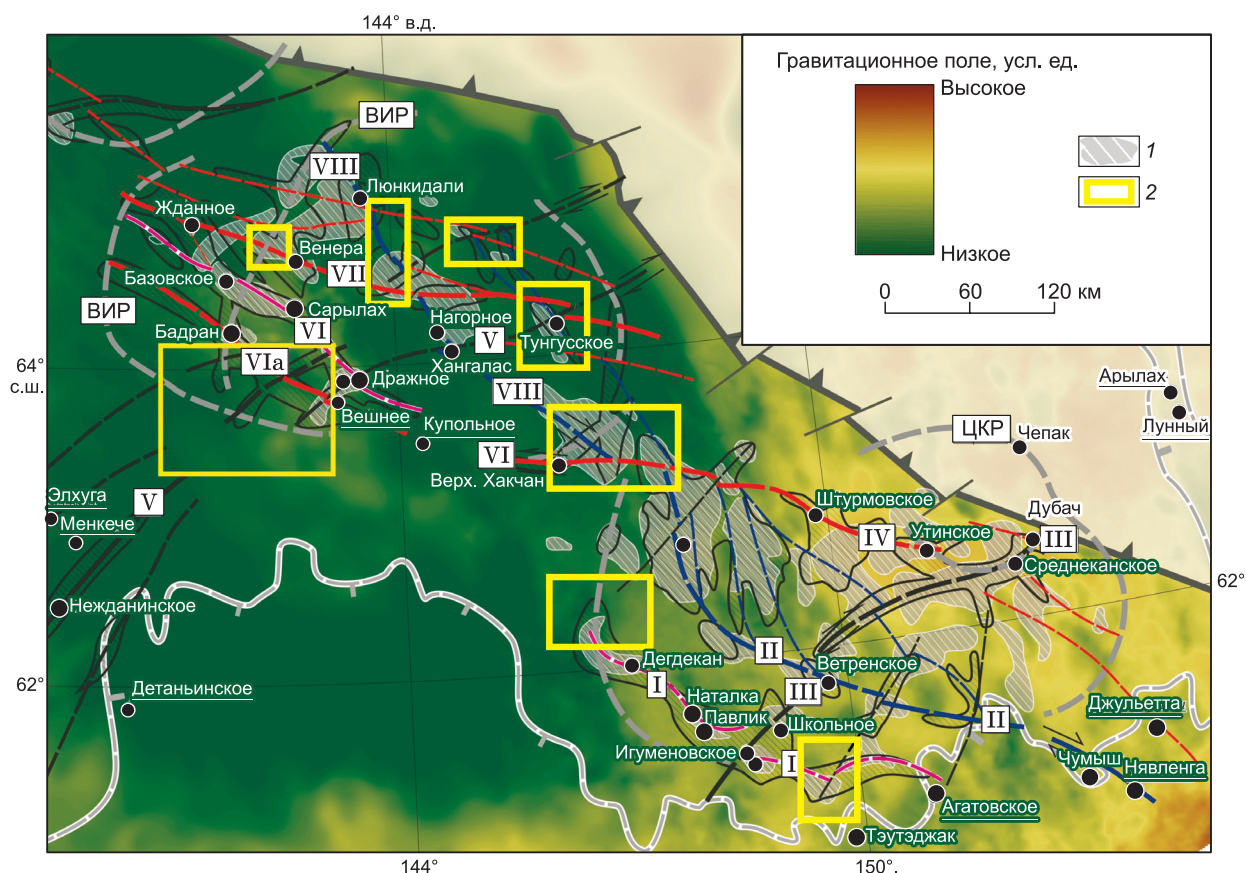


Рис. 5. Перспективные площади, выделенные на продолжениях или на пересечениях рудных линеаментов и трендов.

I — золотороссышные районы; *2* — перспективные площади. Остальные усл. обозн. см. на рис. 2.

ренции Верхнеиндигирского и Центрально-Колымского мегарайонов, в зоне взаимодействия продольного Ольчанско-Делянкинского и поперечного Сунтаро-Индигирского трендов, а также в слабоизученном разрыве Сунтаро-Индигирского тренда между Южно-Верхоянским и Верхнеиндигирским мегарайонами (см. рис. 5). В области интерференции Верхнеиндигирского и Адычанского мегарайонов выявление золоторудных объектов менее вероятно из-за широкого развития гранитоидного магматизма.

Выделение рудных линеаментов и трендов дополняет и детализирует традиционные схемы регионального металлогенического районирования, позволяя сократить площади участков для проведения первоочередных работ. Первоочередные поисковые работы могут быть ориентированы на изучение объектов, расположенных в пределах установленных рудных трендов и на их пересечениях. Рудные линеаменты относятся к объектам второй очереди изучения.

ВЫВОДЫ

Тесная связь орогенных золоторудных объектов с палеоразрывными структурами позволяют реконструировать некоторые особенности структурного плана на момент рудообразования и сделать на этом основании некоторые генетические и прогнозные выводы.

1. Золоторудные объекты с низкими концентрациями золота в рудах образуют обширные мегарайоны, которые находят соответствие в геофизических полях. Генезис этих структур и их соподчиненность с линейными структурами недостаточно ясны и должны являться предметом дальнейшего изучения.

2. Рудные объекты с высокими содержаниями золота сосредоточены в дуговых и линейных трендах и рудных линеаментов. По ориентировке и некоторым морфологическим особенностям тренды разделены на конформные ориентировке осей складок и долгоживущим разрывным нарушениям, кососекущие оси складок (северо-западные) и поперечные к простиранию осей складок и разрывов (северо-восточные). Тренды и рудные линеаменты Яно-Колымской провинции находят соответствие в поздне- и постколлизийных структурах. К соскладчатым взбросам и надвигам, а также к сдвигам раз-

личной кинематики отнесены тренды и рудные линейные элементы северо-западной ориентировки. В постколлизийную стадию происходило образование рудных линейных элементов и трендов северо-восточной ориентировки в зонах ТМА, субпараллельных простиранию вулканических дуг, входящих в состав ОЧВП.

3. Рудовмещающими и рудоконцентрирующими являются все выявленные структуры. Ранние линейные тренды являлись флюидоподводящими и флюидоконцентрирующими структурами для флюидов, массово образовывавшихся на ранних этапах коллизийного взаимодействия двух континентальных блоков за счет метатекстур и метаморфизма осадочных толщ. Главную роль в качестве рудоконтролирующих на ранней стадии рудообразования играли сдвиговые разломы северо-западной ориентировки. На поздней стадии образование повышенных концентраций золота связано с разрывами северо-восточной ориентировки, а также с концентрическими структурами.

4. Соответствие между трендами, рудными линейными элементами и рудовмещающими разрывными нарушениями позволяет прогнозировать положение и ориентировочный масштаб новых рудных объектов в пределах Яно-Колымской провинции. Формационная принадлежность и некоторые региональные особенности золоторудных объектов могут прогнозироваться на основе предположения о перекрывающихся во времени коллизийном геодинамическом режиме взаимодействия структур Сибирской платформы и структур Колымо-Омолонского супертеррейна и субдукционном геодинамическом режиме области взаимодействия Тихоокеанской (Охотоморской) плиты и Сибирской платформы.

Автор благодарен рецензентам, чьи замечания позволили дополнить и существенно улучшить первоначальный вариант статьи.

Работа выполнена при поддержке темы госзадания ИГЕМ РАН «Металлогения рудных районов вулканоплутоногенных и складчатых орогенных поясов Северо-Востока России» и программы Президиума РАН № 48 «Месторождения стратегических и высокотехнологичных металлов Российской Федерации: закономерности размещения, условия формирования, инновационные технологии прогноза и освоения».

ЛИТЕРАТУРА

Акинин В.В., Ворошин С.В. Интеграция геохронологических баз данных и ГИС для анализа эволюции магматизма на северо-востоке Азии // Тихоокеанская геология, 2006, т. 25, № 5, с. 39—50.

Акинин В.В., Миллер Э.Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Петрология, 2011, т. 19, № 3, с. 249—290.

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) // ДАН, 2009, т. 426, № 2, с. 216—221.

Амузинский В.А. Металлогенические эпохи и золотоносность рудных комплексов Верхоянской складчатой системы. Якутск, ИГАиБМ СО РАН, 2005, 248 с.

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., Прокофьев В.Ю., Имамендинов Б.Н., Кряжев С.Г., Алексеев В.Ю., Сидоров А.А. Особенности рудообразования на золото-кварцевом месторождении Дрожное (Восточная Якутия, Россия) // ДАН, 2015, т. 464, № 1, с. 1—6.

Аристов В.В., Бабарина И.И., Григорьева А.В., Алексеев В.Ю., Прокофьев В.Ю., Узункоян А.А., Заболотская О.В., Титов С.Г. Золото-кварцевые месторождения Жданинского рудно-россыпного узла (Восточная Якутия). Структурный контроль и условия образования // Геология рудных месторождений, 2016, т. 58, № 6, с. 559—594.

Аристов В.В., Кряжев С.Г., Рыжов О.Б., Вольфсон А. А., Прокофьев В.Ю., Сидорова Н.В., Сидоров А.А. Источники флюидов и рудного вещества золотой и сурьмяной минерализации Адычанского рудного района (Восточная Якутия, Россия) // ДАН, 2017, т. 476, № 2, с. 174—180.

Бахарев А.Г., Зайцев А.И., Ненашев Н.И., Избеков П.Э. Строение и магматизм Верхнеиндигирской кольцевой структуры // Отечественная геология, 1997, № 9, с. 15—19.

Бергер В.И. Сурьмяные месторождения. Л., Недра, 1978, 295 с.

Билибин Ю.А. О перспективах золотоносности Колымского района. Избранные труды. Т. 3. М., Изд-во АН СССР, 1961, 518 с.

Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Прокопьев А.В. Золото-сурьмяные месторождения Сарылах и Сентачан (Саха-Якутия): пример совмещения мезотермальных золото-кварцевых и эпitherмальных антимонитовых руд // Геология рудных месторождений, 2010, т. 52, № 5, с. 381—417.

Буряк В.А., Михайлов Б.К., Цымбалюк Н.В. Генезис, закономерности размещения и перспективы золото- и платиноносности черносланцевых толщ // Руды и металлы, 2002, № 6, с. 25—36.

Бычок Б.Г. Закономерности размещения и особенности вещественно-минералогического состава сурьмяных проявлений Верхнеиндигирского района // Рудообразование и его связь с магматизмом Якутии. Якутск, Якутское кн. изд-во, 1969, с. 271—272.

Владимиров В.Г. Геолого-структурная позиция золото-сурьмяных проявлений Адыча-Тарынской зоны // Новости геологии Якутии. Якутск, Якутское кн. изд-во, 1973, с. 123—124.

Войтенко В.Н., Задорожный Д.Н. Анализ палеонапряжений по ориентировке трещин растяжения построением круговых диаграмм Мора (на примере жильно-прожилковых тел месторождения Базовское, Восточная Якутия) // Материалы IV молодежной тектонофизической школы-семинара. Тезисы докладов. М., Изд-во ИФЗ РАН, 2015, с. 42—51.

Волков А.В., Сидоров А.А., Старостин В.И. Металлогения вулканогенных поясов и зон активизации. М., МАКС Пресс, 2014, 356 с.

Вольфсон Ф.И. Некоторые закономерности размещения эндогенных месторождений различных генетических типов // Вопросы изучения структур рудных полей и месторождений. М., Изд-во АН СССР, 1955, с. 5—24. (Тр. ИГН АН СССР, вып. 162).

Геодинамика, магматизм и металлогения Дальнего Востока России / Ред. А.И. Ханчук. Владивосток, Дальнаука, 2006, 408 с.

Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов северо-востока Азии. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 1998, 210 с.

Горячев Н.А. Орогенные месторождения золота как металлогенические индикаторы происхождения складчатых поясов // Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении: XXI Международная научная конференция, посвященная 100-летию академика В.И. Смирнова. Москва, МГУ, 26—28 января 2010 г. Сборник трудов. В 2-х томах. Т. 1. М., Макс Пресс, 2010, с. 81—92.

Гусев Г.С. Складчатые структуры и разломы Верхояно-Колымской системы мезозойского периода. М., Наука, 1979, 208 с.

Задорожный Д.Н. Тектонофизические критерии прогноза оруденения Верхоянской сереброносной провинции: Автореф. дис... к. г.-м. н., М., МГУ, 2002, 22 с.

Зарудный Н.И., Константинов М.М. О выделении Приколымо-Камчатского линеамента // Изв. вузов. Геология и разведка, 1981, № 10, с. 120—123.

Калинин А.И. Структуры месторождений золота и серебра Северо-Востока России // Отечественная геология, 1992, № 9, с. 21—29.

Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линеamentной тектоники. М., Недра, 1986, 140 с.

Константинов М.М. Золоторудные провинции мира. М., Научный мир, 2006, 356 с.

Константиновский А.А. Структура и геодинамика Верхоянского складчато-надвигового пояса // Геотектоника, 2007, № 5, с. 3—22.

Константиновский А.А. Осадочные формации Верхоянского пояса и обстановки их накопления // Литология и полезные ископаемые, 2009, № 1, с. 65—86.

Коростелев В.И. Геология и тектоника Южного Верхоянья. Новосибирск, Наука, 1982, 217 с.

Кузнецов В.М., Михайлова В.П., Гагиев М.Х., Дылевский Е.Ф., Шевченко В.М., Шпикерман В.И. Геологическая карта Колымо-Омолонского региона. М-б 1:500 000 / Ред. К.В. Симаков. Объяснительная записка. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 1998, 267 с.

Ларин Н.И. О некоторой закономерности в распределении месторождений золота верхней правобережной части Колымского бассейна // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан, 1949, вып. 7, с. 130—132.

Маннафов Н.Г., Вознесенский С.Д., Огородов В.А. Геологическая карта и карта полезных ископаемых Охотско-Колымского региона. М-б 1:500 000 / Ред. Г.М. Сосунов. Объяснительная записка. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 1999, 181 с.

Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Вып. 1. Принципы и методы оценки / Ред. В.М. Волков. М., ВИЭМС, 1986, 77 с.

Некрасов А.И. Геология и благороднометалльная минерализация Верхояно-Колымской складчатой области. Автореф. дис... д.г.-м.н. М., 2017, 56 с.

Палымский Б.Ф., Горячев Н.А., Акинин В.В., Голубенко И.С., Лялин С.М. Позднемезозойские плутонические серии Охотско-Колымского региона // Вестн. СВНЦ ДВО РАН, 2015, № 2, с. 3—14.

Политов В.К. Тектоническое развитие Балыгычано-Сугойского прогиба // Локальное прогнозирование в рудных районах Востока СССР. М., Наука, 1972, с. 80—88.

Политов В.К., Стружков С.Ф., Наталенко М.В., Голубев С.Ю. Основные особенности геологии и металлогении золота Центрально-Колымского региона // Руды и металлы, 2008, № 4, с. 16—30.

Прокопьев А.В., Тронин А.В. Структурные и седиментационные особенности зоны сочленения Кулар-Нерского сланцевого пояса и Иньяли-Дебинского синклинория // Отечественная геология, 2004, № 5, с. 44—48.

Пространственные металлогенические таксоны / Под ред. А.И. Кривцова, Г.В. Ручкина. М., ЦНИГРИ, 2002, 82 с.

Радкевич Е.А. Региональная металлогения. М., Недра, 1987, 256 с.

Рафаилович М.С. Золото недр Казахстана: геология, металлогения, прогнозно-поисковые модели. Алматы, 2009, 304 с.

Савчук Ю.С., Мухин П.А. Эволюция рудных процессов в структуре аккреционной призмы Южного Тянь-Шаня (Кызылкумский геодинамический полигон) // Геотектоника, 1993, № 6, с. 63—81.

Савчук Ю.С., Волков А.В., Аристов В.В., Сидоров В.А., Лямин С.М. Строение и состав золото-рудных залежей месторождения Павлик // Руды и металлы, 2018, № 2, с. 77—85.

Сборщиков И.М. Концентрические складки: (морфология и условия образования на примере Верхоянья) // Бюл. МОИП. Отд. геол., 1972, № 2, с. 23—39.

Скрябин А.И. Реконструкция латеральной зональности золотого оруденения (Яно-Колымский пояс). Якутск, Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2010, 255 с.

Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М., Недра, 1982, 668 с.

Стружков С.Ф., Константинов М.М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М., Научный мир, 2005, 320 с.

Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. М., Маик «Наука / Интерпериодика», 2001, 571 с.

Томсон И.Н. Металлогения рудных районов. М., Недра, 1988, 215 с.

Томсон И.Н., Кочнева Н.Т., Кравцов В.С., Середин В.В., Селиверстов В.А., Хорошилов Л.В. Металлогения скрытых линейментов и концентрических структур. М., Недра, 1984, 272 с.

Третьяков Ф.Ф., Прокопьев А.В. Геодинамические критерии формирования тектонических структур района Неждановского золоторудного месторождения (Восточная Якутия) // Отечественная геология, 2014, № 5, с. 39—42.

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. Т. 1. М., ГЕОС, 2002, с. 6—241.

Чернышов И.В., Бортников Н.С., Чугаев А.В., Гамянин Г.Н., Бахарев А.Г. Источники металлов крупного орогенного Неждановского золоторудного месторождения (Якутия, Россия): результаты высокоточного изучения изотопов свинца (MC-ICP-MS) и стронция // Геология рудных месторождений, 2011, т. 53, № 5, с. 395—418.

Чехов А.Д. Глубинные разломы Иньяли-Дебинского синклинория и некоторые особенности размещения магматических образований и оруденения // Новые данные по геологии Северо-Востока СССР. Юбилейный сборник. Магадан, 1973, с. 34—48. (Тр. СВКНИИ ДВЦ АН СССР, вып. 55).

Чехов А.Д. Тектоническая эволюция северо-востока Азии. М., Научный мир, 2000, 204 с.

Читалин А.Ф. Сдвиговая тектоника и золотоносность Колымского региона // Золото и технологии, 2016, № 4 (34), с. 128—133.

Шаров Г.Н., Ян-жин-шин В.А., Балакшин Г.Д., Волкодав И.Г. Геолого-геофизическая интерпретация результатов дешифрирования телевизионных космических снимков Якутии // Тектоника восточной части Сибирской платформы. Якутск, Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1979, с. 17—23.

Шахтыров В.Г. Тенькинский глубинный разлом: тектоническая позиция, инфраструктура, рудоносность // Геологическое строение, магматизм и полезные ископаемые Северо-Восточной Азии. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 1997, с. 62—64.

Шахтыров В.Г. Сдвиговые структурные ансамбли и золотое оруденение Яно-Колымской складчатой системы: Автореф. дис... д.г.-м.н. Иркутск, 2010, 51 с.

Шило Н.А. Учение о россыпях. Владивосток, Дальнаука, 2002, 576 с.

Шпикерман В.И. Домеловая минерализация Северо-Востока Азии. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 1998, 333 с.

Щеглов А.Д. Основы металлогенического анализа. М., Недра, 1980, 431 с.

Яновский В.М. Рудоконтролирующие структуры терригенных миогеосинклиналей. М., Недра, 1990, с. 246.

De Paor D.G. Balanced section in thrust belts. Part 1: construction // AAPG Bull., 1988, v. 72, № 1, p. 73—90.

Goldfarb R.J., Taylor R.D., Collins G.S., Goryachev N.A., Orlandini O.F. Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia // *Gondwana Res.*, 2014, № 25, p. 48—102.

Goldfarb R.J., Groves D.I., Gardoll S. Orogenic gold and geologic time: a synthesis // *Ore Geol. Rev.* 2001, v. 18, p. 1—75.

Grauch V.J.S., Rodriguez B.D., Wooden J.L. Geophysical and isotopic constraints on crustal structure related to mineral trends in North-Central Nevada and implications for tectonic history // *Econ. Geol.*, 2003, v. 98, p. 269—286.

Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam M., Hagemann S.G., Robert F. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit type // *Ore Geol. Rev.*, 1998, № 13, p. 7—27.

Kerrick R., Goldfarb R.J., Groves D.I., Garwin S., Jia Y. The characteristics, origin and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces // *Sci. China*, 2000, v. 43, p. 1—68.

Layer P.W., Newberry R., Fujita K., Parfenov L.M., Trunilina V., Bakharev A.G. Tectonic setting of the plutonic belts of Yakutia, northeast Russia, based on $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology and trace element geochemistry // *Geology*, 2001, v. 29, p. 167—170.

Micklethwaite S. The significance of linear trends and clusters of fault-related mesothermal lode gold mineralization // *Econ. Geol.*, 2007, v. 102, p. 1157—1164.

Nokleberg W.J., Bundzen T.K., Eremin R.A., Ratkin V.V., Dawson K.M., Shpikerman V.I., Goryachev N.A., Bialobzhsky S.A., Frolov Y.E., Khanchuk A.I., Koch R.D., Monger J.W.H., Pozdeev A.I., Ronzenblum J.S., Rodionov S.M., Parfenov L.M., Scotese C.R., Sidorov A.A. Metallogenesis and tectonics of the Russian Far East, Alaska, and Canadian Cordilleras. U.S. Geological Survey Professional Paper 1697, 2005, 397 p.

Prokopyev A.V., Toro J., Hourigan J.K., Bakharev A.G., Miller E.L. 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.

Sillitoe R.H. Special Paper: Major gold deposits and belts of the North and South American Cordillera: distribution, tectonomagmatic settings, and metallogenic considerations // *Econ. Geol.*, 2008, v. 103, p. 663—687.

Teal L., Jackson M. Geologic overview of the Carlin trend gold deposits and descriptions of recent deep discoveries // *Carlin-type Gold Deposits Field Conference, Society of Economic Geologists Guidebook Series*, 1997, v. 28, p. 3—37.

Voroshin S.V., Tyukova E.E., Newberry R.J., Layer P.W. Orogenic gold and rare metal deposits of the Upper Kolyma district, northeastern Russia: Relation to igneous rocks, timing, and metal assemblages // *Ore Geol. Rev.*, 2014, v. 62, p. 1—24.

Yakubchuk A.S., Shatov V.V., Kirwin D., Edwards A., Tomurtogoo O., Badarch G., Buryak V.A. Gold and base metal metallogeny of the Central Asian Orogenic Supercollage // *Society of Economic Geologist, Inc. Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume*, 2005, p. 1035—1068.

*Рекомендована к печати 25 декабря 2018 г.
А.С. Борисенко*

*Поступила в редакцию 7 февраля 2018 г.,
после доработки — 13 ноября 2018 г.*