

---

Е. М. Некрасов, Л. А. Дорожкина  
Н. В. Дудкин, Т. Н. Косовец

---

**СИСТЕМАТИКА,  
СТРУКТУРА И ЗАПАСЫ  
ЗОЛОТОРУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**



Е.М. Некрасов, Л.А. Дорожкина  
Н.В. Дудкин, Т.Н. Косовец

**СИСТЕМАТИКА,  
СТРУКТУРА И ЗАПАСЫ  
ЗОЛОТОРУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

«Астрея-центр»  
Москва, 2019

УДК 553.411  
ББК 26.341  
Н 48

Н 48 Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А., Дудкин Н.В., Косовец Т.Н. Систематика, структура и запасы золоторудных месторождений. – М.: Астрейя-центр, 2019.

ISBN 978-5-903311-46-0

Настоящий сборник издан с целью ускорения и проведения малозатратных поисков и разведки золоторудных месторождений. Статьи сборника подобраны по трем тематическим направлениям: 1 – систематика и выделение группы наиболее экономически важных геолого-промышленных типов месторождений с крупнейшими представителями их, характеризующимися запасами золота, превышающими 300 т; 2 – специфические черты и особенности месторождений выделенных типов, обеспечивающие локализацию крупнейших запасов руд и золота; 3 – примеры крупнейших месторождений и их особенности, обуславливающие локализацию крупномасштабных скоплений руд и золота.

*Ключевые слова:* месторождения, рудоконтролирующие и рудовмещающие нарушения, запасы, руды, золото.

ISBN 978-5-903311-46-0

© Некрасов Е.М., 2019  
© Дорожкина Л.А., 2019  
© Дудкин Н.В., 2019  
© Косовец Т.Н., 2019



*Е.М. Некрасов*



*Л.А. Дорожкина*



*Н.В. Дудкин*



*Т.Н. Косовец*

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Краткое предисловие .....	7
Раздел 1. Группировка месторождений и распределение по типам их мировых запасов и добычи золота .....	9
1. <i>Е.М. Некрасов.</i> Еще раз о значении учения В.М. Крейтера о геолого-промышленных типах рудных месторождений. 2006. ....	11
2. <i>Е.М. Некрасов.</i> Таблица. Распределение мировых запасов и добычи золота по важнейшим типам месторождений золотых и золотосодержащих руд в 2015 году. 2018. ....	17
3. <i>Е.М. Некрасов.</i> Динамика и структура мировых запасов и добычи золота. 2001. ....	19
4. <i>Е.М. Некрасов, Л.А. Дорожжина, Н.В. Дудкин.</i> Таблица. Размещение крупнейших золоторудных месторождений в геотектонических постройках различного типа и возраста. 2015. ....	29
5. <i>Е.М. Некрасов, Н.В. Дудкин.</i> Запасы и добыча золота в начале XXI в. из месторождений различных геолого-промышленных типов. 2013. ....	32
6. <i>Е.М. Некрасов.</i> Поиск и разведка золоторудных месторождений на основе структурных предпосылок. 2019. ....	49
Раздел 2. Особенности геологии и структуры месторождений важнейших геолого-промышленных типов .....	51
1. <i>Е.М. Некрасов.</i> Роль Ф.И. Вольфсона в учении о рудоконтролирующих разломах. 2008. ....	53
2. <i>Е.М. Некрасов.</i> Рудоконтролирующие разломы и золотое оруденение. 2009. ....	63
3. <i>Е.М. Некрасов.</i> Сходство и коренные различия крупных и рядовых трещинных месторождений золота. 1999. ....	74
4. <i>Е.М. Некрасов.</i> Вклад Н.И. Бородаевского в изучение трещинной структуры золоторудных месторождений. 2007. ....	89
5. <i>Е.М. Некрасов.</i> Главные геолого-структурные типы и особенности крупных эндогенных месторождений золота. 1996. ....	97
6. <i>Е.М. Некрасов.</i> Крупнейшие и крупные эндогенные золоторудные месторождения, локализующиеся в связи с рудоконтролирующими разломами высоких порядков. 2010. ....	111
7. <i>Е.М. Некрасов, Н.В. Дудкин.</i> Главные особенности геологии, размещения и структуры золоторудных месторождений-гигантов. 2012. ....	122

8.	<i>Е.М. Некрасов.</i> Структуры крупнейших зарубежных месторождений золота в архейских зеленосланцевых поясах. 1989 .....	140
9.	<i>Е.М. Некрасов, Л.А. Дорожкина, Н.В. Дудкин.</i> Месторождения Мурунтау и Наталкинское. 2015. ....	155
10.	<i>Е.М. Некрасов.</i> Сравнительная характеристика структурных условий локализации свинцово-цинкового оруденения в деформированных пластичных толщах. 1967 .....	167

Раздел 3. Некоторые черты и особенности размещения золоторудных месторождений, важные для прогнозирования и разведки новых рудных тел .....	173
---	-----

1.	<i>Е.М. Некрасов.</i> Вертикальная структурная зональность месторождений золота с рудными телами жильного и прожилкового типа. 1976 .....	175
2.	<i>Е.М. Некрасов.</i> О «шаге размещения» и прогнозировании золоторудных тел жильного типа. 2018 .....	190
3.	<i>Е.М. Некрасов, Л.А. Дорожкина.</i> О рудоподводящих каналах близповерхностных месторождений золотосеребряных руд. 2017 .....	206
4.	<i>Е.М. Некрасов.</i> Возможное проявление слепого оруденения на нижних уровнях месторождения Балей и механизм формирования богатых руд на близповерхностных месторождениях золота и серебра. 2017. ....	222
5.	<i>Е.М. Некрасов, Т.Н. Косовец.</i> Возможный рост ресурсов золота на трех отечественных месторождениях – Бамском, Многовершинном, Ольча. 2017. ....	236

## КРАТКОЕ ПРЕДИСЛОВИЕ

Основной автор сборника, Е.М. Некрасов, выражает глубокую благодарность А.Е. Некрасову и Г.Е. Некрасовой за очень большую помощь в составлении сборника, без которой издание его было бы невозможным.

В настоящем сборнике собраны статьи автора и статьи, написанные совместно с помощниками. Статьи сведены в три группы по тематическому содержанию:

1 – содержит сведения, касающиеся группировки месторождений золота, основанной на принципах, изложенных в своё время В.М. Крейтером, а также приводится распределение мировых запасов и годовой добычи золота по выделенным геолого-промышленным типам месторождений. Это позволяет нацеливать поиски и геологоразведочные работы на обнаружение наиболее осваиваемых в мире, экономически выгодных типов месторождений;

2 – в следующей группе освещаются основные особенности геологии и структуры, присущие месторождениям, относящимся к экономически важным геолого-промышленным типам, что необходимо учитывать в процессе проведения ГРП. В статьях этой группы излагаются представления и возможности прогнозирования новых рудных тел на флангах разведанных уровней и горизонтов путем использования таких закономерностей, как шаг размещения рудных тел, определения глубины формирования рудных тел по элементам вертикальной структурной зональности, возможное обнаружение корней близповерхностных руд не только на их обычном верхнем рудоносном уровне, но и проявление руд в виде золото-медных и золототеллуридных образований на втором – нижнем рудоносном уровне, а также другие перспективные особенности геологии и структуры. В частности, выдвинуто представление о важнейшей рудоконтролирующей роли двух структурных связей: «парных разрывов» и развитие оруденения в связке «боковое рудоносное нарушение, отделяющееся от рудоконтролирующего разлома или локального разрыва»;

3 – в последней группе статей выделяются наиболее важные в промышленном отношении типы месторождений, характеризующиеся проявлением крупнейших запасов и, в том числе, месторождений-гигантов с запасами 1000 т золота и более, а также прочих месторождений с запасами 300 т и более.

В результате такой группировки материала оказывается возможным выявление предпосылок и признаков, свидетельствующих о том, что принятый для разведки объект относится к разряду крупнейших месторождений. Соответственно, это позволяет уже в процессе разведки учитывать возможный масштаб запасов и создавать необходимую инфраструктуру, подбирать технологию добычи и переработки руд и прочие элементы экономики.

Автор надеется, что изложенные материалы помогут геологам-поисковикам и разведчикам более рационально вести поиски и разведку золоторудных месторождений.

*Некрасов Е.М.*

## РАЗДЕЛ 1

# **ГРУППИРОВКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ТИПАМ ИХ МИРОВЫХ ЗАПАСОВ И ДОБЫЧИ ЗОЛОТА**

## ЕЩЕ РАЗ О ЗНАЧЕНИИ УЧЕНИЯ В.М. КРЕЙТЕРА О ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПАХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*На примере месторождений золота показано значение учения В.М. Крейтера  
о геолого-промышленных типах.*

*(Известия вузов. Геология и разведка. 2006. № 3. С. 32–35).*

Недавно исполнилось 65 лет со времени первого издания (и 45 лет дополненного переиздания) основополагающей книги В.М. Крейтера «Поиски и разведки полезных ископаемых»<sup>1</sup>. Проводят поиски, разведку, работают под землей на рудниках геологи, слушавшие замечательные лекции этого исследователя, читавшиеся в МГРИ (ныне – РГГРУ), в Институте цветных металлов и золота, а также в Университете дружбы народов (РУДН). За прошедшее время многие понятия и закономерности, выдвинутые В.М. Крейтером и изложенные этим исследователем-геологом в виде основ учения о геолого-промышленных типах рудных месторождений, были творчески пополнены и расширены Ф.И. Вольфсоном, И.С. Рожковым, Д.В. Рундквистом, В.И. Смирновым и др. Наиболее существенное развитие они получили в геологии золоторудных месторождений.

В.М. Крейтер одним из первых ученых-геологов понял, что типы месторождений различных металлов имеют неодинаковое экономическое значение для мирового хозяйства. Действительно, даже в бытность этого геолога, в первой половине и середине XX в., например, основную часть золота добывали из месторождений золотоносных конгломератов, а также россыпей. Уникальные месторождения золотоносных конгломератов до сих пор разрабатываются в Витватерсранде (ЮАР), менее существенные – в районах Тарквы (Гана) и Жакобины (Бразилия), а мелкие установлены в Налагайне (блок Пилбара в Западной Австралии), в Зимбабве (месторождение Эльдорадо) и др. По уточненным статистическим данным доля золота, добытого из конгломератов в 1975–1980 гг., все еще превышала 55 % по отношению к мировой добыче. Россыпное золото продолжает добываться в восточных районах России, Китае, Бразилии, Колумбии и многих других странах. В 1975–1980 гг. доля его приближалась к 13%. Извлечение попутного золота, главным образом из руд меднопорфировых месторождений, превышало в этот период 6 %. На все остальные многочисленные эндогенные и экзогенные месторождения золота, принадлежащие к разнообразным типам, приходилось < 1/5 части добываемого в мире металла [3, 4].

Учтя неодинаковое промышленное значение месторождений, относящихся к разным типам, В.М. Крейтер выдвинул понятие экономически важных и второстепенных геолого-промышленных типов (ГПТ). Основной характеристикой любого ГПТ, по мнению этого

<sup>1</sup> Крейтер В.М. «Поиски и разведки полезных ископаемых». М.-Л. Госгеоллиздат, 1940, 791 с. и «Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых». М. Госгеолтехиздат, 1960, 332 с.

исследователя, является доля добычи полезного ископаемого по отношению к мировой. Это позволило наметить группу важных в промышленном отношении и группу второстепенных ГПТ месторождений. Последние не играют решающей роли в снабжении мирового хозяйства. Главным принципом для выделения типов принята преимущественно геологическая среда и обстановка размещения оруденения. Как писал В.М. Крейтер [2], такой принцип отвечает вопросам – «в чем локализовано оруденение» и «где размещается». Этот принцип позволяет выдвигать для поисков металлогенические зоны и рудные районы развития пород, благоприятных для оруденения, а для целей разведки *выбирать* из открытых, обнаруженных проявлений наиболее перспективные, принадлежащие к группе месторождений важных ГПТ.

При таком подходе доля добытого полезного ископаемого, в частности, золота, должна была превышать для каждого из важных типов месторождений не менее чем в два раза совокупную добычу из любого второстепенного типа. Действительно, в настоящее время добыча золота из наименее значимого важного ГПТ месторождений – россыпей золота (180 т в 2003 г.), почти вдвое превышает добычу из лидирующего второстепенного типа (110 т). Им является эндогенный тип месторождений, приуроченных к тектонически деформированным эндо- и экзоконтактовым зонам интрузивных массивов (таблица). В России типоморфным примером таких месторождений может служить Дарасунское в Восточном Забайкалье.

Выявилась другая интересная и промышленно значимая черта месторождений, относящихся к важным ГПТ. Оказалось, что только для экономически важных ГПТ характерно проявление месторождений золота с крупнейшими (по мировым стандартам) запасами металла, превышающими 300 т. В свою очередь, мировое хозяйство имеет возможность планировать на будущее количество сырья, которое может поступать из таких месторождений. Практически все эксплуатирующиеся крупнейшие месторождения отличаются высокой рентабельностью и обеспечивают длительную и устойчивую работу рудников, регулярно поставляющих мировому хозяйству несколько десятков тонн металла в год.

В настоящее время к промышленно-важной группе ГПТ месторождений золота относятся шесть типов, в том числе четыре эндогенных (таблица). Доля добываемого попутного золота в настоящее время возросла до 14,6 % мировой добычи и превышает его количество, извлекаемое из ГПТ месторождений близповерхностных руд. Аналогичная ситуация и с запасами металла. Очевидно, мировой баланс запасов золота должен учитывать попутный благородный металл. Около 95 % его связано с месторождениями меднопорфировых руд (Грасберг, Индонезия; Бингхем, США; Кальмакыр, Узбекистан; Кейдиа, Австралия; Ок-Теди, Папуа-Новая Гвинея и др.). За несколько последних лет разведан ряд новых золотосодержащих месторождений меднопорфировых руд с запасами золота, превышающими 1000 т: Ую-Толгой в Южной Монголии с ресурсным потенциалом золота (запасы+ресурсы) более 1300 т, Пибл на Аляске, США > 1020 т, а также группа месторождений Кейдиа – 750 т, Серро-Касале в Чили – более 715 т и др.

В группе важных ГПТ месторождений наметилась тенденция сокращения запасов и ежегодного уровня добычи благородного металла из месторождений золотосодержащих конгломератов. К 2005 г. добыча из месторождений этого типа снизилась до 352–355 т. Высокий мировой уровень добычи золота, сохраняющийся с 1998 г. в пределах 2500–2560 т в год, обеспечивался золотом, поступавшим из эндогенных месторождений, в основном первых трех ГПТ (таблица). Главными продуцентами в этих типах выступали малозатратные месторождения с крупнейшими запасами золота (Янакоча в Перу, Лихир в Папуа-Новая

**Изменение запасов и годовой добычи золота в 1975–2003 гг. для различных ГПТ золоторудных, а также для золотосодержащих месторождений (т)**

Геолого-промышленные типы месторождений золота	Общие запасы		Добыча	
	1975 г.	2003 г.	1980 г.	2003 г.
<b>Группа месторождений важных геолого-промышленных типов</b>				
<i>Эндогенные месторождения</i>				
Близповерхностных золотосеребряных и золото-теллуридных руд в породах вулканогенно-тектонических построек	2300 (5,1%)	13500 (14,1)	90 (7,1%)	350 (13,8%)
Джаспероидных руд пластового и секущего типов в породах терригенно-карбонатных (и карбонатных) формаций	750 (1,7%)	3800 (4%)	20 (1,6%)	270 (10,6%)
В углеродистых породах песчанико-глинисто-сланцевых формаций	3600 (8,0%)	11500 (12%)	45 (3,6%)	260 (10,2%)
В регионально-метаморфизованных терригенно-вулканогенных породах архейских зелено-сланцевых поясов	2700 (6,0%)	5000 (5,2%)	110 (8,7%)	210 (8,3%)
<i>Экзогенные месторождения</i>				
Россыпи золота	3000 (6,6%)	2800 (2,9%)	160 (12,7%)	180 (7,1%)
<i>Метаморфогенно-метаморфические месторождения</i>				
Золотоносных конгломератов	25000 (55,6%)	31700 (33%)	675 (53,6%)	390 (15,4%)
Всего по группе	37350 (83%)	68300 (71%)	1100 (87,3%)	1670 (65,9%)
<i>Месторождения меднопорфировых (и других) золотосодержащих руд</i>	3800 (8,4%)	16700 (17,4%)	80 (6,3%)	370 (14,6%)
<b>Группа месторождений второстепенных геолого-промышленных типов</b>				
<i>Эндогенные месторождения</i>				
В тектонически деформированных породах эндо-и экзоконтактов интрузивных (или гранито-гнейсовых) массивов	900 (2,0%)	2200 (2,3%)	15 (1,2%)	110 (4,3%)
В терригенно-вулканогенных породах протерозойских и фанерозойских складчатых систем	800 (1,7%)	2400 (2,5%)	10 (0,8%)	90 (3,55%)
В хрупких геологических образованиях (малых интрузивных штоках, дайках, слоях кварцитов)	850 (1,9%)	1600 (1,7%)	10 (0,8%)	75 (2,95%)
Золото-скарновые месторождения	400 (0,9%)	900 (0,9%)	15 (1,2%)	40 (1,6%)
В глубокометаморфизованных кристаллических породах	350 (0,8%)	600 (0,6%)	5 (0,4%)	30 (1,2%)
Седловидных золоторудных тел в шарнирах и кляях складок песчанико-глинисто-сланцевых пород	300 (0,7%)	800 (0,8%)	5 (0,4%)	20 (0,8%)
<i>Экзогенные месторождения</i>				
Золотоносных кор выветривания	–	1800 (1,9%)	5 (0,4%)	80 (3,1%)
Золотоносных зон окисленных сульфидсодержащих руд	250 (0,6%)	700 (0,7%)	15 (1,2%)	60 (2,4%)
Всего по группе	3850 (8,65%)	11000 (11,4%)	80 (6,3%)	505 (19,9%)
Итого	45000 (100%)	96000 (100%)	1260 (100%)	2535 (100%)

Примечание. По данным статистических сборников ВГФ, ВНИИзарубежгеология, ИАЦ «Минерал» и [4], в скобках – доли от мировых показателей.

Гвинея, Голдстрайк, Карлин в США, Мурунтау в Узбекистане, Телфер в Австралии и др.). Только на крупных и крупнейших рудниках, отработывавших месторождения четырех указанных промышленно-важных типов, в 2004 г. получено до 37 % мировой добычи золота.

В.М. Крейтер [2] наметил главные геологические особенности, позволяющие относить месторождения к различным промышленно-важным ГПТ. В наше время они получили дальнейшее развитие. Так установлено, что месторождения близповерхностных золотосеребряных и золототеллуридных руд проявлены преимущественно в вулканитах основного и среднего составов, нередко в связи с жерловыми (в том числе эксплозивными брекчиевыми) трубками и телами. Структурно многие месторождения приурочены к веерообразно разветвляющимся (в плане и разрезе) трещинным пучкам и зонам. Последние нередко выполняют коленообразно преломляющиеся разрывы, наложенные на структуру вулканотектонических построек. В выделенном и широко представленном подтипе месторождений золото-серебро-порфировых руд последними образованы мощные штокообразные тела. Руды типа – сложного состава, с пространственно совмещенными различными, в том числе продуктивными минеральными ассоциациями. Золото низкопробное. Наряду с низкотемпературным кварцем в рудах проявлены халцедон, разнообразные карбонаты, в том числе марганца, часто адуляр. Оруденение отличается коротким вертикальным размахом – обычно даже для крупных месторождений (500–800 м). Лидером среди близповерхностных месторождений является Янакоча (Перу) с остаточными запасами золота более 2000 т [6] и накопленной добычей 564 т. Кроме упомянутого известны еще девять месторождений с запасами и накопленной добычей, в сумме превышающими 300 т золота: Лихир (1270 т), Паскуа-Лама-Веладеро (820 т), Пуэбло-Вьехо (720 т) и др.

Месторождения джаспероидных руд пластового и секущего типов преимущественно приурочены к протяженным пластам углеродсодержащих, глинисто-карбонатных (в том числе сланцевых) и карбонатных пород, осложнённых согласными и секущими рудовмещающими разрывами. Значительно реже месторождения локализуются в секущих зонах дробления и в разломах (например, Гетчелл–Теркуаз-Ридж, США). Магматизм в пределах рудоносных участков редуцирован и проявлен чаще дорудными штоками и порфировыми дайками монцитов и глинистосреднекислых пород. Рудные тела оконтуриваются только по данным опробования. Руды метасоматического, обычно скрытокристаллического облика, преимущественно заключающие невидимое тонкое и дисперсное (доли микрона) низкопробное золото. Характерны также прожилки и вкрапленность низкотемпературных постзолотого пирита и сульфидов сурьмы, мышьяка, ртути. Лидером ГПТ остается Голдстрайк (США). По состоянию на конец 2004 г. остаточные запасы золота составляли 554 т [6], а добытый за 1987–2004 гг. металл – 658 т. Кроме того, крупными и крупнейшими запасами в США, в штате Невада, в свое время обладали Карлин и Кортце, Мейкл, Голд-Кворри, Пайплайн, Джеррит-Каньон, Твин-Крикс. В Китае к этому ГПТ принадлежит ряд средних по масштабу оруденения месторождений в провинциях Сычуань (Эрцзэ, Дунбайджай и др.), Гуйчжоу (Цзиньфын с суммой запасов и ресурсов золота 109 т, с меньшими запасами Баньци, Яньшан и др.).

Месторождения в углеродистых породах песчанико-глинистосланцевых формаций локализованы в куполовидных и умеренно «сжатых» складках, пересеченных зонами рассланцевания, в участках перегибов и пересечений последних поперечными разрывами. Оруденение локализуется в рудоносных разломах, унаследующих зоны «древних» нарушений фундамента, подстилающего песчанико-глинистосланцевые толщи. Интрузивные образования и вулканиты, как правило, проявлены незначительно или даже слабо. Характерно развитие лен-

тообразных тел и залежей (в том числе мощных) вкрапленных и вкрапленно-прожилковых (часто пирит-арсенопиритовых) бедных руд, средний (до 1000–1500 м) вертикальный размах оруденения. Главным месторождением этого ГПТ много лет остается Мурунтау в Узбекистане с суммой остаточных запасов золота 1830 т [5], добытым с 1967 г. 1550 т. К этому типу принадлежат также другие крупнейшие месторождения: Ашанти в Гане (1225 т), Сухой Лог (более 1500 т), а также Наталкинское, Нежданинское и Кючус в России, Телфер в Австралии (800 т), Бакырчик в Казахстане, Кумтор в Киргизии и др.

Следующий промышленно-важный ГПТ месторождений, локализованных в архейских зеленосланцевых поясах, сравнительно истощен, так как многие представители его отрабатывались с начала XX в. Считаются полностью отработанными крупнейшие месторождения: Колар в Индии, Холлинджер, Мак-Интайр, Доум и Керр-Эдисон в Канаде, а также ряд среднего ранга в Западной Австралии. Преимущественно месторождения приурочиваются к секущим зонам рассланцевания и дробления. Крупнейшие представители этого типа связаны с протяженными (несколько километров) и сравнительно широкими системами трещинных нарушений. Они объединяют сотни сближенных, кулисообразно расположенных, непрерывно сменяющихся разрывов и приуроченных к ним рудных тел (Холлинджер, Мак-Интайр, Доум в Канаде, Калгурли в Австралии). Рудовмещающие вулканиты – основного, реже средне-основного, а иногда и коматиитового составов с подчиненными слоями терригенных пород (обычно кварцитов). Преобладают залежи прожилковых и вкрапленно-прожилковых руд, нередко с мелкими волнообразными перегибами прожилков, обусловленными приразломными складками волочения. Секущие жилы сочетаются с зонами прожилков, которые часто сложены высокосортными рудами. Руды простого кварцевого и турмалин-кварцевого составов, чаще малосульфидные, со сравнительно крупным (до 5 мм) высокопробным золотом, развитым в кварце. Оруденение отличается максимально известным, очень большим для эндогенных месторождений вертикальным размахом, достигающим 3,5 км (Колар в Индии, Морроу-Велью в Бразилии). На ныне действующем крупнейшем месторождении в архейских зеленосланцевых поясах – Калгурли (Австралия) к концу 2004 г. (за все время эксплуатации) получено 1560 т золота, но его остаточные запасы составляют лишь 180 т. На недавно разведанном месторождении Буланхулу (Танзания) они (с добытым металлом) достигают 360 т.

Кратко охарактеризованные типы эндогенных месторождений золота, а также золотосодержащие месторождения меднопорфировых руд заняли по уровню добычи место золотосодержащих конгломератов. Причин этому много, но главная заключается в высоких издержках на добычу руды из конгломератов. Главнейший поставщик золота рассматриваемого типа – месторождения золотосодержащих конгломератов Витватерсранда (ЮАР), разрабатываются уже более ста лет. Эксплуатация их ведется на глубинах 1–3,5 км, в тяжелых горно-технических условиях, существенно увеличивающих себестоимость извлекаемого золота. Сейчас она самая высокая среди золотых рудников мира – 12,7 долл/г в 2004 г., при среднегодовой цене на золото 13,17 долл/г [1] Лишь необыкновенно высокая мировая цена на золото (более 14,2 долл/г в 2005 г.) позволяет рентабельно эксплуатировать многие рудники Витватерсранда. Несмотря на непрерывное снижение добычи на рудниках Витватерсранда (342 т в 2004 г. и менее 330 т в 2005 г.), а также из россыпей, сохранение высокого производства золота в мире (на уровне 2500 т) компенсируется ростом добычи золота на золотосодержащих меднопорфировых месторождениях и на крупных, наиболее рентабельных рудниках, которые, как правило, отрабатывают руды промышленно-важных ГПТ месторождений золота.

## Выводы

1. Учение В.М. Крейтера о ГПТ рудных месторождений поставило их поиски и разведку на промышленную основу. В результате разработок этого ученого-геолога начали планироваться и проводиться планомерные поиски рудных месторождений преимущественно приоритетных промышленно-важных типов. Разведка месторождений, представленных такими типами, целенаправленно велась на обнаружение крупных скоплений руд, для которых прогнозировался вертикальный размах оруденения, морфология и строение рудных тел, а отчасти и их состав.

2. В отношении золота главным источником для пополнения его запасов в последнее время были признаны месторождения золотосодержащих меднопорфировых руд. Они выступили в качестве более приоритетного типа сравнительно с представителями важных ГПТ собственно золоторудных месторождений.

3. Из собственно золоторудных месторождений не потеряли важного (хотя и не главного) промышленного значения рудные объекты двух других ГПТ: месторождения близ-поверхностных золотосеребряных и золототеллуридных руд в породах вулcano-тектонических построек; месторождения в углеродистых породах песчанико-глинистосланцевых формаций.

## Литература

1. «Золото 2005». Под ред. Р. Кларwijk, М.И Леднов и др. М.: Изд-во «НБЛЗолото», 2005. 120 с.
2. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М.: Госгеотехиздат, 1960. 332 с.
3. Некрасов Е.М. Динамика и структура мировых запасов и добычи золота // Драгоценные металлы, драгоценные камни. 2001. № 12. С. 44–55.
4. Некрасов Е.М. Как бедные запасы могут стать богатыми // Металлы Евразии. 2005. № 3. С. 56–58.
5. Gold mining in Central Asia//Mining Journal. 2001. V. 337. N 8662. P. 410–411.
6. World Gold. 2005. V. 8. N 3. P. 23, 25.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИРОВЫХ ЗАПАСОВ И ДОБЫЧИ ЗОЛОТА ПО ВАЖНЕЙШИМ ТИПАМ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТЫХ И ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД В 2015 г.

(Руды и металлы. 2018. № 3. С. 55–70. Из статьи: Е.М. Некрасов «Поиск слепых золоторудных тел жильного типа»).

Таблица

Геолого-промышленные типы (ГПТ) месторождений золота и золотосодержащих руд	Добыча, т		Максимальная глубина распространения руд от поверхности, км	Примеры месторождений-гигантов и некоторых крупнейших месторождений с суммой остаточных запасов + ресурсов золота около и более 1000 и 300 т, (страна), остаточные запасы + ресурсы
	2011 г.	2016 г.		
<b>Группа экономически важных ГПТ собственно золоторудных месторождений эндогенного типа</b>				
Близкоповерхностных золотосеребряных и золототеллуридных руд в породах вулкано-тектонических построек	420	470	1,0 – 1,2	Янакоча (Перу) 2000; Лихир (Папуа-Новая Гвинея), 1500; Паскуа-Лама (Чили), 800; Пеньяскито (Мексика), 700; Фрутадель-Норте (Эквадор), 320; Купол (Россия), около 250; Двойное (Россия) около 250
В углеродсодержащих песчанико-глинистосланцевых и песчанико-сланцево-филлитовых комплексах пород	320	380	2,0 – 2,3	Мурунтау (Узбекистан), 1500-2000; Наталкинское (Россия), 1850; Сухой Лог (Россия), 1900; Ашанти (Гана), 900; Телфер (Австралия), 700; Нежданинское (Россия), 650; Рио-Паракуту (Бразилия), 750; Кисладаг (Турция), 400; Дегдекан (Россия), 400.
В регионально метаморфизованных терригенно-вулканогенных комплексах пород архейских зеленосланцевых поясов	335	370	3,3 – 3,5	Калгурли (Австралия), 200-300; Боддингтон (Австралия), 500-700; Детур-Лейк (Канада), 550; Киттила (Финляндия), 480; Кибали (ДРК), 450.
Джаспероидных руд пластового и секущего типов в терригенно-карбонатных комплексах пород	225	250	1,2 – 2,4	Голдстрайк (США), 500; Кортес (США), 650; Ханкрофт (США), 450; Гетчелл-Теркуаз-Ридж (США), 300; Ливенгуд (США), 320; Олимпиадинское (Россия), 350.
В породах хрупких геологических образований – малых интрузивах, поясах и сериях даек	100	150	2,2 – 2,3	Донлин-Крик (США), 1210; Линлун-Фушань (Китай), 180; Васильковское (Казахстан), 450; Сукари (Египет), 400; Чармитан (Узбекистан), около 280.
<b>Итого из собственно золоторудных месторождений эндогенного класса</b>	<b>1400</b>	<b>1620</b>		

Геолого-промышленные типы (ГПТ) месторождений золота и золотосодержащих руд	Добыча, т		Максимальная глубина распространения руд от поверхности, км	Примеры месторождений-гигантов и некоторых крупнейших месторождений с суммой остаточных запасов + ресурсов золота около и более 1000 и 300 т, (страна), остаточные запасы + ресурсы
	2011 г.	2016 г.		
Пластовых метаморфогенных месторождений в слоях золотосодержащих конгломератов	230 <sup>*)</sup>	160		Месторождения Витватерсранда (ЮАР), 15000; месторождения Тарквы (Гана): Тарква, Даманг, Идуаприем, 1000; Жакобина (Бразилия), около 200.
Месторождений, золотосодержащих меднопорфировых, медноколчеданных и медноникелевых руд	410 <sup>*)</sup>	440		Пибл (США, Аляска), около 4000; Грасберг (Индонезия), 3500; Олимпик-Дем (Австралия), 3500; Ую-Толгой (Монголия), 1700; Реко-Дик (Пакистан), 1700.
Россыпей золота	170 <sup>*)</sup>	130		Китай, 1500; Россия, 1200; Бразилия, около 1800; Венесуэла, Перу, Чили 800-1000; ЮВ Азия, 1200; прочие – около 1000
Группа месторождений прочих экономически второстепенных ГПТов	570 <sup>*)</sup>	870		
<b>Всего мировая добыча</b>	<b>2780</b>	<b>3220</b>		

\*) Уточненные данные

## ДИНАМИКА И СТРУКТУРА МИРОВЫХ ЗАПАСОВ И ДОБЫЧИ ЗОЛОТА

*(Драгоценные металлы, драгоценные камни. 2001. № 12 (96). С. 44–55).*

### Краткая аннотация

*Впервые детально рассматривается динамика мировых запасов и добычи золота за последнее тридцатилетие, в том числе, для месторождений золота различных геолого-промышленных типов. Выделяется группа месторождений важных геолого-промышленных типов, отличающихся от объектов второстепенных геолого-промышленных типов крупными долями мировых запасов и добычи золота, проявлением в каждом таком типе золоторудных месторождений крупнейших месторождений и месторождений-гигантов, а также значительными годовыми приростами этих параметров.*

*Впервые излагается научно обоснованная структура мировой минерально-сырьевой базы золота и золотодобывающей базы. Учитывается мировой опыт наращивания запасов для отдельных наиболее перспективных типов месторождений и, исходя из него, рекомендуются направления геолого-разведочных работ для России на следующие десятилетия.*

### Постановка вопроса

Как хорошо известно, анализ рассматриваемой проблемы позволяет выявить ряд особенностей и закономерностей, присущих не только в целом мировой, но и отечественной золотопромышленности. При этом мировой опыт, накопленный в течение полутора столетий проведения поисков, разведки и промышленной отработки месторождений, позволяет наиболее надежно и обоснованно корректировать те или иные черты, характерные для отечественной отрасли.

### **Структура и динамика мировых запасов и добычи золота позволяет решить четыре наиболее важные, называемые ниже особенности**

1. Среди всего многообразия геолого-промышленных типов (в дальнейшем – ГПТ) месторождений золота оказывается возможным выделить характеризующиеся максимальными долями мировых запасов и, обычно, добычи. Такие типы, взятые в отдельности, в отличие от других «рядовых» (с рядовыми запасами), характеризуются, как правило, наличием нескольких представителей (месторождений) с крупнейшими запасами металла (свыше 300 т). Как правило, каждое из подобных месторождений обеспечивает для разрабатываемого рудника ежегодный уровень добычи, обычно превышающий 15–18 т золота.

Учитывая надежную обеспеченность запасами золота месторождений таких ГПТ и высокую долю их в мировой добыче, выделяем их среди всего многообразия типов как промышленно важные. Понятно, что мировое сообщество рассматривает месторождения таких промышленно важных типов как приоритетные для поисков и дальнейшего освоения.

2. Среди приоритетных, важных в промышленном отношении ГПТ месторождений удастся зафиксировать соотношение долей мировых запасов и добычи и таким образом выявить структуру минерально-сырьевой и «добычной» базы отрасли. Основываясь на подобном мировом опыте, планирующие организации получают инструмент, позволяющий корректировать, в соответствии с мировыми показателями, национальные планы (а следовательно и финансирование) направлений поисковых работ, разведку месторождений и строительство горных и горно-металлургических предприятий.

3. Высокие темпы прироста запасов, присущие тому или иному ГПТ месторождений, в первую очередь указывают на сравнительно крупные ресурсы, выступающие резервом для пополнения запасов данного типа, а во-вторых – на наличие фонда достаточно легко открываемых месторождений. Наряду с этим, рост запасов косвенно свидетельствует об относительной простоте геологической структуры месторождений данного ГПТ и морфологии рудных тел, что позволяет наращивать запасы при условии сравнительно умеренных инвестиций в разведываемые объекты.

4. Сопоставление между собой долей мировых добычи и запасов для каждого (и, в том числе, промышленно-важных) ГПТ месторождений позволяет выявлять среди них прогрессирующие типы, интенсивно пополняющиеся запасами, приросты которых превышают погашение. Понятно, что в этом случае соотношение доли добычи к доле запасов оказывается равным менее единицы. Наоборот, превышение погашения над приростом, выявленное для того или иного типа, свидетельствует об истощении запасов, о том, что тип, образно говоря, является «отмирающим». Для таких типов соотношение долей добычи к долям запасов превышает единицу. Чем этот показатель больше единицы, тем неблагоприятнее положение с запасами данного типа.

При подходе с изложенных позиций к анализу структуры и динамики мировых запасов и добычи возникают определенные трудности. Они обусловлены, главным образом, неполнотой информации по рассматриваемому предмету.

В частности, одним из затруднений выступает распределение мировых запасов и добычи по типам месторождений в сравнительно отдаленной ретроспективе. Действительно, систематическое прослеживание тех и других начало проводиться только с 80-х годов XX века. Поэтому крайней информативной, наиболее отдаленной и как бы «реперной» точкой анализа может быть достаточно надежно выбран, пожалуй, только 1975 год. Для него чуть ли не впервые была документально зафиксирована мировая добыча и мировые запасы золота в целом, а также доли их, приходящиеся на ряд основных типов месторождений. Такими достаточно надежно статистически охарактеризованными типами выступают месторождения золотоносных конгломератов (Витватерсранд, Тарква и Жакобина), разведанные к 1975 г., и эпитермальные объекты золотосеребряных и золототеллуридных руд (например, Балей-Тасеевское в России, Багио на Филиппинах, Пуэбло-Вьехо в Доминиканской Республике, Крипл-Крик и Сильвертон-Теллурид в США и др.).

Среди прочих, достаточно охарактеризованных ГПТ, можно назвать месторождения джаспероидных руд тонкодисперсного золота в породах терригенно-карбонатных и карбонатных формаций (нередко и сейчас еще называемых «карлинским» типом по наименова-

нию типоморфного месторождения Карлин в США, которое также было разведано к началу 70-х годов). Наконец, к интересующему нас времени были установлены запасы и известна добыча на месторождениях, принадлежащих к двум другим ГПТ объектов. Это, во-первых, месторождения, заключенные в сравнительно хрупких геологических образованиях. В частности, к ним могут быть отнесены такие крупнейшие и крупные месторождения как Березовское (в системе даек) на Урале, Керкленд-Лейк и Сигма-Ламак (в телах малых интрузивов) в Канаде и т.д. Во-вторых, это многочисленные месторождения, локализованные в регионально рассланцеванных и метаморфизованных вулканогенных (иногда, наряду с ними, и в терригенных) породах архейских зеленосланцевых поясов в щитах Канады (крупнейшие и крупные месторождения Холлинджер, Мак-Интайр, Доум и др.), Австралии (Калгурли, Гваллиа), Бразилии (Морроу-Велью), Индостана (Колар) и Африки (Кем-Мотор).

Подсчитаны были также запасы золота в окисленных рудах и, кроме того, в месторождениях комплексных золотосодержащих руд, преимущественно меди, отчасти полиметаллов (например, в таких крупнейших золотосодержащих месторождениях, как Бингхем, Тинтик и Ледвил в США, Пангуна в Папуа-Новая Гвинея, Олимпик-Дем в Австралии и т.д.). Указанные выше сведения можно почерпнуть в обзоре автора и др. [8], в выпусках ВГФ и ВНИИзарубежгеология (2, 3, 4), в зарубежных работах J. Charbonneaux [9], P.M.Kavanach [10] и др.

Для последующего прослеживания динамики запасов были выбраны 1980-й и 1985-й годы [3, 4], 1992 [5, 6] и 1999 [7] годы, которые, как далее убедится читатель, оказались достаточно информативными и, вместе с тем, отражающими сравнительно равномерные, сопоставимые между собой отрезки анализируемой последней четверти прошлого века.

### Результаты исследований

Анализ сведений, изложенных в табл. 1, свидетельствует о том, что к 1975 г. оформилась группа важных ГПТ месторождений золота, которые оказались приоритетными для наращивания запасов металла. Из входящих в группу 6-ти важных ГПТ месторождений четыре принадлежат к объектам эндогенной и по одному – к объектам экзогенной и метаморфогенно-метаморфической серий. Доля мировых запасов золота этой группы месторождений достигала в 1975 г. 83% и на порядок превышала долю, приходящуюся на промышленно-второстепенные ГПТ месторождений (8,65%). Запасы попутного золота в месторождениях комплексных золотосодержащих руд хотя и были сравнительно невелики – 3800 т (доля их – 8,4% по отношению к мировым), но, тем не менее, оказались сопоставимыми с суммой запасов золота в месторождениях всех 7-ми второстепенных типов.

Примечательно, что в 1975 г. запасы золота только в одном главном ГПТ месторождении – золотоносных конгломератов (25000 т) составляли более половины всех мировых запасов этого металла (включая страны бывшего социалистического лагеря) и являлись основой минерально-сырьевой базы всего мира. Почти целиком они были заключены в месторождениях района Витватерсранд (ЮАР). Период, предшествующий 1980 г., характеризовался крупными объемами добычи золота из этих месторождений. Например, в 1975 г. они более чем на 3/4 обеспечивали мировую потребность в благородном металле всего западного мира [2]. Золото добывалось на сравнительно небольших глубинах (до 1000–1500 м от поверхности) и было конкурентоспособно по отношению к месторождениям других типов. При наличии в месторождениях рассматриваемого типа крупнейших запасов металла, подготовленных к эксплуатации, необходимость в разведке объектов других

типов отодвигалась на дальний план. В результате период, предшествующий 1975–1980-м годам, отличался сравнительно небольшими объемами разведочных работ на золото.

С начала 80-х годов в разведку были вовлечены месторождения многих других ГПТ (а также месторождения комплексных руд различных металлов), и с этого времени запасы благородного металла в тех и других стали быстро увеличиваться. Толчком для интенсификации разведочных работ явился рекордный взлет цен на золото в 1980 г. (среднегодовая цена достигла 19,6 долл/г), а также непрерывный рост потребления его в мире.

В результате масштабных геологоразведочных работ уже к началу-середине 90-х годов первоначальная структура минерально-сырьевой базы золота коренным образом изменилась. Составлявшие ранее ее основу запасы благородного металла в месторождениях золотоносных конгломератов, хотя и возросли, но доля их относительно мировых стала быстро сокращаться. Если в 1980 г. она достигала 56,8% от мировых, то к 1992 г. уменьшилась до 43,7%, а к началу 2000 г. составила только треть запасов золота в мире (рис.1). Такое сокращение произошло преимущественно за счет непрерывного увеличения запасов важных ГПТ гидротермальных месторождений – в первую очередь, эпитеpmальных и развитых в породах песчанико-глинистосланцевых формаций. Доля запасов обоих упомянутых типов поднялась с 5,6 и 6,9% в 1980 г. до, соответственно, 12,6 и 11,1% в 1999 г., в то время как доля запасов золота «в конгломератах» сократилась почти в полтора раза (см. табл.1 и рис.1).

Таблица 1

**Распределение общих запасов золота по геолого-промышленным типам месторождений и динамика запасов в 1975–1999 гг., т (в скобках – доли мировых запасов в данном году, %)**

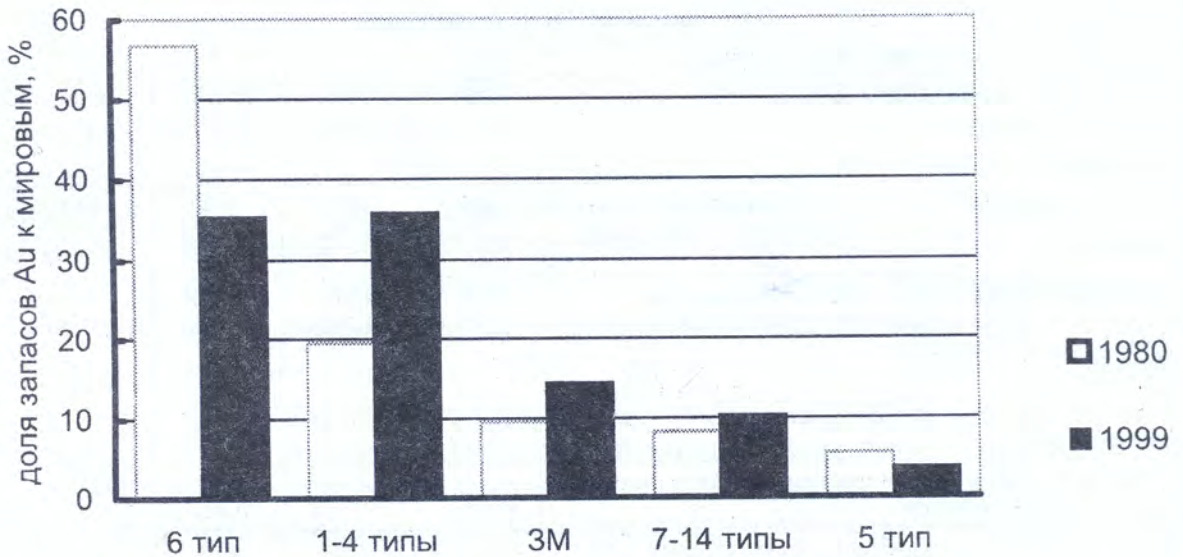
Геолого-промышленные типы месторождений золота		Годы				
		1975	1980	1985	1992	1999
Группа месторождений важных геолого-промышленных типов						
<b>Месторождения эндогенной серии</b>						
<i>Гидротермального класса</i>						
1	Эпитеpmальные месторождения золотосеребряных и золототеллуридных руд, пространств. связанные с вулкано-тектон. постройками	2300 (5,1%)	3500 (5,6)	5500 (7,7%)	8000 (9,2%)	12300 (12,6%)
2	М-ния в углеродистых породах песчанико-глинистосланцевых формаций	3600 (8,0%)	4300 (6,9%)	6100 (8,6%)	8600 (9,9%)	10800 (11,1%)
3	М-ния в регионально метаморфизован. терригенно-вулканогенных породах архейских зеленосланцевых поясов	2700 (6,0%)	3100 (4,9%)	4100 (5,8%)	5200 (6,0%)	6700 (6,9%)
4	Пластовые и субпластовые м-ния джаспероидных руд в породах терриг.-карбонатных и карбонатных формаций	750 (1,7%)	1300 (2,1%)	2400 (3,4%)	3600 (4,1%)	5200 (5,3%)
<b>Месторождения экзогенной серии</b>						
5	Россыпи	3000 (6,6%)	3600 (5,8%)	4300 (6,0%)	4400 (5,1%)	3700 (3,8%)
<b>Месторождения метаморфогенно-метаморфической серии</b>						
6	Месторождения золотоносных конгломератов	25000 (55,6%)	35500 (56,8%)	33500 (47,8%)	38000 (43,7%)	34500 (35,4%)
	<b>Всего по группе</b>	37350 (83,0%)	51300 (82,1%)	55900 (78,8%)	67800 (78,0%)	73200 (75,1%)

Геолого-промышленные типы месторождений золота		Годы				
		1975	1980	1985	1992	1999
Группа месторождений второстепенных геолого-промышленных типов						
<b>Месторождения эндогенной серии</b>						
<i>Контактово-метасоматического класса</i>						
7	Золото-скарновые месторождения	400 (0,9%)	500 (0,8%)	700 (1,0%)	800 (0,9%)	900 (0,9%)
<i>Гидротермального класса</i>						
8	Месторождения в терриген.-вулканогенных породах протерозойских и фанерозойских складчатых систем	800 (1,7%)	1050 (1,7%)	1400 (2,0%)	1800 (2,1%)	2300 (2,4%)
9	М-ния в тектонически деформированных эндо- и экзоконтактовых зонах интрузивных (или гранито-гнейсовых) массивов	900 (2,0%)	1100 (1,7%)	1300 (1,8%)	1600 (1,85%)	2000 (2,1%)
id	Месторождения в хрупких геологических образованиях (малых интрузивных штоках, дайках, слоях кварцитов)	850 (1,9%)	1000 (1,6%)	1200 (1,7%)	1250 (1,45%)	1400 (1,4%)
11	Месторождения в глубокометаморфизованных кристаллических породах	350 (0,8%)	450 (0,7%)	550 (0,8%)	600 (0,7%)	700 (0,7%)
12	Месторождения седловидных золоторудных тел в шарнирах складок	300 (0,7%)	350 (0,6%)	450 (0,6%)	550 (0,6%)	600 (0,6%)
<b>Месторождения экзогенной серии</b>						
13	М-ния золотоносных кор выветривания	-	350 (0,67%)	650 (0,9%)	1050 (1,2%)	1500 (1,5%)
14	М-ния золотоносных зон окисленных сульфидсодержащих руд	250 (0,6%)	400 (0,6%)	450 (0,6%)	550 (0,6%)	700 (0,7%)
<b>Всего по группе</b>		3850 (8,65)	5200 (8,3%)	6700 (9,4%)	8200 (9,4%)	10100 (10,35%)
<b>Комплексные месторожд. золотосодержащих руд</b>		3800 (8,4%)	6000 (9,6%)	8400 (11,8%)	11000 (12,6%)	14200 (14,55%)
<b>Итого</b>		45000 (100%)	62500 (100%)	71000 (100%)	87000 (100%)	97500 (100%)

**Примечание.** Примеры крупнейших представителей (с запасами золота более 300 т в коренных и 25 т – в россыпных рудах) отдельных геолого-промышленных типов месторождений, разведанных (или доразведанных) в 1975-1999 гг.: тип 1 – Лихир, Янакоча, Поргера, Паскуа; тип 2 – Мурунтау, Сухой Лог, Кумтор, Ашанти, Нежданинское; тип 3 – Хемло, Калгурли, Кемпбелл-Дэвидсон, Буланхулу, Сейнт-Айвс; тип 4 – Голдстрайк, Голд-Кворри, Мейкл, Твин-Крикс, Гетчелл-Теркуаз-Ридж; тип 5 – россыпи бассейна Колымы, а также районов Тапажос и Рорайма в Бразилии; тип 6 – Витватерсранд, Тебереби, Тарква, Жакобина; тип 10 – Васильковское, Сукари; тип 13 – Боддингтон-Ванду; комплексные месторождения золотосодержащих руд – Грасберг, Бату-Хеджау, Серро-Касале, Просперити

Утратили в настоящее время свое первоначальное значение и россыпные месторождения – доля их запасов, стабильно составлявшая с 1975 г. по 1985 г. от 5,8 до 6,6%, снизилась к началу 2000 г. почти вдвое – до 3,8%. На второе место по значимости после ГПТ месторождений золотоносных конгломератов вышли запасы «попутного» золота в месторождениях золотосодержащих руд: они увеличились почти в четыре раза – с 3800 т в 1975 г. (доля запасов – 8,4%) до 14200 т в 1999 г. (14,55%, см. рис.1). При этом тенденция увеличения приростов запасов попутного золота усилилась в последнее время. Интерес к этим месторождениям особенно возрос, когда выяснилось, что запасы золота в меднопорфировых и медно-скарновых рудах месторождения Грасберг (Индонезия) превысили в 1997 г. отметку в 2300 т [Eng. and mining journal, 1998, v.199, N 3, с.42] и оказались сопоставимыми с запасами такого месторождения-гиганта, как Мурунтау. Кроме того, многие сотни тонн

попутного золота были подсчитаны в последнее время в рудах, например, таких медно-порфировых месторождений как Бату-Хиджау в той же Индонезии, Серро-Касале в Чили, Бахо-де-ла-Алумбрера в Аргентине и др.



**Рис. 1.** Распределение долей запасов золота (в процентах) по отношению к мировым (принятым за 100%) в 1980 г. и в 1999 г. по ГПТ месторождений (наименование типа – см. в табл. 1, в соответствии с его порядковым номером, ЗМ – золотосодержащие месторождения).

Перемены в структуре минерально-сырьевой базы золота коснулись и некоторых типов месторождений, принадлежащих к группе второстепенных ГПТ. Так, впервые в качестве перспективных промышленных объектов «заявили» о себе в 1980–85 гг. месторождения золотоносных кор выветривания. С этого времени они стали отличаться непрерывным ростом запасов золота. Доля их, первоначально составлявшая 0,6% (1975 г.), уже в начале 2000 г. достигла 1,5% (т.е. увеличилась в 2,5 раза). Небольшое, но зато непрерывное увеличение запасов золота оказалось характерным для другого второстепенного ГПТ месторождений – локализованных в вулканогенных и терригенных породах протерозойских и фанерозойских складчатых систем. В этом типе, в отличие от эпitherмальных объектов, вулканогенные породы выступают лишь рудовмещающей средой. Для месторождений типа, обычно локализующихся в трещинных элементах структуры, доля запасов золота поднялась к 2000 г. до 2,4% против 1,7% в начале 80-х годов.

Интересно также отметить стабильность доли запасов золота, заключенного в окисленных рудах. Несмотря на абсолютный рост запасов, она сохранилась в пределах 0,6-0,7% на протяжении всего рассматриваемого двадцатипятилетнего периода. До сих пор горнорудные компании предпочитают вовлекать в эксплуатацию и перерабатывать (а не складировать!) окисленные руды, требующие иной технологии обогащения, сравнительно с преобладающими первичными. Хотя последние являются нередко более богатыми, но в связи с необходимостью перехода по мере углубки карьеров к более дорогостоящей подземной отработке первичных руд, переработка окисленных руд даже по специальной технологии оказывается более предпочтительной.

Как упоминалось, динамика добычи за рассматриваемый период может быть достаточно надежно прослежена всего по трем временным «реперным точкам» – за 1980, 1992 и 1999 гг. (табл. 2).

Динамика добычи золота по геолого-промышленным типам месторождений в 1980–1999 гг., т  
(в скобках – доли мировой добычи, %)

Геолого-промышленные типы месторождения золота		Годы		
		1980	1992	1999
Группа месторождений важных геолого-промышленных типов				
<b>Месторождения эндогенной серии</b>				
<i>Гидротермального класса</i>				
1	Эпитермальные месторождения золотосеребряных и золототеллуридных руд, пространстр. связанные с вулканогенно-тектон. постройками	90 (7,1%)	230 (10,6)	390 (15,5%)
2	Месторождения в углеродистых породах песчанико-глинистосланцевых формаций	45 (3,6%)	150 (6,9%)	185 (7,4%)
3	М-ния в регионально-метаморфизован. терригенно-вулканогенных породах архейских зеленосланцевых поясов	110 (8,7%)	330 (15,3%)	400 (15,9%)
4	Пластовые и субпластовые м-ния джаспероидных руд в породах терриг.-карбонатных и карбонатных формаций	20 (1,6%)	140 (6,5%)	230 (9,1%)
<b>Месторождения экзогенной серии</b>				
5	Россыпи	160 (12,7%)	230 (10,6%)	230 (9,1%)
<b>Месторождения метаморфогенно-метаморфической серии</b>				
6	Месторождения золотоносных конгломератов	675 (53,6%)	620 (28,7%)	465 (18,5%)
	<b>Всего по группе</b>	1100 (87,3%)	1700 (78,7%)	1900 (75,5%)
Группа месторождений второстепенных геолого-промышленных типов				
<b>Месторождения эндогенной серии</b>				
<i>Контактово-метасоматического класса</i>				
7	Золото-скарновые месторождения	15 (1,2%)	30 (1,4%)	40 (1,0%)
<i>Гидротермального класса</i>				
8	Месторождения в терриген.-вулканогенных породах протерозойских и фанерозойских складчатых систем	10 (0,8%)	30 (1,4%)	45 (1,8%)
9	М-ния в тектонически деформированных эндо-и экзо-контактовых зонах интрузивных (или гранитогнейсовых) массивов	15 (1,2%)	40 (1,85%)	60 (2,4%)
10	Месторождения в хрупких геологических образованиях (малых интрузивных штоках, дайках, слоях кварцитов)	10 (0,8%)	30 (1,4%)	25 (1,0%)
11	Месторождения в глубокометаморфизованных кристаллических породах	5 (0,4%)	10 (0,5%)	20 (0,8%)
12	Месторождения седловидных золоторудных тел в шарнирах складок песчанико-глинистосланцевых пород	5 (0,4%)	10 (0,5%)	15 (0,6%)
<b>Месторождения экзогенной серии</b>				
13	М-ния золотоносных кор выветривания	5 (0,4%)	40 (1,85%)	55 (2,2%)
14	М-ния золотоносных зон окисленных сульфидсодержащих руд	15 (1,2%)	20 (0,9%)	30 (1,2%)
	<b>Всего по группе</b>	80 (6,3%)	210 (9,7%)	290 (11,5%)
<b>Комплексные месторождения золотосодержащих руд</b>		80 (6,3%)	250 (11,6%)	325 (12,9%)
<b>Итого</b>		1260 (100%)	2160 (100%)	2515 (100%)

Анализ структуры и динамики мировой добычи золота в 1975–99 гг. свидетельствует о следующем (табл.2).

Во-первых, утратили свои ранее чрезвычайно прочные позиции два ГПТ месторождений – золотоносных конгломератов (6 тип) и россыпей (5 тип). Добыча золота из них, непрерывно нараставшая или стабилизовавшаяся в конце 1985 – начале 1990-х годов, затем стала быстро сокращаться. При этом доля добычи катастрофически уменьшилась за счет относительного роста ее, в первую очередь, из других промышленно-важных ГПТ золоторудных объектов. Так, доля золотоносных конгломератов сократилась с 53,6% (в 1980 г.) до 18,5% к 2000 г., т.е. почти в 3 раза, а доля «россыпного» золота – в 1,5 раза. Наоборот, в 6 раз выросла доля добычи из месторождений 4-го промышленно-важного ГПТ (с 1,6% до 9,1 %) и почти в 2 раза – для месторождений 2-го типа.

Во-вторых, для ряда важных ГПТ месторождений изменилось значение такого важного показателя, как отношение доли мировой добычи к доле мировых запасов. Как упоминалось, этот показатель промышленной значимости типа, близкий к единице, свидетельствует о сбалансированности добычи и обеспечивающих её запасов. Если же он существенно превышает единицу, это указывает на интенсивную отработку месторождений анализируемого ГПТ, на истощение запасов типа, на то, что последний является как бы «отмирающим». Понятно, что первый из сравниваемых выше типов выступает как перспективный, обладающий надежной минерально-сырьевой базой. Соответственно, добыча из месторождений, принадлежащих к этому типу, может быть значительно увеличена, а поиски и разведку таких месторождений целесообразно продолжать.

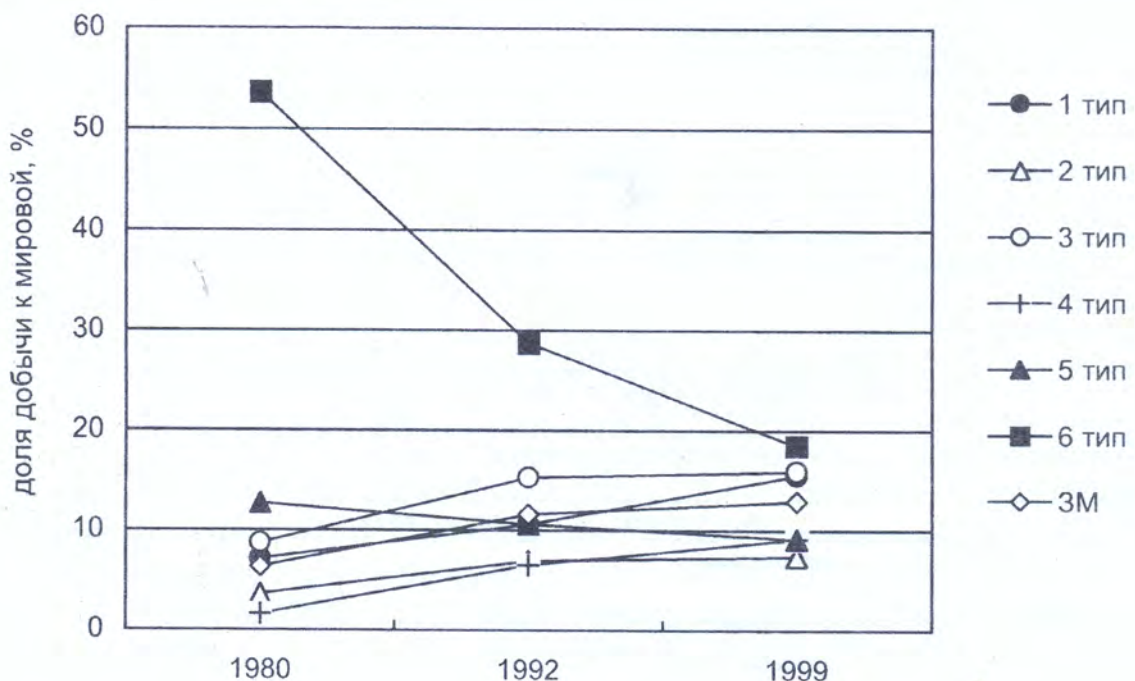


Рис.2. Динамика добычи золота из месторождений важных ГПТ (в % по отношению к мировой добыче, принятой за 100%) в 1980–1999 гг. Наименование типа – см. в табл. 1 и 2, в соответствии с его порядковым номером, ЗМ – золотосодержащие месторождения.

Опираясь на изложенное, можно констатировать, что россыпные месторождения в последнее время выступают представителями «отмирающего» типа – для них рассматриваемый показатель соотношения долей добычи к долям запасов равен почти трем. Такая же угрожающая обстановка, как ни странно, складывается в последнее время с важным ГПТ месторождений, локализованных в породах терригенно-карбонатных и карбонатных формаций. Оказывается, для этого типа доля добычи почти вдвое превышает долю запасов. Поскольку подавляющее большинство месторождений рассматриваемого типа расположено в США, следует ожидать, что в самом ближайшем будущем добыча золота в стране может начать сокращаться.

Еще более тревожная обстановка с месторождениями, развитыми в регионально метаморфизованных терригенно-вулканогенных породах архейских зеленосланцевых поясов. Эти месторождения, исторически важные чуть ли не с середины XIX века, почти непрерывно отрабатываются в Австралии, Канаде, Бразилии, в некоторых странах Африки (Зимбабве, Танзании, ДРК). Показатель соотношения долей добычи и запасов для этого типа равен почти 2,5. Кажущаяся стабильной добыча золота в перечисленных странах может в самом недалеком будущем начать сокращаться.

Продолжает оставаться надежной минерально-сырьевая база для типа месторождений золотоносных конгломератов (показатель промышленной значимости равен около 0,5), для 2-го ГПТ месторождений (где доля добываемого золота в полтора раза меньше доли запасов), для 8-го типа. Хорошая обстановка характеризует и комплексные золотосодержащие месторождения. Доля золота, извлекаемого из руд этих объектов (12,9%), существенно ниже доли мировых запасов (14,55%). Попутное золото комплексных месторождений может служить надежным источником поступления благородного металла, а поиски, разведка и освоение таких месторождений весьма перспективны.

### Заключение

При учете излагаемой структуры минерально-сырьевой базы мира и мирового опыта (вытекающего из ее осмысливания) с целью использования его в России, следует сделать ряд поправок. Дело в том, что в нашей стране отсутствуют месторождения такого важного ГПТ, как золотоносные конгломераты, а золоторудные месторождения джаспероидных руд, локализованные в породах терригенно-карбонатных и карбонатных формаций, единичны и характеризуются ничтожными запасами. За вычетом запасов ГПТ, отсутствующих в России, для мира сумма долей запасов золота в коренных месторождениях, в россыпях и в объектах комплексных руд, может быть представлена следующим соотношением:

$$41 : 3,8 : 14,5 \text{ или } 11 : 1 : 4.$$

#### Для России

Соотношение между запасами коренного, россыпного и попутного золота, как известно [1], иное, описываемое другим выражением:

$$5 : 1 : 1,7$$

Таким образом, в России (в отличие от мировой структуры запасов золота), доля их в россыпных месторождениях превышает как долю запасов коренного, так и попутно-

го золота. В отношении же структуры добычи золота, следует отметить, к сожалению, что в России доля добываемого россыпного металла настолько превышает доли добычи коренного и попутного, что сопоставить национальную структуру добычи с мировой невозможно.

Очевидно, в создавшейся ситуации следует опираться преимущественно на мировую структуру запасов, рассматривая ее как сложившийся с годами результат мирового опыта. Исходя из этого, целесообразно откорректировать в разумных пределах национальную структуру запасов золота, приблизив ее к мировой. В этом случае для золотопромышленности России напрашиваются следующие задачи.

1. В XXI веке в России настоятельно необходимо увеличение запасов (а также добычи) коренного и попутного золота, для чего рационально усилить поиски и освоение месторождений золота следующих двух важных ГПТ:

- эпитермальных месторождений золотосеребряных и золототеллуридных руд, связанных с вулcano-тектоническими постройками;
- месторождений, локализованных в углеродистых породах песчанико-глинисто-сланцевых формаций;
- а также золотосодержащих месторождений, целесообразнее всего – меднопорфировых руд.

2. Для названных важных ГПТ, а также золотосодержащих месторождений меднопорфировых руд возможно обнаружение обычно наименее затратных крупнейших представителей их с запасами золота, превышающими 300 т.

3. Среди месторождений второстепенных ГПТ наиболее рационально проведение поисков (и освоение) месторождений следующих 2-х типов:

- золотоносных кор выветривания;
- месторождений, размещающихся в терригенных, карбонатных и вулканогенных породах протерозойских и фанерозойских складчатых систем.

4. Добыча одной тонны золота в настоящее время в мире обеспечивается наличием запасов металла (всех категорий в сумме) в количестве 38 т. Исходя из этого соотношения, Россия может рационально добывать не менее 160–180 т золота в год.

## Литература

1. Беневольский Б.И. Золото России. Проблемы использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы. М., «Геоинформмарк», 1995. 88 с.
2. Минеральные ресурсы промышленно развитых капиталистических и развивающихся стран на начало 1977 г. «Золото», М., изд. ВГФ, 1978. С.232–254.
3. Минеральные ресурсы промышленно развитых капиталистических и развивающихся стран на начало 1981 г. «Золото». М., изд. ВГФ, 1982. С. 257–277.
4. Минеральные ресурсы промышленно развитых капиталистических и развивающихся стран на начало 1986 г. «Золото». М., изд. ВНИИзарубежгеология, 1987. С. 435–459.
5. Минеральные ресурсы зарубежных стран на начало 1993 г. «Золото». М., изд. ВНИИзарубежгеология, 1994. С. 358–378.
6. Минеральные ресурсы мира на начало 1996 г. «Золото». М., изд. ГНПП «Аэрогеология», 1997. С. 369–398.
7. Минеральные ресурсы мира на начало 2000 г. «Золото». М., изд. ФГУНПП «Аэрогеология», 2001.
8. Некрасов Е.М., Выдрин В.Н., Лебедева Н.А., Милюкова Т.Л. Типы месторождений и геолого-экономическая оценка минерально-сырьевой базы золота капиталистических и развивающихся стран. М., 1981, изд. ВИЭМС, 70 с.
9. Charbonneaux J. Le marche mondial des metauxprecieux. Industries ettravaux d'Outre-mer. 1977. № 25. С. 34–57.
10. Kavanach P.M. Gold reserves of the World. Geological Science of Canada. 1976. V.3, № 3. С. 3–24.

## РАЗМЕЩЕНИЕ КРУПНЕЙШИХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ ПОСТРОЙКАХ РАЗЛИЧНОГО ТИПА И ВОЗРАСТА

*(Из книги: Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А., Дудкин Н.В. Особенности геологии и структуры крупнейших золоторудных месторождений эндогенного класса. М., Астрей-центр, 2015. С. 16–17. Комментарий).*

Таблица

Комплексы рудовмещающих пород	Крупнейшие месторождения (страна)	Суммарные запасы Аи/добыча, т	Доля запасов золота месторождений-гигантов, % /100
1	2	3	4
<b>1. Внутриконтинентальные складчатые пояса с крупнейшими месторождениями золота глубинного генезиса: 1 – в обширных рудных районах, сложенных:</b>			
а) палеозойскими (иногда МZ – PZ-скими) углеродсодержащими песчанико-глинистосланцевыми толщами	Мурунтау (Узбекистан); Наталкинское, Нежданинское, Дегдеканское, Благодатное, Майское (все – Россия); Донлин-Крик, Мазер-Лод (США); Бакырчик (Казахстан)	5300-5700/70	0,73
б) верхнепротерозойскими песчанико-сланцево-филлитовыми толщами (с прослоями карбонатных пород и кварцитов)	Сухой Лог, Олимпиадинское, Благодатное (все – Россия); Хомстейк, Ливенгуд (США); Васильковское (Казахстан), Кумтор (Киргизия); Рио-Паракуту (Бразилия); Сукари (Египет); Линлун-Сушань (Китай)	5400-5600/90	0,36
в) нижнепротерозойскими песчанико-(кварцито)-филлитовыми толщами	Ашанти, Агафо, Престеа-Богосу (все – Гана); Телфер (Австралия); Луло, Садиола, Морила (все – Мали)	2600/70	0,34
<b>2. Позднеархейские складчатые зеленосланцевые пояса</b>			
с регионально метаморфизованными терригенно-вулканогенными толщами (с прослоями кварцитов)	Лас-Кристинас– Брисас (Венесуэла); Калгурли, Боддингтон (Австралия); Поркьюпайн, Хемло, Детур-Лейк, Доум, Керр-Эдисон, Кенеди-энд-Малартик, Кемпбелл-Дикенсон, Ред-Лейк (все – Канада); Буланхулу, Гейта (Танзания); Киттила (Финляндия); Колар (Индия)	5000-5200/200	0,28
<b>3. Внутриконтинентальные складчатые пояса с крупнейшими близповерхностными месторождениями джаспероидных руд</b>			
в палеозойских терригенно-карбонатных толщах	Голдстрайк, Карлин, Кортез – Кортез-Хилл, Твин-Крик, Джеррит-Каньон, Хикрофт, Гетчелл – Теркуаз-Ридж, Мейкл (все – США), Цзиньфын (Китай)	2200-2400/180	0,17

Комплексы рудовмещающих пород	Крупнейшие месторождения (страна)	Суммарные запасы Аи/добыча, т	Доля запасов золота месторождений-гигантов, % /100
1	2	3	4
<b>4. Внутриконтинентальные складчатые пояса мезокайнозойского возраста с крупнейшими близповерхностными месторождениями золотосеребряных и золототеллуридных руд:</b>			
в мощных толщах вулканитов и терригенных пород	Поргера (Папуа-Новая Гвинея); Раунд-Маунтин, Комшток (США); Пеньяскито, Гуанахуата, Метатес (все – Мексика); Фрутадель-Норте (Эквадор); Ангостура или Мармато (Колумбия)	1700-1800/50	0
<b>5. Внутриконтинентальные складчато-глыбовые пояса (зоны активизации)</b>			
с мезокайнозойскими вулканитами и терригенными породами в вулcano-тектонических впадинах, погруженных вдоль рудо-контролирующих разломов	Крипл-Крик (США); Балей-Тасеевское (Россия); Рошиа-Монтане (Румыния)	900-1100/15-20	0,44
<b>6. Активные окраинно-континентальные складчатые пояса</b>			
с мезокайнозойскими терригенными и вулcano-плутоническими породами	Янакоча, Альто-Чикамо или Лагунас-Норте (Перу); Паскуа-Лама (Чили); Веладеро (Аргентина), Двойное, Купол (Россия)	1600-1900/90-110	0,31
<b>7. Активные островодужные зоны</b>			
с мезокайнозойскими вулканитами и терригенными породами	Лихир или Ладолем (Папуа-Новая Гвинея), Пуэбло-Вьехо (Доминиканская Республика), Багио (Филиппины), Уайхи или Марта-Хилл (Новая Зеландия)	2400-2500/40-50	0,91

## КОММЕНТАРИЙ Е.М. НЕКРАСОВА

Из материалов, изложенных в таблице, вытекает, что золоторудные месторождения различных геолого-промышленных типов (ГПТ) с различным составом руд формируются в вертикальном разрезе земной коры в разнообразных комплексах пород с неодинаковой плотностью и с неодинаковыми запасами металла.

Несомненно, что из поднимающейся колонны золотосодержащего раствора и флюидов на самых верхних рудоносных уровнях в вулканитах мезокайнозойского возраста образуются месторождения золотосеребряных и золототеллуридных руд. Они заключают в сумме крупнейшие запасы золота и характеризуются такими месторождениями-лидерами, как Янакоча, Лихир и др. На более низких уровнях мезокайнозойских вулканитов локализовались такие месторождения, как Крипл-Крик, Пуэбло-Вьехо, Паскуа-Лама – Веладеро, Раунд-Маунтин, Поргера, Купол и Двойное в России и др.

В подстилающих комплексах позднепалеозойских (фанерозойских) пород широко развились месторождения в мощных песчанико-глинистосланцевых толщах с крупнейшими запасами золота и прожилково-вкрапленными рудами золото-сульфидно-кварцевого состава (лидеры – самое крупнейшее в мире эндогенное месторождение Мурунтау, а также Наталкинское, Сухой Лог, Телфер, Кумтор, Буланхулу, Кисладаг, Рио-Паракуту и др.).

В мощных фанерозойских карбонатных толщах образовались крупнейшие месторождения золота пластового и секущего типов – Карлин, Голд-Кворри, Кортес и др. Кроме того, в толщах терригенно-карбонатного состава возникла другая группа месторождений с вкрапленными рудами тонкого и дисперсного золота – зонами джаспероидных руд. Лидером этой группы являются месторождения Голдстрайк, Мейкл, Джеррит-Каньон и др.

В комплексах подстилающих пород, на более глубоких рудоносных уровнях, оказались проявленными месторождения в мощных протерозойских толщах филлитов с прослоями кварцитов – такие крупнейшие месторождения и месторождения-гиганты, как Ашанти, Агафо, Престеа-Богосу, Телфер, Садиола, Луло и др., с мощными золото кварцевыми жилами и зонами прожилков золото-кварцевого и золото-турмалин-кварцевого состава.

В филлитовых толщах с прослоями карбонатсодержащих пород – в куммингтонитовых сланцах образовалось месторождение-гигант Хомстейк, а в горизонтах известняков – месторождение вкрапленных руд Олимпиадинское.

На самом нижнем рудоносном уровне, в позднеархейских зеленосланцевых поясах, в кварц-серицит-хлоритовых и амфиболовых сланцах древних щитов локализовались месторождения золото-кварц-турмалиновых жил и зон прожилков – Калгурли, Холлинджер и Мак-Интайр, Колар, Лас-Кристинас, Хемло и др.

Наконец, в породах интрузивов, как правило, среднекислого состава, прорывающих все перечисленные комплексы рудовмещающих образований, в генетической или парагенетической связи с интрузиями, обособились прожилковые и вкрапленные руды золото-медного состава. Они установлены на месторождениях Янакоча, Кальмакыр в Узбекистане, Пибл на Аляске, США, Грасберг в Индонезии, Хорн в Канаде, Олимпик-Дем и Кейдиа в Австралии, Васильковское, Сукари и др. Это самые глубокозалегающие руды, содержащие промышленное золото, и при обнаружении их в подстилающих комплексах пород (гранитоиднейсах, кристаллических сланцах) глубже уже ничего обнаружено быть не может.

## ЗАПАСЫ И ДОБЫЧА ЗОЛОТА В НАЧАЛЕ XXI В. ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПОВ

*Проведен детальный анализ положения с запасами и добычей золота в мире. Показано, что в настоящее время на первый план выдвинулись эндогенные месторождения золота трех экономически важных геолого-промышленных типов – близповерхностные месторождения эпитермальных золотосеребряных и золототеллуридных руд в породах вулканотектонических построек, золотосодержащие месторождения меди (главным образом меднопорфировых руд) и золоторудные объекты в комплексах песчанико-глинистосланцевых и песчанико-слюдисто-сланцево-филлитовых пород. Наряду с этим выявилось снижение экономического значения (уменьшились запасы и добыча) близповерхностных месторождений джаспероидных руд (традиционно называемых «карлинскими») в комплексах терригенно-карбонатных пород, а также золотоносных россыпей.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* месторождения; золото; геолого-промышленный тип; запасы; добыча; экономическое значение.

*(Известия вузов. Геология и разведка. 2013. № 6. С. 45–56. Статья «Запасы и добыча золота в начале XXI в. в геолого-промышленных типах месторождений»).*

Анализ положения с запасами и добычей золота, проведённый на начало XXI в. для месторождений, принадлежащих к экономически важным геолого-промышленным типам, показал, что главный в мире производитель благородного металла – золотоносные конгломераты утратили своё лидирующее положение. Это произошло в связи с истощением рентабельно извлекаемых запасов золота на сравнительно больших глубинах (примерно 2–4 км от современной поверхности) в основном районе их развития – Витватерсранде (ЮАР). Всего 30–40 лет тому назад золото, добывавшееся из недр этого района, составляло более половины годовой мировой добычи. Однако крупнейшие затраты на добычу благородного металла в ЮАР и одновременно энергичные разведка и освоение других экономически важных геолого-промышленных типов месторождений золота коренным образом изменили существовавшую ситуацию. В 2003 г. доля золота, извлекавшегося из конгломератов, сократилась сначала до трети, а ещё через 8–10 лет до 8–9 % мирового объёма добычи.

В [9] было рассмотрено положение с запасами и добычей золота по каждому из геолого-промышленных типов месторождений благородного металла и золотосодержащих руд по состоянию на 2003 г. Прошло около десяти лет, в течение которых ситуация с запасами и добычей металла изменилась коренным образом. Дело в том, что с 2010 г. мировая цена

на золото, следуя за ценой главного энергоносителя – нефти, выросла в несколько раз и стабильно сохраняется в наши дни на уровне 40–43 долл/г. В связи с этим существенно усилились поиски, разведка и освоение некоторых типов эндогенных месторождений золота и золотосодержащих руд.

Напомним, что представления о крайней необходимости выделения геолого-промышленных типов месторождений различных металлов, в том числе золота, впервые выдвинул и обосновал сначала в 40-х, а затем в 60-х гг. прошлого века геолог-исследователь и разведчик В.М. Крейтер [7]. Он полагал, что выделение подобных типов является единственно правильным и рациональным в рудной геологии для целей поиска и разведки новых месторождений, которые и далее смогут удовлетворить основную долю потребностей мирового сообщества в том или ином виде металла.

Вместе с тем В.М. Крейтер считал, что только некоторые геолого-промышленные типы смогут обеспечить мировое сообщество в необходимом металле и главными среди них должны быть экономически важные типы. М.М. Константинов в [5] приводит слова одного из последователей В.М. Крейтера – В.И. Красникова, который буквально утверждал, что экономически важный геолого-промышленный тип месторождений золота – это «группа геологически однотипных месторождений, зарекомендовавших себя в мировой и отечественной практике как реальный поставщик данного типа минерального сырья». Действительно, главным принципом выделения таких типов В.М. Крейтер считал, с одной стороны, локализацию геологически и структурно сходных месторождений в определённых комплексах рудовмещающих пород (называемых ныне структурно-вещественными), а с другой – оценку экономической значимости рудных объектов. Последняя должна, по представлению В.М. Крейтера, оцениваться мировой долей запасов и добычи металла, приходящейся на каждый из выделяемых типов.

Действительно, намеченные ныне геолого-промышленные типы (ГПТ) месторождений характеризуются рудными объектами с сопоставимыми геологическими чертами и особенностями, сходством структуры рудоносных участков, морфологией, строением и поведением размещающихся в них рудных тел в плане и разрезе, а также характерным для типа вертикальным размахом оруденения. В результате в благоприятной геолого-структурной обстановке при образовании масштабных (большой протяженности и мощности) рудовмещающих трещинных нарушений и нередко распространении оруденения в стороны от них, в слабозолотоносных боковых метасоматитах, в определённых структурно-вещественных комплексах пород локализуются крупные (более 100 т золота), крупнейшие (более 300 т) и гигантские месторождения (свыше 1000 т).

С учётом экономической позиции понятно, что сходные, похожие по геологическим чертам месторождения одного ГПТ разведываются по одной и той же методике, эксплуатируются повторяющимися и в связи с этим «наработанными», неоднократно оправдывавшими себя и наиболее рациональными малозатратными методами. При этом крупные, крупнейшие и тем более гигантские месторождения золота в настоящее время нередко разрабатываются преимущественно наиболее дешёвым карьерным способом до глубин 300–700 м и более. Переработка руд и методики извлечения золота проверены многолетней практикой эксплуатации многих однотипных месторождений в различных географо-экономических условиях. Такие наименее затратные методики многократно применялись при обустройстве месторождений данного типа и экономически оказались наиболее выгодными. В результате получение золота из руд хорошо известного и экономически промышленно-важного (со значительной мировой долей запасов и добычи) типа месторождений наиболее

выгодно, а себестоимость получения металла обычно достаточно низка и приемлема для отработки даже бедных руд.

Масштабные рудовмещающие трещинные нарушения (характерные для крупных, крупнейших и месторождений-гигантов) впервые были намечены как особые системы разрывов большим знатоком золоторудных месторождений Н.И. Бородаевским [2, 3]. Считается [11], что нарушения представлены трещинными образованиями трех типов: 1) преобладающими секущими и согласными пучками трещин большой протяженности со сближенными наиболее выдержанными разрывами и мощными рудными телами-лидерами; 2) протяжёнными отрезками рудоносных разломов (обычно высоких порядков) значительной мощности и мощными зонами рассланцеванных, местами брекчированных, смятых и будинированных пород; 3) наиболее редко проявленными широкими трещинными системами большой протяженности, сложенными многочисленными, сменяющими одни другими по простиранию и на глубину рядовыми разрывами и рудными телами жильных, прожилковых и преобладающих вкрапленных руд.

Понятно, что наиболее благоприятная геолого-структурная обстановка в природе проявляется не для всех выделенных ГПТ месторождений золота и золотосодержащих руд. Очевидно, что в перспективных структурно-вещественных комплексах достаточно редко обнаруживаются представители одного ГПТ месторождений с масштабными рудовмещающими трещинными нарушениями. Поэтому крупные, крупнейшие и тем более месторождения-гиганты обнаруживаются в единичных случаях, наряду с существенно преобладающими рядовыми месторождениями того же ГПТ. Тем не менее, каждый ГПТ месторождений, оцененный авторами как экономически важный, характеризуется наличием двух–трех месторождений-гигантов, 5–10 крупнейших и 10–30 крупных месторождений.

К таким экономически важным ГПТ месторождений эндогенного класса в настоящее время отнесены месторождения золота пяти типов и один ГПТ месторождений медных золотосодержащих руд (главным образом меднопорфировые месторождения, а также менее распространенные золотосодержащие медноколчеданные и стратиформные). В рудах перечисленных месторождений золото содержится от 0,2–0,3 до 1–1,5 г/т. Сохраняет своё важное экономическое значение ГПТ месторождений золотоносных конгломератов, относящийся к классу метаморфогенных месторождений, хотя позиции его чрезвычайно ослабли, а также постепенно «угасающий» тип золотоносных россыпей (табл. 1).

В отличие от группы экономически важных выделена группа промышленно второстепенных ГПТ месторождений. Её составляют шесть типов месторождений золота, принадлежащих к двум генетическим классам – эндогенному и экзогенному (табл. 1). Лишь к некоторым типам этой группы принадлежат один или два крупных месторождения с запасами золота около или более 100 т. Только ГПТ месторождений аркообразных, седловидных и килеобразных рудных тел в шарнирах и кляях складок песчанико-глинистосланцевых пород, как исключение, отличается принадлежностью к нему двух австралийских крупнейших месторождений, существенно отработанных ещё в середине прошлого века. Это месторождение Бендиго (добыто около 700 т золота) и Балларат (примерно 410 т). Возросшая с 2010 г. мировая цена на золото может позволить вернуться на этих месторождениях к добыче руд, сохранившихся на глубинах от нескольких до многих сотен метров и рентабельно отрабатывать их дорогими шахтными способами.

## Состояние запасов и добычи золота в ГПТ месторождений золота и золотосодержащих руд

Геолого-промышленные типы месторождений золота и золотосодержащих руд	Запасы общие, т		Добыча, т		Примеры крупнейших месторождений и месторождений-гигантов, страна, начальные запасы/остаточные запасы, т
	2003 г.	2011 г.	2003 г.	2011 г.	
<b>Группа месторождений экономически важных геолого-промышленных типов</b>					
<i>Эндогенные месторождения</i>					
Близповерхностных золотосеребряных и золототеллуридных руд в породах вулканотектонических построек	13500	13500	350	420	Янакоча (Перу) 1550/480; Лихир (Папуа-Новая Гвинея) 1500/1250; Пуэбло-Вьехо (Доминиканская Республика) добыто 170/1100; Паскуа-Лама (Чили) 760; Пеньяскито (Мексика) 650; Крипл-Крик (США) 1200/400; Фрута-дель-Норте (Эквадор) 340; Купол (Россия) > 200/80, Двойное 250 с ресурсами, оба – Россия
Меднопорфировых и медноколчеданных золотосодержащих руд	16700	18300	370	400-420	Грасберг (Индонезия) 3350/1380; Олимпик-Дем (Австралия) 2300; Кейдиа (Австралия) 1030 (запасы+ресурсы); Пибл (США) 3300 (запасы+ресурсы); Реко-Дик (Пакистан) 1300 (запасы+ресурсы); Серро-Касале (Чили) 800; Ую-Толгой (Монголия) 1440 (запасы+ресурсы)
В регионально метаморфизованных терригенно-вулканогенных комплексах пород архейских зеленосланцевых поясов	5000	6000	210	330-340	Лас-Кристинас (Венесуэла) 1015; Калгурли (Австралия) 1900/260; Боддингтон (Австралия) 750/600; Детур-Лейк (Канада) 510; Кибали (ДРК) 440; Бульянхулу (Танзания) 330/200; Киттила (Финляндия) 460 (запасы+ресурсы)
В углеродсодержащих песчанико-глинисто-сланцевых и песчанико-сланцево-филлитовых комплексах пород	11500	13200	260	310-320	Мурунтау (Узбекистан) 4200-3500 (включая ресурсы)/1300-1500; Сухой Лог (Россия) 1900; Наталкинское 1850; Ашанти (Гана) > 1400/900; Телфер (Австралия) 800/670; Нежданинское (Россия) 630; Кисладаг (Турция) 420/380; Луло (Мали) 400/300; Рио-Паракуту (Бразилия) 690; Дегдекан (Россия) 400 (запасы+ресурсы)
Джаспероидных руд пластового и секущего типов в терригенно-карбонатных комплексах пород	3800	3100	270	220-230	Голдстрейк (США) 1450/460; Карлин (США) 800/350; Кортез (США) 600/585; Твин-Крикс (США) 250/160; Джеррит-Каньон (США) 250/70; Теркуаз-Ридж (США) 250/170; Олимпиадинское (Россия) 700/300; Цзиньфын (Китай) 150
В породах хрупких геологических образований – малых интрузивах, поясах и сериях даек	1600	3400	75	100	Донлин-Крик (США) 1210; Кальмакыр (Узбекистан) 1300/800, Линлун-Фушань (Китай) 600/100; Васильковское (Казахстан) 430; Сукари (Египет) 340; Чармитан (Узбекистан) 200-230; Ред-Лейк (Канада) 250/100
<i>Экзогенные месторождения</i>					
Россыпи золота	2800	2000	180	170	
<i>Метаморфогенные месторождения</i>					
Золотоносных конгломератов	31700	19500	390	230-240	Месторождения Витватерсранда (ЮАР) добыто 51885/18500; месторождения Гарквы: Гарква, Даманг, Идуаприем (Гана) 850; Жакобина (Бразилия) 100

Геолого-промышленные типы месторождений золота и золотосодержащих руд	Запасы общие, т		Добыча, т		Примеры крупнейших месторождений и месторождений-гигантов, страна, начальные запасы/остаточные запасы, т
	2003 г.	2011 г.	2003 г.	2011 г.	
Всего по группе	86600	79000	1745	2200-2250	
<b>Группа месторождений второстепенных геолого-промышленных типов</b>					
<i>Эндогенные месторождения</i>					
В тектонически деформированных комплексах пород эндо- и экзоконтактов интрузивных и гранитоидных массивов	2200	2800	110	140-150	Зун-Холбинское (Россия) 100/40; Барун-Холбинское (Россия) 30 (запасы+ресурсы); Школьное (Россия) добыто > 10; Термула (Австралия) > 100/60; Тапарко-Бурум (Буркина-Фасо) 30
В покровных вулканитах протерозойских и фанерозойских складчатых поясов	2400	2300	90	110-120	Миндякское (Россия) добыто > 40; Березняковское (Россия) 50/10; Себодала (Сенегал) 80; Омай (Гайана) 100/20; Маунт-Морган (Австралия) добыто 220; Бисса (Буркина-Фасо) 90
Аркообразных и седловидных золоторудных тел в шарнирах складок песчанико-сланцевых пород	800	1000	50	70-90	Бендиго (Австралия) добыто 693/200; Балларат (Австралия) добыто > 410/100; Совиное (Россия) 10; Портдафферин (Канада) 15
Золото-скарновых руд	900	900	40	30-35	Синюхинское (Россия) 50/20; Новогоднее Монто (Россия) 10; Тарор (Таджикистан) 50; Фортитьюд (США) добыто > 60; Ити (Кот-д'Ивуар) 40/10; Тинтайя (Перу) 20
В глубокометаморфизованных кристаллических породах	600	500	30	25-30	Гаогунг (Китай) 15; Ренко (Зимбабве) добыто 40/5-10; Саза-Резербек (Танзания) 30
<i>Экзогенные месторождения</i>					
Золотоносных кор выветривания и зон окисления сульфидсодержащих руд	2500	2500	140	160-175	Олимпиадинское (Россия) добыто около 300; Пионер (Россия) 30; Муртыкты (Россия) добыто около 10; Кимсакоча (Эквадор) до 30; Фазенда-Бисон, Итабира, Консейсан и др. (Бразилия) в сумме 50-70; Пассендеро (ЦАР) 30
Всего по группе	9400	10000	430	560-600	
Итого	96000	87000	2535	2755-2825	

Примечание. Составлено по данным сборников: Mining Journal, Mining Magazine, World Gold, Metal Bulletin, Thomson Reuters (GFMS), статистических материалов ИАЦ «Минерал» [9, 23].

Целесообразно пояснить изложенную в статье экономическую оценку каждого ГПТ месторождений. Она проведена путём подсчёта мировой доли запасов и добычи золота, приходящихся на оцениваемый тип. Суть вопроса в следующем. В России и в странах постсоветского пространства подсчёт запасов золота проводится на основе принятых Государственной комиссией по запасам категориям запасов  $B + C_1 + C_2$ , и отличается лишь степенью изученности разведываемых объектов. При этом на эксплуатирующихся месторождениях обрабатываются руды первых двух категорий. Зарубежными золотодобывающими компаниями обрабатываются руды, подсчитанные по категориям, именуемым proven и probable и соответствующим категориям B и  $C_1$ . За рубежом по категориям proven и

probable подсчитываются также запасы месторождений, подготавливающих к эксплуатации. Руды разведываемых месторождений, а также находящиеся на флангах обрабатываемых подсчитываются по категориям, именуемым *measured* и *indicated*.

В 2010 г. Государственная комиссия по запасам РФ и Объединенный комитет по международным стандартам отчетности по запасам (CRIRSCO) опубликовали «Руководство по гармонизации стандартов отчетности России и CRIRSCO», согласно которому российской категории запасов В соответствуют международные категории *proven + probable*, а  $C_1 + C_2$  – *measured + indicated*. Поэтому при изложении анализа изменений минерально-сырьевой базы золота и мировой добычи, запасы отечественных месторождений рассматриваются авторами в качестве общих –  $B + C_1 + C_2$ , а зарубежных – *proven + probable + measured + indicated*.

Все нижеприводимые сведения по запасам и добыче золота собирались авторами в результате непрерывного отслеживания «первичных» статистических изданий, таких как *Mining Journal*, ежемесячников *Mining Magazine*, *World Gold*, *Metal Bulletin* и др., *Equity Research*, агентства *Thomson Reuters – Gold Fields Mineral Services (GFMS)*, переводных изданий – «Золото» (до 2008 г), а также статистических материалов ИАЦ «Минерал», [9, 23] и др. Принятые для расчетов статистические данные, как правило, публикуются для месторождений с запасами, превышающими 100 т золота, и значительно реже для месторождений, запасы которых находятся в диапазоне 60–100 т и менее. Сведений по добыче золота из недр рядовых месторождений в статистических сборниках обнаруживается значительно меньше. В связи с этим авторам приходилось давать собственную оценку запасам и добыче золота для некоторых таких месторождений. Естественно, это могло вносить определённые ошибки при расчётах, касающихся ГПТ месторождений в целом.

Состояние мировой экономики и все изменения в запасах и добыче золота в начале XXI в. определили две ценовые ситуации. С самого начала нового столетия стали неуклонно расти цены на энергоносители, оборудование и материалы, применяемые в горном деле, а также производственные затраты. Все это наиболее сильно «ударило» по рудникам ЮАР. Здесь золотоносные конгломераты обрабатываются на глубинах около 2–4 км в золоторудном районе Витватерсранд. В 2003–2006 гг. они эксплуатировались с самой высокой себестоимостью производства золота в мире для горнодобывающих предприятий – 12–13 долл/г (при мировой цене на золото в 2003–2006 гг. 11,7–14,3 долл/г Au). Сложившаяся ситуация вызвала в стране «волну» закрытия ряда участков, сокращение добычи руд и золота и, в конечном результате, привела к пересчёту его рентабельно извлекаемых запасов. Существенная часть их в ЮАР была признана забалансовыми, нерентабельными. При этом и мировые запасы золота (сумма всех категорий) сократились к 2011 г., в сравнении с 2003 г., (табл. 1) примерно на 7000 т. Запасы золота, приходящиеся на ГПТ золотоносных конгломератов, уменьшились до 19500 т даже с учётом однотипных разрабатываемых месторождений района Тарквы в Гане и Жакобины в Бразилии. Доля их для ГПТ в целом составила всего 21,9 % по отношению к мировым. Ранее (2003 г.) доля запасов золота в конгломератах была необычайно высока и достигала 33 % от мировой (в 1975 г. – 55,6 % [10]). Напомним, что еще в 1970 г. из конгломератов Витватерсранда было получено рекордное количество благородного металла – 1000,4 т, что превысило тогда 70 % мировой добычи. Доля запасов золота в конгломератах в то время достигала 65 % мировой. ЮАР до 2007 г. продолжала оставаться главным продуцентом золота в мире. В 2007 г. её опередил Китай (произведено 280,5 т против 269,9 т в ЮАР). Тем не менее, по суммарной добыче благородного металла этому ГПТ месторождений нет равных – к концу 2011 г. она достигла 51885 т (табл. 1).

Существенно проявилось снижение значения ГПТ россыпных месторождений. Хотя объём добычи золота из них почти сохранился на уровне 2003 г., доля добытого «россыпного» золота в мире упала от 7,1 до 6,1 %, а запасов – от 2,9 до 2,3 % (табл. 1).

Освоение в последнее время дешёвых карьерных способов эксплуатации месторождений до глубин 300–700 м (например, на золоторудных месторождениях Мурунтау в Узбекистане, Калгурли в Австралии, Голдстрайк и Крипл-Крик в США) и применение малозатратных методов извлечения металла (кучное, автоклавное выщелачивание, метод «уголь в пульпе» и т. д.) позволили вести разведку бедных и убогих месторождений ряда экономически важных ГПТ [1]. В результате в мире положение с запасами и уровнем добычи золота среди месторождений экономически важных ГПТ, в первую очередь принадлежащих к эндогенному классу, с 2003 г. существенно изменилось (табл. 1).

Наиболее важным стало увеличение роли ГПТ месторождений золотосодержащих руд и, в первую очередь, меднопорфировых месторождений. Выросшая цена на золото предопределила высокую экономическую значимость руд этих месторождений. Нередко в них, при содержании золота 0,4–0,6 г/т и выше, доля извлекаемого золота в стоимостном выражении оказалась сопоставимой со стоимостью получаемой меди, не говоря уже о стоимости других менее «дорогих» компонентов руды.

Запасы золота в рассматриваемом ГПТ достигли 18300 т и мировая доля их составила 20,6 %. На границе веков мировыми лидерами этого типа остаются два месторождения: Грасберг в Индонезии (с остаточными запасами золота примерно 1380 т и высоким для данного типа содержанием его – около 1 г/т) и Олимпик-Дем в Южной Австралии (запасы 1600 т золота с содержанием от 0,3 до 0,6 г/т). При варианте карьерной отработки последнего месторождения запасы и ресурсы комплексных руд увеличиваются до 7,7 млрд. т, а золота – до 2,3 тыс. т [4].

Месторождение меди Олимпик-Дем с попутными золотом и ураном считается стратиформным (с пластообразными рудными телами). Оно представлено рудной залежью, согласной со слоистостью протерозойских осадочных (?) брекчий, которые подверглись гематитизации и окварцеванию. Залежь локализована в грабене северо-западного простирания и прослеживается вдоль его осевой части на 6 км. Образно её представляют в виде лодкообразного сооружения, в килевой части которого залежь размещается. Местами она примыкает к уплощенным телам небольших гранитоидных некков (гипабиссальных интрузивов). На традиционных меднопорфировых месторождениях гранитоидные интрузивы нередко выступают «материнской» породой. Ширина залежи в поперечном северо-восточном направлении местами превышает 700 м, мощность колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен метров. Залежь сложена кварцем, борнитом, халькозином, подчиненным халькопиритом. Золото заключено в минералах меди.

Однако, одно из самых крупных в мире месторождений меди Олимпик-Дем с попутными золотом и ураном на самом деле представляет обычное меднопорфировое месторождение, но только возникшее в вертикальном разрезе на границе перехода от интрузивных условий образования рудоносных магматических пород к эффузивным. Действительно, оно повторяет черты типоморфного золотомеднопорфирового месторождения Хорн (смотри С.Д. Шер. Металлогения золота (Северная Америка, Австралия и Океания). М.: Недра. 1972. С. 47–49). Месторождение размещается в рудном узле Поркьюпайн – Малартик, в золоторудном поясе Абитибиде, на Канадском щите.

Месторождение Олимпик-Дем, как и Хорн, локализовано в брекчиях осадочных (?) и вулканогенных пород, которые являются, очевидно, образованиями, переходными от ин-

трузивных к перекрывающим их в кровле, в «шапке» интрузии, ближе к палеоповерхности, уже эффузивными магматическими породами – брекчиями вулканического происхождения. Как было указано, руды на месторождении Олимпик-Дем, также, как и на Хорне, прожилковые, местами жильные, кварцевые, с вкрапленниками и мелкими желваками пирита, арсенопирита и минералов меди – борнитом, теннантитом, более редкими халькопиритом, халькозином. Золото в виде микропрожилков и мелких включений залечивает микротрещины в минералах меди.

Новые месторождения-гиганты анализируемого типа – это также расположенное в австралийских палеозоидах Квинсленда меднопорфировое месторождение Кейдиа-Хилл с его участками: Кейдиа, Риджуэй, Кейдиа-Ист и Фар-Ист с запасами золота в сумме более 1030 т [23]. К 2006–2007 гг. доразведка сравнительно глубоких участков месторождения позволила прирастить более 300 т золота. Кроме названного месторождения, на Аляске (США) было разведано другое месторождение-гигант Пиббл (с суммой запасов и ресурсов золота категорий *measured*, *indicated* и *inferred* (или с запасами и ресурсами категорий  $C_1$ ,  $C_2$  и  $P_1$ , в соответствии с российской классификацией) – более 3,3 тыс. т. [23] В Пакистане, вблизи небольшого меднопорфирового месторождения Саиндак было предварительно разведано другое месторождение данного типа – Реко-Дик с запасами и ресурсами золота почти 1300 т. Помимо названных гигантов разведаны также другие крупнейшие месторождения золотосодержащих меднопорфировых руд: Ую-Толгой в Монголии (запасы золота 580 т с содержанием 0,6 г/т, с ресурсами до 1440 т, т. е. новое месторождение-гигант), Серро-Касале в Чили (около 800 т, с содержанием 0,4 г/т), группа месторождений в Британской Колумбии (Канада): Галор-Крик, Митчелл, Маунт-Миллиган, Просперити, Кемесс-Саут и Норт, в сумме более 1500 т металла [23].

Добыча золота из руд рассматриваемого ГПТ достигла 400–420 т в год (или 14,7 % от мировой добычи), почти сравнявшись с извлечением «эпитермального» золота (табл. 1). Расчёт мировой добычи золота из месторождений, принадлежащих к рассматриваемому ГПТ, приведён в табл. 2. Очевидно, ГПТ золотосодержащих меднопорфировых (и некоторых колчеданных месторождений меди, а также магматических медноникелевых месторождений) стал одним из надежных мировых поставщиков благородного металла. Это, видимо, необходимо учитывать при организации поисково-разведочных работ в нашей стране. Кстати, в мезозоидах Северо-Востока России, у западной границы Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, расположено слабо изученное меднопорфировое месторождение Песчанка, потенциал которого предварительно оценен в 400 т золота [5].

Сохранилось лидирующее положение экономически важного ГПТ месторождений близповерхностных эпитермальных золотосеребряных и золототеллуридных руд в комплексах пород, слагающих вулканотектонические постройки. Их запасы стабилизировались (табл. 1) несмотря на энергичную отработку месторождений. Уровень годовой добычи вырос с 13,8 до 15,1 %. Основной объём добычи обеспечивают рядовые месторождения нашей страны, в юго-восточных и восточных («береговых») провинциях Китая, Австралии и Филиппин, Индонезии и Папуа-Новой Гвинеи, Японии и Новой Зеландии, Мексики, ряда стран американского перешейка, Аргентины, Перу и других государств Южной Америки. В нашей стране из сравнительно крупных объектов этого типа обрабатываются месторождения: Купол (запасы с учётом добытого металла – более 180 т), Аметистовое, разведывается Озерновское (каждое – до 100 т [5]), а также Двойное – запасами более 200 т золота. Кроме того, быстрыми темпами продолжают эксплуатироваться зарубежные месторождения-гиганты: Янакоча, Перу – до 40–70 т в год и Лихир, Папуа-Новая Гвинея – ежегодно до

20–23 т в 2009–2011 гг. [23]. Энергично, несколькими глубокими карьерами эксплуатируется знаменитое американское месторождение Крипл-Крик (остаточные запасы золота около 400 т [23]).

Запасы золота данного типа в основном восполняются за счёт доразведки эксплуатирующихся месторождений. Вместе с тем, под выработанными окисленными рудами (171 т золота) на золотосеребряном месторождении-гиганте Пуэбло-Вьехо (Доминиканская Республика) были разведаны первичные руды (более 900 т золота, содержание 3,2–3,6 г/т). В Мексике разведывается месторождение Пеньяскито (почти 650 т золота, 0,37–0,57 г/т), в Эквадоре – Фрута-дель-Норте (более 340 т, 7,2 г/т), в Колумбии – Ангостура (310 т, 0,8–1,7 г/т).

Среди других золоторудных ГПТ эндогенных месторождений наибольшие изменения (в лучшую сторону) коснулись рудных объектов, локализованных в песчанико-глинисто-сланцевых и песчанико-сланцево-филлитовых комплексах пород. Несмотря на интенсивную эксплуатацию месторождения Мурунтау (Узбекистан) – лидера типа, остаточные запасы золота к 2010–2011 гг. оценивались не менее чем в 1300–1500 т [19]. Глубина карьера приближается к отметке 500 м ниже поверхности. Глубокими (до 2 км) подземными выработками и карьерами продолжается эксплуатация группы месторождений Ашанти (Обуаси) в Гане, где остаточные запасы после доразведки достигли почти 900 т благородного металла [23].

Запасы золота в рудах рассматриваемого типа в целом за 8–10 лет выросли примерно на 1700 т (табл. 1), главным образом за счёт доразведки двух месторождений-гигантов в нашей стране – Сухой Лог и Наталкинское. Прирост более 1000 т золота до 1850 т на последнем был обусловлен исключительно вовлечением в разведку широкого (до 300 м и более) бокового ореола слабозолотоносных сульфидно-кварцевых метасоматитов, сопровождающих сравнительно богатые кварцево-жильные зоны этого месторождения. Севернее ведется разведка месторождения Дегдекан, на котором в штокообразном теле золотосульфидно-кварцевых прожилков, окаймлённых широким (до 300–500 м) ореолом слабозолотоносных метасоматитов, ожидаются запасы золота почти в 400 т [5]. Кроме того, в нашей стране были разведаны два других крупнейших месторождения: Майское (запасы золота ≈ 300 т) в Центрально-Чукотской золотоносной провинции и Благодатное (404 т) на Енисейском кряже. Последнее «удачно» расположено в 25 км южнее эксплуатирующегося крупнейшего Олимпиадинского месторождения.

Таблица 2

**Пример расчета годовой добычи для ГПТ (главным образом меднопрофировых) месторождений меди**

Страна	Название месторождений	Годовая добыча золота, т	
		минимальная	максимальная
Канада	Кемесс-Саут, Кемесс-Норт, Просперити, Маунт-Миллиган, Галор-Крик, Коппер-Маунтин, Афтон, прочие	20	30
США	Бингхем, Бьют, Бисби, Гаспе, Кетхарт-Селли, Вудсток, Маринер, месторождения медного пояса Аризоны: Ахо, Багдад, Моренси, Майами, прочие	30	35
Мексика	Ла-Каридад, Кананеа-Дулут, Эль-Арко, Сан-Николас, прочие	5	10
Панама, Гватемала	Петакилья, Серро-Колорадо, прочие	3	5

Страна	Название месторождений	Годовая добыча золота, т	
		минимальная	максимальная
Эквадор	Чауча, Кьюмсакоча, Мирадор-Норте	3	5
Перу	Конга, Серро-Верде, Тамбо-Гранде, Токепала, Морокоча, Куправилка, Серро-Корона, Ла-Арена, прочие	20	25
Чили	Эль-Морру, Ла-Фортуна, Эль-Гуэльва, Антофагаста, Эсперанса, Эль-Сальвадор, Потрерильос, прочие	15	20
Аргентина	Бахо-де-ла-Алумбрера, Агуа-Рика, Сан-Хорхе, Ма-Вида, прочие	17	20
Бразилия	Соссегу, Кристалину, Чапада, прочие	15	15
Мавритания	Гелб-Могрейн, Тасиаст	3	5
Эритрея	Биша, Ади-Нефас, Хамбок, прочие	5	6
Швеция	Аитик, Гарпенберг, Кристианесберг, Ренстрём, прочие	5	5
Румыния, Сербия, Болгария	Дева, Бор, Майданпек, Челопеч, Елацита, прочие	4	6
Россия	Гайское, Михеевское, прочие	10	15
Казахстан	Коунрад, Варваринское, Суздальское, Актогай, Коксай, Аксуг, прочие	12	15
Узбекистан	Кальмакыр, Сары-Чеку, Джиланда, Дальнее, прочие	15	20
Китай	Десин, Цзыцзиньшань, Невтуньмынь, Сетуньмынь, Добаошань, Хуньчун, Хаопингоу, Цайцзяинь, прочие	30	35
Лаос	Сепон	3	5
Филиппины	Атлас, Сипалай, Санта-Томас, Санта-Нино, Маркоппер, Манкайан, Дидипио, Рапу-Рапу, Бойан-ган, Тампакан, прочие	15	18
Индонезия	Грасберг, Бату-Хиджау, прочие	80	100
Папуа-Новая Гвинея	Ок-Теди, Яндерра, Каинанту, Фрида-Ривер, прочие	15	25
Австралия	Кейдиа, Олимпик-Дем, Коппер-Хилл, Карго, Маунт-Эллиот, Проминент-Хилл, Эрнст-Генри, Кобар, прочие	35	40
ИТОГО		360	470

Примечание. Составлена по данным сборников: Mining Journal, Mining Magazine, Metal Bulletin, Thomson Reuters (GFMS), статистических материалов ИАЦ «Минерал», [9].

За рубежом также обнаружен и разведан ряд других крупнейших месторождений аналогичного типа: эксплуатирующееся сейчас Телфер, Австралия (с остаточными запасами золота 670 т [20], Кисладаг, Турция (более 420 т, содержание золота 0,9 г/т), Луло, Мали (почти 400 т, 4,6 г/т), Агафо, Гана (380 т, 1,9 г/т), Сигири, Восточная Гвинея (около 300 т, 0,7 г/т), Рио-Паракуту, Бразилия (690 т, 0,4 г/т) и др. [23].

Добыча благородного металла на месторождениях рассматриваемого ГПТ поднялась в мире к 2010–2011 гг. до 310–320 т (11,2 %). Это произошло почти исключительно за счёт ввода в эксплуатацию зарубежных объектов и роста добычи на действующих предприятиях. Очевидно, ввод в строй отечественных рудников ещё более укрепит позиции анализируемого ГПТ месторождений.

Большее значение приобрёл экономически важный ГПТ месторождений в регионально метаморфизованных (и рассланцеванных) терригенно-вулканогенных комплексах пород, слагающих в древних щитах позднеархейские складчатые пояса (табл. 1). К эксплуатируемому месторождению-гиганту Калгурли в Австралии «добавился» разведанный в венесуэльской части Южно-Американского щита Лас-Кристинас с участком Брисас (всего

1015 т золота с содержанием 0,7–1,03 г/т). Как и на «возрождающихся» месторождениях рудного поля-гиганта Поркьюпайн (Канада), руды обоих названных месторождений размещаются в метавулканитах основного состава. В Западной Австралии чётко проявилась тенденция доразведки месторождений, давно разрабатывающихся в складчатых поясах архейского щита. Доразведываются ранее считавшиеся забалансовыми бедные и убогие руды золота в кварц-сульфидно-анкеритовых метасоматитах. Как правило, они окружают мощными боковыми ореолами ранее избирательно извлекавшиеся богатые рудные тела. Прирост запасов золота оказался существенным – в крупных месторождениях Сент-Айвс, Паддингтон, Уоллеби, Вилуна, Джанди, Бронзевинг, Танами и других, запасы золота в каждом выросли до 100–200 т с содержанием благородного металла от 1,7 до 2,4 г/т [23]. На месторождении Боддингтон, где разрабатываются убогие на золото метасоматиты, в контуре планируемого карьера глубиной от 300 до 650 м дополнительно разведано ещё около 600 т золота (содержание 0,6 г/т). В освоение месторождения с такими бедными рудами вкладываются значительные инвестиции [1], так как при сохраняющихся высоких мировых ценах на металл эксплуатация достаточно выгодна.

В Канаде возобновил работу рудник на однотипном месторождении Детур-Лейк (более 510 т золота, 1,1 г/т), закрытый в конце прошлого столетия. В главном золоторудном поясе Абитиби на юге страны было доразведано рудное поле Кенедиэн-Малартик (до 300 т металла, 1,2 г/т). Возобновили работу давно заброшенные рудники на знаменитом рудном поле Поркьюпайн (ежегодно добывается несколько тонн металла). В северных провинциях страны были обнаружены средние месторождения сравнительно богатых руд (Мадрид, Мидоубэнк и многие др.).

В пределах Центрально-Африканского щита, в Конго, на территории бывшего Заира, зарубежные компании провели энергичную разведку и подсчитали запасы и ресурсы благородного металла в золоторудном узле Кибали – около 440 т, 4,2 г/т [23]. Наконец, даже в Европе, в северных районах Финляндии продолжается разведка крупнейшего месторождения Киттила вблизи границы с Россией (по названию ближайшего города). Выявлено более 460 т золота (с ресурсами) и с содержанием металла 3–5 г/т. В результате (табл. 1) запасы золота в рассматриваемом ГПТ месторождений поднялись до 6000 т (6,7 % от мировых), а добыча – до 330–340 т (почти 11,7 % от мировой).

Для сравнительно полно изученных эндогенных золоторудных месторождений рассмотренных первых четырех экономически важных ГПТ выявлен ряд закономерно повторяющихся геолого-структурных особенностей. Так, большинство крупных и все крупнейшие месторождения упомянутых выше типов отличаются теснейшей пространственной связью с рудоконтролирующими разломами высоких порядков, т. е. с умеренно протяжёнными и умеренно мощными нарушениями, либо затухающими по простиранию и вверх по восстанию, либо ограничивающимися разломами других направлений. При этом установлено [13], что почти все крупнейшие и тем более месторождения-гиганты (Мурунтау, Наталкинское, Калгурли, Поркьюпайн и др.) избирательно локализованы в пределах узких мобильных тектонических блоков. На названных рудоносных участках и участках, развитых в более крупных блоках, примыкающих к рудоконтролирующим разломам, четко установлено ограниченное проявление (редуцирование) интрузивных магматических образований. Обычно обнаруживаются только сравнительно маломощные дайки лампрофиров, диоритовых порфириров и сиенит-порфириров, а в архейских месторождениях, кроме того, кварцевых альбитофиров и порфириров. В результате рудоносные участки месторождений отличаются однообразием, монотонностью слагающих их пород, однородным строением.

Скорее всего, именно это обстоятельство – отсутствие сменяющихся пород с различными прочностными свойствами, способствует формированию в пределах месторождений протяжённых и мощных масштабных трещинных нарушений: а) систем многочисленных, сменяющих одни другие рядовых рудовмещающих разрывов, скорее всего, у наследующих зоны разломов в фундаменте; б) рудоносных разломов и зон рассланцевания; в) пучков трещинных нарушений. При этом рядовые разрывы, образующие системы и пучки, выступают в одних случаях в качестве оперяющих блокообразующие и прочие рудоконтролирующие разломы. В других случаях – это самостоятельные разрывы, проявляющиеся между блокообразующими или между отделяющимися от последних поперечными нарушениями. В песчанико-глинистосланцевой, песчанико-филлитовой, терригенно-карбонатной рудовмещающих средах, в рассланцеванных архейских метавулканитах (чаще основного состава) рудоносные разрывы образуются группами, повторяясь на разных участках месторождений.

Масштабные рудовмещающие трещинные нарушения выделенных трех типов закладываются задолго до проявления оруденения, сочетаются с другими дорудными разрывами, ограничиваются или смещаются ими, оставаясь еще неминерализованными, «сухими» трещинами [14]. Проявлению оруденения в крупнейшем и гигантском масштабах нередко способствует формирование протяженных и широких боковых ореолов дорудных метасоматитов, сопровождающих «традиционные» золоторудные тела сравнительно высокосортных руд. Для месторождений глубинного генезиса – это образования преимущественно сульфидно-кварцевого, а для близповерхностных – кварц- и халцедон-адуляр-гидрослюдисто-сульфосольно-сульфидного, а также джаспероидного состава. Метасоматиты включают редкую «межпрожилковую» вкрапленность золотосодержащих рудных минералов и подчиненные маломощные (сантиметры, доли сантиметров и волосовидные) рудные прожилки. При этом формируются убогие вкрапленные и прожилково-вкрапленные руды с содержанием золота от  $< 1$  до 2 г/т.

Возвращаясь к анализу состояния прочих важных ГПТ месторождений, необходимо отметить существенно возросший потенциал месторождений, избирательно использующих сравнительно хрупкие (компетентные) геологические образования – малые интрузивы, пояса и серии даек. Указанный тип месторождений перешёл в разряд экономически важных. Действительно, запасы золота в месторождениях, принадлежащих к этому типу, увеличились до 3400 т, достигнув почти 4 % от мировых (табл. 1), являющихся, по расчётам, границей для экономически важных типов золоторудных объектов [10]. Лидером типа является осваиваемое золоторудное месторождение-гигант Донлин-Крик. Локализовано оно в песчанико-глинистосланцевых мезозоидах Аляски (США), в протяженном (около 8 км) поясе сближенных даек риодацитовых порфиров и подчиненных базальтовых порфиритов. Пояс и связанное с ним оруденение примыкает, а частью размещается в 1–1,5 км юго-восточнее рудоконтролирующего разлома Крукед-Крик [13]. Разведано 1210 т золота с содержанием металла 2,7 г/т [21, 23]. Сходную позицию и рудоносную трещинную структуру имеет, видимо, крупнейшее китайское месторождение (или рудное поле) Линлун-Фушань, прослеживающееся в гранитоидном интрузиве в виде рудоносной трещинной системы, протягивающейся на 6–8 км. ([12], рис. 6, 17, 24). Мощность золоторудных зон колеблется от нескольких долей до 286 м, содержание золота в среднем 6,3 г/т. По оценке авторов, остаточные запасы золота, скорее всего, достигают здесь более 100–150 т. В малых интрузивах размещаются также эксплуатирующиеся руды других крупнейших месторождений: Сукари, Египет (около 340 т благородного металла с содержанием

его 1,7 г/т), Васильковское в Казахстане (до 430 т), Чармитан в Узбекистане (более 210 т, 8 г/т), Ливенгуд в США. Добыча золота из руд этих и принадлежащих к рассматриваемому ГПТ других крупных месторождений (например, Ред-Лейк, Канада, Форт-Нокс, США, Линлун, Тайшань и Лаованьчжай, Китай и др.), а также рядовых, пока невелика – примерно 100 т, но с вводом в строй месторождения Донлин-Крик, выходом на проектную мощность месторождений Сукари, Васильковского, Чармитан, она, без сомнения, увеличится более чем наполовину.

Наконец, снизилось значение одного из интереснейших и экономически важных ГПТ месторождений – джаспероидных руд золота в терригенно-карбонатных комплексах пород. Напомним, что рудные тела этих месторождений близповерхностного генезиса, традиционно называемых «карлинскими», заключают тонкое и дисперсное золото. Они широко проявлены во внутриконтинентальных складчатых поясах палеозойского штата Невада, США. Рудные тела здесь нередко приурочены к пучкам согласных трещинных нарушений (например, месторождение Карлин). Лидер типа – месторождение-гигант Голдстрайк (остаточные запасы золота 460 т с содержанием 5,8 г/т [23]) приурочено к мощному и протяженному пучку секущих разрывов. Некоторые другие крупные золоторудные объекты (в частности, Гетчелл–Теркуаз–Ридж) размещаются в комбинированных трещинных структурах, в которых секущие нарушения сочетаются с согласными [12]. К сожалению, за прошедшие 8–10 лет в Неваде обнаружено только два новых существенных, экономически значимых месторождения. Это «слепое» месторождение Кортес-Хилл с запасами золота 170 т при содержаниях 1,8–3,3 г/т и с ресурсами до 345 т. Кроме того, доразведывается месторождение Хайкрофт (Huscroft) с запасами золота 70 т (содержание 0,4 г/т) и ресурсами металла 320 т [23].

В других аналогичных по типу золотоносных провинциях земного шара подобные крупные месторождения редки. В России к ним, по мнению авторов, принадлежит энергично разрабатываемое (до 30 т золота в год) и поэтому быстро истощающееся крупнейшее месторождение, заключенное в горизонте протерозойских слюдисто-карбонатных сланцев Енисейского края – Олимпиадинское. Здесь главное рудное тело мощной аркообразной залежи, согласной со слоистостью горизонта карбонатных сланцев, с шарниром круто погружающимся на северо-восток, проявлено под тектоническими поверхностями структурной постройки типа «островерхой крыши» (Восточный участок). Она образована двумя смыкающимися разломами противоположного падения ([5], рис. 14, 15). Менее значимые, также согласные со слоистостью сланцев золоторудные залежи заключены в Третьей рудной зоне (Западный участок). На обоих участках присутствуют близповерхностные руды джаспероидного типа, с тонкодисперсным золотом, сопровождающиеся низкотемпературными бертьеритом и антимонитом. Кроме последнего месторождения, лишь во внутриконтинентальных палеозоидах Южного Китая, в сланцево-карбонатных породах, было обнаружено и недавно предварительно разведано месторождение Цзиньфын с суммой запасов и ресурсов золота более 150 т (при содержании металла 4,1–5,3 г/т). Джаспероидные руды месторождения также контролируются секущими и сочетающимися с ними согласными («пластовыми») разрывами [12]. Все другие находки в Китае (месторождения Dongbeizhai, Qiaoqiaoshang, Yaxi-ang и др.) представляют немногочисленные рядовые золоторудные объекты.

Вместе с тем в США, где сосредоточено большинство месторождений рассматриваемого ГПТ, за последние 8–10 лет из руд получали ежегодно 70–75 % извлекаемого в стране золота, т.е. от 160 до 200 т. Учитывая изложенное, авторы подсчитали, что погашение за-

пасов золота (с учётом их частичного пополнения) к 2010–2011 гг. составило для ГПТ не менее 700 т. Запасы золота в данном ГПТ уменьшились в мире до 3100 т (или почти до 3,5 % от мировых), добыча – до 220–230 т, а её доля – до 7,8 % (табл. 1).

В группе второстепенных геолого-промышленных типов месторождений золота (эндогенного и экзогенного классов) существенных изменений за последние 8–10 лет не произошло. Число выделенных ГПТ месторождений золота сокращено авторами до шести в связи с переводом ГПТ месторождений в хрупких геологических образованиях в группу экономически важных типов и объединения месторождений кор выветривания и зон окисления сульфидсодержащих руд в один ГПТ. Только сравнительно редкие крупные месторождения золота (около или более 100 т) характеризуют анализируемые типы (табл. 1).

При сопоставлении выделенных в 2010–2011 гг. шести второстепенных ГПТ с аналогичными типами 2003 г, выясняется, что запасы золота в группе увеличились примерно на 1000 т. Добыча золота выросла с 430 т до 560–600 т (табл. 1). Наибольший прирост запасов (на 600 т) может быть отмечен для типа месторождений, приуроченных к тектонически деформированным эндо- и экзоконтактам интрузивных и гранитогнейсовых массивов. В нашей стране примером этого типа могут служить давно известные и некоторые отрабатываемые месторождения: Зун-Холбинское, Барун-Холбинское, Школьное, Ключи, Итака, Пионер в Приамурской провинции и др. [5], за рубежом – Термула (Западная Австралия), приуроченная к тектоническому контакту штока трондьемитов и примыкающих метавулканитов, с запасами золота более 100 т [16], Сухайбарат в Саудовской Аравии, Тапарко-Буррум в Буркина-Фасо, отработанный Глоб-Феникс в Зимбабве и др. По подсчетам авторов из месторождений этого типа в мире добывается достаточно большое количество золота – до 140–150 т ежегодно. Наоборот, «сузил» свои позиции ГПТ месторождений, локализованных в покровных вулканитах фанерозойских и протерозойских складчатых поясов. Примером таких месторождений могут служить отечественные Миндякское и Мелентьевское месторождения на Южном Урале, а также Центрально- и Восточно-Березниковские в этом же регионе, для которых андезитово-дацитовые туфы выступают обычной рудовмещающей средой при тесной пространственной связи оруденения с рудоконтролирующими разломами. За рубежом интересным примером являются месторождение Себодала в Сенегале, Омай в Гайане [23, 24] с запасами золота около 100 т (остаточные – менее 20 т), Вайт-Маунтин в провинции Гириин, Китай, Маунт-Морган в Австралии и др. Отметим, что из австралийского месторождения было извлечено к 1968 г. до 220 т металла [8]. Месторождения, принадлежащие к ГПТ аркообразных и седловидных золоторудных тел в шарнирах складок песчанико-глинистосланцевых пород (табл. 1), по расчетам, довольно существенно усилили свои позиции. Это связано в основном с тем, что в «заброшенных» золоторудных узлах Бендиго (добыто 693 т металла) и Балларат (410 т) в Юго-Восточной Австралии [6], за счёт высоких цен на металл, почти через полвека вернулись к шахтной добыче сохранившихся аркообразных жильных золоторудных тел. По различным оценкам в обоих узлах возможно извлечение до 200–300 т золота. Подобные, но небольшие месторождения известны также в России (Совиное в Колымо-Чукотской провинции [5]), в Новой Шотландии (Порт-Дафферин и др.), в Британской Колумбии (Канада) и др.

Оставшиеся два ГПТ эндогенных месторождений – золото-скарновых и локализованных в глубокометаморфизованных комплексах древних пород – сохранили свои прежние позиции (табл. 1). Типичными примерами их в нашей стране служат скарновые Синюхинское в Горном Алтае, Новогоднее Манто на Полярном Урале, а также Тарор в Таджикистане. За рубежом к этому типу принадлежит хорошо известное месторождение Фортитюд в

штате Невада, США, [22] с запасами и добытым золотом более 60 т при содержании его в рудах 5,1 г/т, а также Ити в Кот-д'Ивуаре, Тинтайя в Перу и др.

В глубокометаморфизованных кристаллических породах локализованы мелкие месторождения в Китайском архейском щите (например, Гаогунг и др., [6]), до сих пор эксплуатирующееся в Зимбабве месторождение Ренко, залегающее в гранулитах катархея, а также Новая Саза, Резербек в гнейсах и гранито-гнейсах Танзанийско-Зимбабвийского сектора Южно-Африканского щита, некоторые мелкие месторождения в кристаллических породах «рамы» Австралийского и Бразильского щитов и др.

Для экзогенных месторождений объединенного типа – локализованных в корях выветривания и зонах окисления сульфидсодержащих руд (как известно, расположенных выше, на «головах» первичных руд), отмечено определенное укрепление позиций (рост запасов и добычи), несмотря на отработку золотоносных кор на отечественном Олимпиадинском месторождении, на Серра-Пеладе в Бразилии и других месторождениях. Наиболее интересные примеры глубоких линейных зон окисления в России демонстрирует месторождение Пионер в Приамурской провинции (запасы золота вместе с ресурсами 111 т, 1,6 г/т [5], в том числе, в окисленных рудах – около 30 т), а также Муртыкты на Урале. Рост запасов, а также добычи золота из руд данного типа произошел, главным образом, за счёт разведки и эксплуатации окисленных руд на ряде месторождений в экваториальных странах – Эквадоре (например, на Кимсакоче, а также за счёт руд верхних горизонтов крупнейшего месторождения Фрута-дель-Норте и др.), в Перу (Ле-Рескатадо и др.), Бразилии (Фазенда-Писон, Итабира и др.). Особенно распространены рудоносные коры выветривания в регионе Амазонки, где из латеритных «шляп» извлекают золото, вольфрам и другие металлы [16]. Месторождения кор выветривания и зон окисления известны также в Буркина-Фасо, Гане, ДРК (бывший Заир) и Центрально-Африканской Республике (например, Пассендеро с 83 т золота при содержании 2,6 г/т [23], в том числе около 30 т в окисленных рудах), в южных областях Китая и т.д.

## Выводы

1. Оправдываются представления выдающегося геолога-ученого В.М. Крейтера, который считал, что для большинства месторождений различных металлов, в том числе золота, могут быть выделены экономически важные ГПТ месторождений. Каждый из них характеризуется высокими мировыми долями запасов и добычи золота, а также исключительной принадлежностью к ним крупнейших месторождений и месторождений-гигантов. Такие золоторудные объекты отличаются длительной и стабильной добычей крупных объёмов золота. Поиск их, разведка и эксплуатация самыми передовыми и малозатратными методами поможет полностью удовлетворять возрастающие потребности мирового сообщества в золоте.

2. В настоящее время достаточно надёжно определены критерии и принципы выделения экономически важных ГПТ месторождений золота. Помимо геолого-структурного сходства и локализации в определенных структурно-вещественных комплексах пород, месторождения каждого экономически важного типа характеризуются принадлежностью к нему 2–3 месторождений-гигантов (с запасами золота более 1000 т), нескольких (обычно 5–8) крупнейших золоторудных объектов (от 300 т до 850 т металла) и 10–20 крупных месторождений (от 100 т до примерно 280 т). При этом каждый из типов отличается от второстепенных высокой долей мировых запасов золота (около или более 4 %) и добычи (обычно не менее 6 % от мировой).

3. Руды большинства крупных, всех крупнейших и тем более месторождений-гигантов приурочены к масштабным рудовмещающим нарушениям, которые представлены тремя типами: а) преобладающими среди крупнейших месторождений рудоносными трещинными пучками значительной протяженности со сближенными разрывами и крупными мощными рудными телами-лидерами; б) выдержанными отрезками рудоносных разломов значительной мощности и мощными зонами рассланцеванных и местами брекчированных, перемятых и будинированных пород; в) реже встречающимися протяженными (несколько километров) и широкими (до многих сотен метров) рудоносными трещинными системами многочисленных рядовых разрывов, сменяющих одни другими по простиранию и на глубину.

4. Коренным образом изменилась позиция ГПТ месторождений золотоносных конгломератов метаморфогенного класса. Они утратили своё доминирующее значение в мире, продолжавшееся вплоть до 2007 г., хотя все же, как ГПТ сохранили своё важное экономическое значение (8,6 % к мировой добычи в 2010–2011 гг.).

Среди выделенных с 1988 г. экономически важных ГПТ месторождений золота эндогенного класса укрепили свои позиции, нарастили запасы и увеличили добычу благородного металла три ГПТ месторождений: 1) золотосодержащие, главным образом медно-порфириновых руд; 2) развитые в углеродистых комплексах песчанико-глинистосланцевых и песчанико-слюдистосланцево-филлитовых пород; 3) локализованные в регионально метаморфизованных (и рассланцеванных) терригенно-вулканогенных комплексах пород архейских зеленосланцевых поясов.

Стабилизировались запасы ГПТ близповерхностных месторождений золотосеребряных и золототеллуридных руд в породах вулканотектонических построек. При этом запасы этого типа сохранились на фоне энергичного роста добычи руд и золота.

В группу экономически важных ГПТ введён перспективный тип месторождений в хрупких компетентных геологических образованиях – малых интрузивных штоках, сериях и поясах сближенных даек. Наметилось снижение экономического значения ГПТ близповерхностных месторождений джаспероидных руд пластового, секущего и комбинированного типов в терригенно-карбонатных комплексах пород. Это объясняется существенным превалированием погашения запасов джаспероидных руд с дисперсным золотом в основном золотодобывающем районе Невада (США) над обнаружением новых золоторудных объектов как здесь, так и в других золотоносных провинциях мира.

5. В группе второстепенных ГПТ месторождений золота укрепил свои позиции тип рудных объектов, размещающихся вдоль тектонически деформированных контактов интрузивов. Возросла доля металла, получаемого из месторождений, использовавших для локализации руд аркообразные и седловидные складки песчанико-глинистосланцевых пород. В связи с усилением разведки месторождений в приэкваториальных странах несколько увеличились запасы золота в корах выветривания и интенсивно проработанных и глубоко распространяющихся зонах окисления.

## Литература

1. Беневольский Б.И., Мызенкова Л.Ф. Глобализация мировых инвестиционных потоков в «золотые» проекты // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2012. № 6. С. 73–81.
2. Бородаевский Н.И. Материалы по методам изучения структур и геологической перспективной оценки месторождений золота. Тр. ЦНИГРИ. В. 35. М., 1960. 417 с.

3. Бородаевский Н.И. Структурные критерии оценки месторождений золота // Тр. ЦНИГРИ. В. 87. М., 1970. С. 237–247.
4. Вестник золотопромышленника. М.; 2007, 1 окт. Бюллетень № 35. С. 8–15.
5. Золоторудные месторождения России. / Отв. ред. М.М. Константинов. М.: ООО «Акварель», 2010. 349 с.
6. Константинов М.М. Золоторудные провинции мира. М.: Научный мир, 2006. 355 с.
7. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 332 с.
8. Некрасов Е.М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. М.: Недра, 1988. 286 с.
9. Некрасов Е.М. Крупные эндогенные золоторудные месторождения поддерживают высокий уровень добычи золота в мире // Геология рудных месторождений. 2005. № 3. С. 203–210.
10. Некрасов Е.М. Ещё раз о значении учения В.М. Крейтера о геолого-промышленных типах рудных месторождений // Изв. вузов. Геология и разведка. 2006. № 3. С. 32–35.
11. Некрасов Е.М. Вклад Н.И. Бородаевского в изучение трещинной структуры золоторудных месторождений // Изв. вузов. Геология и разведка. 2007. № 3. С. 37–41.
12. Некрасов Е.М. Рудовмещающие элементы трещинной структуры крупнейших эндогенных месторождений золота // Изв. вузов. Геология и разведка. 2011. № 3. С. 41–54.
13. Некрасов Е.М., Дудкин Н.В. Главные особенности геологии, размещения и структуры золоторудных месторождений-гигантов // Изв. вузов. Геология и разведка. 2012. № 3. С. 33–45.
14. Некрасов Е.М., Дудкин Н.В. Ревизия слабозолотоносных околорудных метасоматитов с целью увеличения запасов золота крупных и крупнейших месторождений. // Изв. вузов. Геология и разведка. 2013. № 4. С. 21–34.
15. Angelica Romulo S., Costa Marcondes L., Pol-Imann H. Gold, wolframite, tourmaline-bearing lateritized gossans in the Amazon region, Brazil // Journal Geochem. Exploration, 1996. 57. № 1-3. P. 201–215
16. Duuring P., Love R.J. A trust ramp model for gold mineralization at the archaean trondhiemite-hosted Tarmoola deposit // Econ Geol., 2001. 96. № 6. P. 1379–1396.
17. Mining Journal. 1987. 328. № 8435. P. 517.
18. Mining Journal. 2001. 337. № 8662. P. 410.
19. Mining Journal. 2002. 338. № 8677. P. 215.
20. Mining Journal. 2008, 15 feb., P. 7.
21. Myers G.L. Alteration zonation of the Fortitude gold skarn deposit, Lander county, NV // Mining Eng. (USA). 1990. 42. № 4. P. 3607368.
22. Standard Charter Bank Equity Reserch / Metals and Mining. In Gold we trust // A definitive study of Gold main production from 2011 to 2015. Hong Kong, 2011. Appendix 2. 11 p.
23. Voicu G., Bardoux M., Michaud Y. Metallogenic environment of the Omai gold deposit, Guyana // The 31-st Internal. Geol. Congress. Rio de Janeiro, aug. 6–17, 2000. Rio de Janeiro. Geol. Surv. Braz. 2000. P. 3614.
24. Zhang Zhuru, Cheng Shizhen, Tang Bo. Ore-search perspective for superlarge gold deposits in the Jiaolai Basin of the Jiaodong gold metallogenetic domain. 2000. 19. № 4. P. 289–300.

ФГУНПП «Аэрогеология», ИАЦ «Минерал»  
(117485, г. Москва, ул. Академика Волгина, д. 8, стр. 2;  
e-mail: necrasov@mineral.ru, dudkm@mineral.ru)

Рецензент – Г.Н. Пилипенко

## ПОИСК И РАЗВЕДКА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕДПОСЫЛОК

*(Руды и металлы. 2019. № 1. Фрагмент статьи).*

К 2015 г оказалось, что подавляющая доля запасов золота (13,5 тыс. т из примерно 90 тыс. т мировых) сосредоточена в однородных и мощных песчанико-глинистосланцевых фанерозойских и в протерозойских кварцито-филлитовых толщах ([6, 8]), то есть в однородной рудовмещающей среде. В том случае, когда в такой среде оказываются заключенными пласты или пачки хрупких песчаников, пояса даек и штоков (например, Каральвеемское месторождение), а также легкозамещаемых, скорее всего, пористых карбонатных пород (золото-скарновые месторождения Новогоднее Манто, Синюхинское, Натальевское), именно в них развивается сеть рудоконтролирующих и пространственно связанных с ними рудовмещающих разрывов. Зоны их (и, в том числе, скарны) нередко залечиваются рудой. Аналогичная ситуация наблюдается также при проникновении рудоконтролирующих разломов и отделяющихся от них мощных боковых ветвей – сколов в контактовые зоны интрузивов (Зун-Холбинское месторождение, Чармитанское в Узбекистане [2, 11]), в непротяженные пояса штоков интрузивных и субвулканических пород, в пояса даек (крупнейшее Майское месторождение, Степняк в Казахстане, гигант Донлин-Крик на Аляске, США), в участки осложнения рудовмещающей глинистосланцевой фанерозойской и протерозойской кварцито-филлитовой среды некками, жерлами и силлами вулканогенных пород, трубками эруптивных и взрывных брекчий (Багио на Филиппинах, Кочбулак в Узбекистане [11]). Все перечисленные сланцевые и филлитовые породы заключают не менее 15 % мировых запасов золота (из примерно 90 тыс. т мировых на конец 2015 г по сведениям [5, 6, 7, 8, 9, 10]). В них заключено подавляющее большинство крупнейших месторождений (с запасами более 300 т металла и месторождения-гиганты с запасами более 1000 т). В песчаниково-глинистосланцевой среде (толщах) фанерозоя и в верхнепротерозойских песчаниково-сланцисто-кварцито-филлитовых толщах локализовано по 5,5 тыс. т золота или примерно по 40 % запасов в сланцевых и филлитовых средах. В них залегают такие месторождения-гиганты, как Мурунтау, Наталкинское, Сухой Лог, Олимпиадинское, выработанный Хомстейк (США) и др. [5, 6].

В филлитовых толщах нижнего протерозоя (с прослоями кварцитов) размещаются месторождения – гиганты Ашанти (Гана) и крупнейшие месторождения Агафо, Садиола и Луло в Мали, австралийский Телфер.

Сопоставимые со сланцевыми запасы золота (не менее 13,5–14,0 тыс. т) заключены в близповерхностных месторождениях золотосеребряных и теллуридных руд. Представителями их являются такие гиганты, как лидер Янакоча (Перу), Лихир (или Ладолем) в Папуа-Новая Гвинея, Крипл-Крик в США, Пуэбло-Вьехо в Доминиканской Республике. Среди крупнейших месторождений можно назвать Поргера в Папуа-Новой Гвинее, Гуанахуато

и Пеньяскито в Мексике, Паскуа-Лама и Веладеро (Чили-Аргентина), Купол и Двойное в России, Раунд-Маунтин в США, Рошиа-Монтане в Румынии и др. Месторождения этого типа отличаются развитием оруденения на двух рудоносных уровнях – верхнем и нижнем. Руды верхнего уровня, которые обычно разведываются, образуются и обнаруживаются в нескольких сотнях метров от палеоповерхности и от современной поверхности (при малой эрозии). Это золотосеребряные и теллуридные руды ритмично-полосчатой, друзовой, крустификационной текстур. Руды нижнего уровня – брекчиевой, сетчатой, вкрапленной, прожилковой, массивной текстуры золотомеднопорфировые и теллуридные, ничем не отличаются от руд глубокосформированных месторождений. Руды нижнего уровня обычно не разведываются, так как они залегают не менее чем в 600–1000 м ниже современной поверхности и глубже и есть риск не вскрыть их первыми разведочными скважинами.

Более 5,0–5,5 тыс. т золота локализовано в метаморфических кварц-серицит-хлоритовых и амфиболовых сланцах позднего архея, в том числе в лидере типа – гиганте Калгурли (Австралия), крупнейших месторождениях Детур-Лейк. Хемло и Йеллоунайф в Канаде, на месторождении Лас-Кристинас в Венесуэле, Гейта и Буланхулу в Танзании, Киттила в пограничной Финляндии и др.

Значительные запасы золота, примерно 2,5–3,0 тыс. т связаны с джаспероидными месторождениями тонкого золота в терригенно-карбонатных толщах палеозоя. Скорее всего, более 80 % запасов этих руд локализовано в комплексе пород и месторождениях штата Невада в США, в том числе, в лидере типа – Голдстрайке, рядовых и крупнейших месторождениях Карлин, Кортец-Хилл, Джеррит-Каньон, Голдкворри, Мейкл и др.

Понятно, что в комплексе пород, заключающих крупнейшие запасы золота, обнаруженные месторождения наиболее перспективно.

## Литература

1. Бородаевский Н.И. Материалы по методам изучения структур и геологической перспективной оценки месторождений золота. //Тр. ЦНИГРИ. М. 1960. Вып. 35. 417 с.
2. Золоторудные месторождения России (Отв. редактор Константинов М.М.). 000 «Акварель». 2010. 349 с. Приложения.
3. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М.: Госгеолтехиздат. 1956. 332 с.
4. Наталенко В.Е. Месторождение Дукаг // Многофакторные прогнозно-поисковые модели месторождений золота и серебра Северо-Востока России (под ред. Константинова М.М., Розенбаума И.С., Зиннатулина М.З.). Изд. ЦНИГРИ. 1992. С. 112–115.
5. Некрасов Е.М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. М.: Недра. 1988. 286 с.
6. Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А., Дудкин Н.В. Особенности геологии и структуры крупнейших золоторудных месторождений эндогенного класса. М.: Астрей-центр, 2015. 191 с.
7. Некрасов Е.М. Ещё раз о значении учения В.М. Крейтера о геолого-промышленных типах рудных месторождений // Изв. вузов. Геология и разведка. 2006. № 3. С. 32–35.
8. Некрасов Е.М. Запасы и добыча золота в начале XXI в. из месторождений главных геолого-промышленных типов // Изв. вузов. Геология и разведка. 2013. № 6. С. 45–56.
9. Некрасов Е.М. Возможное проявление слепого оруденения на нижних уровнях месторождения Балей и механизм формирования богатых руд на близповерхностных месторождениях золота и серебра. // Изв. вузов. Геология и разведка. 2018. № 2. С. 40–51.
10. Некрасов Е.М. О «шаге размещения» и прогнозировании золоторудных тел жильного типа // Изв. вузов. Геология и разведка. 2018. № 4. С. 40–50.
11. Рудные месторождения Узбекистана. (Отв. ред. Шалкубов Т.Ш.). Золоторудные месторождения. // Чармитанское месторождение. Ташкент. 2001. С. 202–211.
12. Стружков С.Ф., Константинов М.М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Научный мир. 2005. 320 с. Приложения.
13. Тимофеевский Д.А. Геология и минералогия Дарасунского региона. М.: Недра. 1972. 260 с.

## РАЗДЕЛ 2

В. М. БИТЦОВ

РОЛЬ Ф. М. ВОЛЬФОНА В УЧЕБНОМ  
О РУДОКОНТРАСТНЫХ УЛОЖИХ РАЗНОМАХ

# ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИИ И СТРУКТУРЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВАЖНЕЙШИХ

## ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПОВ

## РОЛЬ Ф.И. ВОЛЬФСОНА В УЧЕНИИ О РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИХ РАЗЛОМАХ

*Изложены представления и разработки крупного ученого-геолога Ф.И. Вольфсона о пространственной связи рудных месторождений трещинного типа с рудоконтролирующими региональными и локальными разломами. Показана также приуроченность месторождений к районам концентрации дорудных штоков, даек, субвулканических образований габбро-диорит-плагиогранитной, а в вулканогенных поясах – андезит-риолит-гранодиоритовой формаций. На примере золоторудных месторождений рассмотрено развитие в наши дни плодотворных идей Ф.И. Вольфсона, позволяющих наиболее экономично и быстро обнаруживать и вести разведку новых крупных золоторудных объектов.*

*(Известия вузов. Геология и разведка. 2008. № 2. С. 43–49).*

Прошло 55 лет с момента выхода из печати фундаментального труда Ф.И. Вольфсона «Проблемы изучения гидротермальных месторождений» [2]. Идеи этого крупнейшего геолога-ученого, лауреата Ленинской премии, на протяжении многих лет плодотворно воплощаются в жизнь его талантливыми учениками – академиком Н.П. Лаверовым, членами-корреспондентами РАН В.Н. Величкиным и Ю.Г. Сафоновым, профессорами В.Е. Бойцовым, А.В. Дружининым, В.И. Казанским и многими другими геологами.

Казалось, за прошедшее время многие представления Ф.И. Вольфсона о структурных условиях образования и размещения месторождений твердых полезных ископаемых, изложенные в книге, могли существенно измениться. Однако идеи и представления этого выдающегося ученого-геолога до сих пор помогают открывать новые рудные месторождения различных металлов. В своей книге Ф.И. Вольфсон основное внимание уделил связи оруденения с рудоконтролирующими нарушениями регионального и локального типов, с магматизмом, интрузивными и субвулканическими образованиями. Были рассмотрены и другие важные проблемы формирования гидротермальных месторождений такие, как глубина формирования и вертикальный размах оруденения, вещественный состав руд, дорудных метасоматитов и минеральная зональность оруденения. Одно из главных достоинств работы в том, что Ф.И. Вольфсон показал, каким образом геологическая обстановка размещения руд (которая может быть закартирована и изучена) позволяет наметить те глубинные условия, при которых происходит локализация руд. Надо сразу же сказать, что Ф.И. Вольфсон еще более 50 лет тому назад учитывал возможное участие в процессах рудообразования не только гидротермальных, но и минерализованных метеорных вод, особенно при формировании близповерхностных руд золота, серебра, сурьмы, ртути, урана и других металлов.

Учение о рудных месторождениях значительно продвинулось вперед. В значительной степени углубились знания о золоторудных месторождениях, которые формируются в результате проникновения рудоносных растворов и флюидов в разнообразные трещинные нарушения, включая их аркообразные и седловидные формы. Последние широко проявились в провинциях Бендига в Юго-Восточной Австралии [13] и Новой Шотландии в Канаде [10].

На примере золоторудных месторождений прокомментируем только две главных проблемы, затронутых в упоминаемой книге: 1) связь оруденения с рудоконтролирующими разломами, которые, по представлению Ф.И. Вольфсона, служат каналами для поднимающихся рудоносных растворов и флюидов; 2) благоприятные структурные условия, способствующие разгрузке рудоносных растворов и флюидов в верхней части земной коры, приводящие к обособлению промышленных руд.

Ф.И. Вольфсон [2] полагал, что региональные рудоконтролирующие разломы затрагивают своими глубинными частями очаговые области, в которых могут накапливаться в той или иной форме металлоносные растворы и флюиды. Разломы, которые, таким образом, могут рассматриваться также и как рудоподводящие, в глубоких частях земной коры являются «полузакрытыми», зонами пластического или хрупко-пластического течения. Сразу же надо сказать, что до сих пор под такими образованиями понимаются «корни» разломов, представляющие собой полосы деформирующихся, преимущественно сминающихся пород, зонки «течения», сравнительно «обогащенные» порами. В процессе тектонических движений сюда выжимаются, выдавливаются поровые растворы и флюиды. Выше по восстанию они втягиваются сначала в микротрещинные полости, перерастающие затем в макротрещинные, местами заполненные тектонической глиной трения, наряду с которой постепенно возрастает роль брекчий боковых пород. Такие трещинные нарушения более выдержаны по падению и «закрываются» или «полузакрываются» на флангах (где глина трения преобладает в «затирающихся» полостях). В результате вдоль зон региональных рудоконтролирующих (и рудоподводящих), а также вдоль зон менее протяженных локальных разломов образуется целая цепочка узлов, участков, перспективных (при благоприятных условиях) для локализации руд.

Менее протяженные локальные рудоконтролирующие разломы либо представляют собой ветви региональных, либо одновозрастные с ними опережающие боковые разломы, реже пересекающие нарушения сопряженной системы. Академик В.И. Смирнов рассматривал такие узлы в качестве рудных ловушек [4]. Действительно, именно они оказываются наиболее нарушенными разрывами (в том числе рудовмещающими), а развитые здесь породы могут быть осложнены сравнительно хрупкими образованиями, и поэтому интенсивно деформирующимися интрузивными, субвулканическими телами и дайками. Все они могут также выступать реакционноспособными образованиями, которые перспективны для возникновения метасоматических руд (например, на месторождении Эмперор, Фиджи [10]). В пределах таких ловушек возникают и *рудовмещающие* трещинные нарушения, локализирующие промышленные руды.

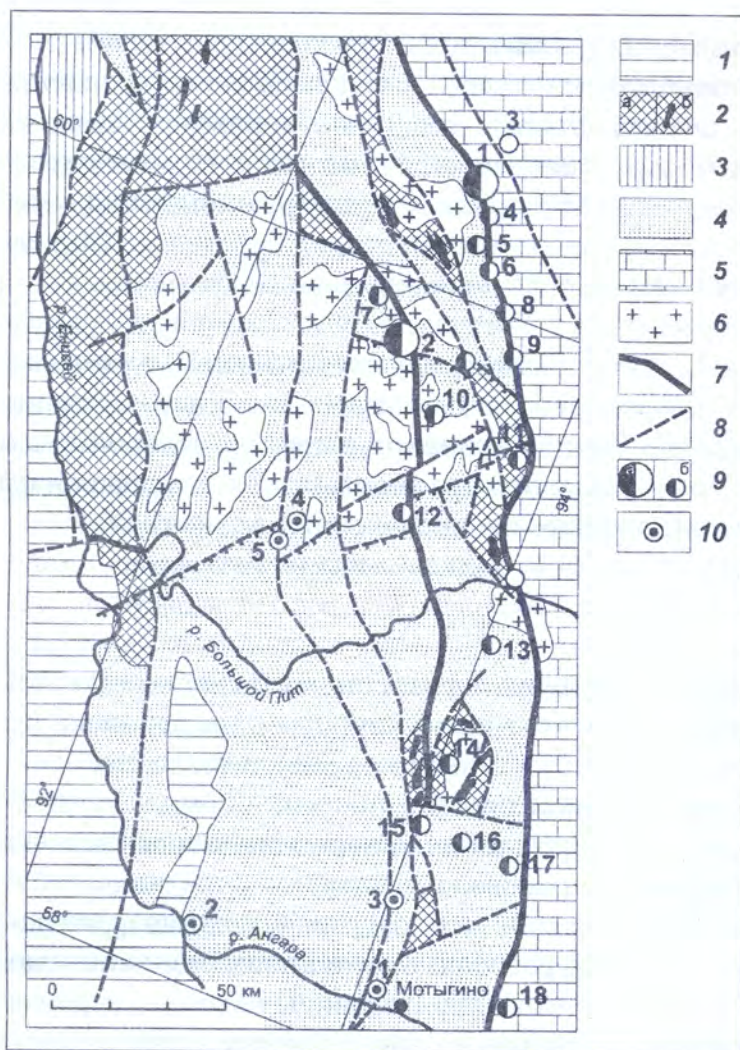
Нередко локальные разломы или сопутствующие им трещинные нарушения преобразуются в структурную связку парных разломов [1], заключающих масштабные скопления руд с крупнейшими запасами золота (месторождения Наталкинское (Россия), Багио (Филиппины), Крипл-Крик (США), Рошиа-Монтане (Румыния), Эль-Индия (Чили) и др.). Как давно отмечено многими геологами-рудниками для золоторудных месторождений [6, 8, 9, 11, 14], рудовмещающие разрывы пространственно тяготеют к протяженным перегибам

разломов, их разветвлениям, участкам отделения оперяющих или узлам пересечения диагональных и поперечных разломов. Благоприятными узлами выступают также скопления мелких интрузивных и субвулканических штоков, поля и пояса даек относительно хрупких пород. Понятие «хрупкость» (кстати, до сих пор не оцененное в геологии в физических величинах) Ф.И. Вольфсон [2] рассматривал как соотношение контактирующих и различно деформирующихся пород, из которых одна имеет более низкий предел прочности. При достижении её тектоническими напряжениями эта порода первой разрушается трещинами и в ней создаются условия для обособления руд.

Суммарно протяженность региональных зон, с которыми связано золотое оруденение, чаще составляет от нескольких десятков километров до 250–300 км, а вдоль Главного Филиппинского разлома золотое оруденение распространено на протяжении более чем 1300 км. Для Западной Австралии С.Д. Шер [13] отметил, что полосы (зоны) сменяющихся прибортовых и бортовых рудоконтролирующих разломов, проявленных вдоль границ трех основных золотоносных архейских поясов терригенно-вулканогенных метапород, непрерывно прослеживаются на протяжении 500–900 км. По своей сути все это – золоторудные пояса.

Локальные разломы преимущественно контролируют размещение линейных золоторудных узлов, а чаще – рудных полей. Установлено, что многие крупные (с запасами золота > 100 т) золоторудные поля и месторождения пространственно наиболее тесно связаны с флангами локальных рудоконтролирующих разломов протяженностью обычно от 10–20 до 30–50 км. Некоторые золоторудные тела и месторождения приурочены к трещинам локальных рудоконтролирующих разломов (например, месторождения Олимпиадинское, Советское, Неждановское (Россия), Кумтор (Киргизия), Васильковское (Казахстан), Зодское (Армения) и др.). Если в обе стороны от локальных рудоконтролирующих разломов золотое оруденение распространяется на расстояние до 5 км, то от главных «швов» и ветвей большинства региональных разломов месторождения золота локализируются на предельном расстоянии 10–20 км. Зоны распространения месторождений вдоль рудоконтролирующих разломов по сути могут считаться оруденелыми приразломными, в пределах которых вероятность открытия промышленных руд наиболее высока. Нередко месторождения золота (как и других металлов) локализируются только в каком-то одном боку рудоконтролирующих разломов (висячем или лежащем, наиболее мобильном, деформированном).

В этом отношении наглядным примером служит складчато-глыбовая постройка Енисейского кряжа с крупнейшими золоторудными месторождениями – Олимпиадинским, Советским и Благодатным [5, 7], которая протягивается в северо-западном направлении более чем на 400 км. Развилась она на кристаллических породах протерозойского (дорифейского) фундамента, которые включают вдоль западной границы пояс гипербазит-базитовых массивов. Древние протерозойские породы местами обнажаются на поверхности в небольших горстах, которые сформировались в осевой части постройки (рис. 1). Большая доля золоторудных месторождений размещается в пределах четко выделяемого линейного пояса, контролирующегося протяженным Главным разломом северо-западного простирания [5]. Он образовался вблизи северо-восточной границы постройки и является крупноамплитудным нарушением (суммарная субвертикальная амплитуда > 2 км). Расположенные восточнее его карбонатные и терригенно-карбонатные породы контактируют с западным комплексом более древних рудоносных пород (протерозойскими кристаллическими сланцами и гнейсами, рифейскими слюдисто-кварцевыми сланцами, филлитами, терригенными породами, гранитоидами). На широте месторождения Советское Главный



**Рис. 1.** Схема размещения основных месторождений золота в Енисейском кряже, план [7]:

1 – породы платформенного комплекса; 2 – кристаллические породы дорифейского фундамента (а), в том числе заключающие гипербазит-базитовые массивы (б); 3–5 – рифейские образования: 3 – эвгеосинклинальные комплексы осадочно-вулканогенных и интрузивных пород; 4 – субгео-синклинальные комплексы вулканогенно-осадочных пород (в том числе рудовмещающие кварц-хлорит-серицитово-сланцевые, кварц-серицит-карбонатно-сланцевые, карбонатно-филлитовые и др.); 5 – миогеосинклинальные комплексы осадочных пород, преимущественно карбонатных формаций; 6 – позднерифейские гранитоиды (дорудного татарско-аяхтинского комплекса); 7, 8 – рудоконтролирующие разломы: 7 – регионального; 8 – локального типов; 9 – золоторудные месторождения: а – крупные и крупнейшие (1 – Советское, 2 – Олимпиадинское), б – средние и мелкие (3 – Доброе, 4 – Александро-Агеевское, 5 – Пролетарское, 6 – Эльдorado, 7 – Титимухта, 8 – Ново-Ерудинское, 9 – Кварцевая Горка, 10 – Панимбинского узла; 11 – Таврикульского узла, 12 – Ведугинское, 13 – Аяхтинское, 14 – Николаевское, 15 – Герфедское, 16 – Удерейское, 17 – Васильевское, 18 – Боголюбовское); 10 – свинцово-цинковые месторождения (1 – Горевское, 2 – Усть-Ангарское, 3 – Линейное, 4 – Верхне-Каменское, 5 – Тенегинское)

разлом перегибается и приобретает север–северо-западное простирание. С этой широты вдоль протяженного перегиба (55 км) разлома, приурочиваясь к развившимся вблизи него рудовмещающим разрывам, на юг–юго-восток от Советского последовательно размещаются другие месторождения: Александро-Агеевское, Пролетарское, Эльдorado, Ново-Ерудинское, Кварцевая Горка. Все они расположены вблизи или в нескольких километрах от швов разлома, причем только в западном (мобильном, наиболее деформированном) блоке. Крупнейшее Олимпиадинское и небольшое Старо-Ерудинское месторождения локализируются вблизи субширотного локального разлома (протяженностью  $\approx 50$  км), смыкающегося с зоной региональных Татарских и Тарыдинских рудоконтролирующих нарушений северо-западного простирания. Среднее по запасам Ведугинское месторождение также тяготеет к локальному (протяженностью  $\approx 40$  км) рудоконтролирующему разлому северо-восточного простирания, примыкающего к тем же региональным нарушениям (рис. 1). Небезинтересно отметить, что крупный блок пород, заключенный между рассмотренными локальными рудоконтролирующими разломами, максимально насыщен дорудными гранитоидными массивами рифейского возраста и пространственно связанными с ними дайками диоритовых и диабазовых порфиритов.

Одним из наглядных примеров связи золотого оруденения с локальными рудоконтролирующими разломами может служить крупнейшее месторождение Керкленд-Лейк в Онтарио, Канада. Промышленные руды золота обособились здесь в пределах затухающе-

го северо-восточного фланга непротяженного ( $\approx 15$  км) одноименного разлома. Это нарушение отделяется от расположенного южнее широтного рудоконтролирующего разлома Кадиллак, протягивающегося более чем на 200 км. Разлом Керкленд-Лейк, пересекающий терригенные метапороды ( $AR_3$ ), проник в продольный дайкообразный шток щелочного габбро мощностью от 100 до 400 м. В штоке разлом расщепился на многочисленные ветви, которые подверглись оруденению. Ветви и локализованные в них руды, «выходя» из штока, затухают в терригенных породах, а начиная с глубины 1000 м (от современной поверхности) объединяются в единую рудоносную зону дробления небольшой мощности [10]. Скорее всего, во фланговых затухающих частях таких локальных рудоконтролирующих разломов наиболее часто создается геологическая обстановка, благоприятная для экранирования и «застаивания» рудоносных растворов и флюидов, способствующая их разгрузке.

Интрузивные и субвулканические тела, прорывающие слоистые породы, возможно, играют более важную роль в размещении золотого оруденения, чем представлялось ранее. Так, нередко золоторудные месторождения пространственно тяготеют к узлам и полям концентрации штоков и малых массивов габбро-диорит-плагиогранитной формации, что отмечено для района Олимпиадинского и Советского месторождений. В золотоносных вулканогенных поясах такие образования относятся преимущественно к андезит-риолит-гранодиоритовой формации.

Обычно группы интрузивных и (или) субвулканических образований трассируются цепочкой в виде линейных поясов в протяженных складчатых системах. Особенно это касается даек диоритовых и диабазовых порфиритов, предшествующих формированию месторождений золота и других металлов, на что неоднократно обращал внимание Ф.И. Вольфсон [2]. Вместе с тем установлено, что даже в островодужных системах разломы, контролирующие размещение золотого оруденения, ориентированы преимущественно в поперечном или диагональном направлении по отношению к погружающимся под континенты зонам субдукции [5]. Скорее всего, такие рудоконтролирующие разломы отделяются от поверхности зон вверх по восстанию. Поэтому в поясах развития мезокайнозойских и палеозойских вулканогенных и терригенно-вулканогенных пород, протягивающихся нередко на 1 тыс. км и более, роль рудоконтролирующих разломов играет система секущих поперечных (или диагональных) разрывных нарушений. Такая обстановка сложилась, например, в пределах золотоносных Охотско-Чукотского [12], а также Мексиканского вулканогенных поясов. По-видимому, такие рудоконтролирующие разломы и связанные с ними разрывы, закладывающиеся задолго до проявлений вулканизма, сначала служат каналами, выводящими магматическое вещество. Действительно, с ними увязывается большинство вулканоструктурных построек, заключающих «наложенные» на них оруденелые разрывы и руды эпитермальных месторождений золота.

В отношении области разгрузки рудоносных растворов и флюидов, осуществляющейся в самой верхней части земной коры, представления Ф.И. Вольфсона [2] сводились к следующему.

Рудоносные растворы и флюиды разрушаются в результате их экранирования, застоя, что происходит в случае возникновения труднопреодолимого препятствия на пути их подъема и движения в трещинных полостях. Считается, что такая обстановка отвечает условиям полупроницаемой системы, которая возникает в период поступления рудоносных растворов и флюидов в сложившуюся трещиноватую среду рудоотложения, подновляющуюся в результате тектонического воздействия на нее.

Кристаллизация и возникновение промышленных руд может и происходит только в случае появления в глубоких («корневых») частях разломов макротрещинных полостей. Такие «зародыши» трещин, протяженностью сначала в сантиметры и несколько десятков сантиметров и несколько метров, возникают в обстановке высоких и сверхвысоких давлений. Здесь преимущественно происходят пластические деформации, «течение» и смятие пород. Такие «зародыши» полостей образуются на глубинах около 6–8 км и более от древней доминерализационной поверхности, в относительно хрупких породах. Вверх по разрезу «зародыши» трещин постепенно объединяются в более протяженные, сравнительно открытые полости, заполненные вначале тектонической глиной трения, а затем и брекчией боковых пород. По мере движения вверх по разрезу доля тектонической брекчии возрастает и полости становятся все более проницаемыми для растворов и флюидов.

Рудовмещающая геологическая среда может быть сравнительно однородной на всем протяжении пересекающего ее рудоконтролирующего (рудоподводящего) нарушения либо существенно гетерогенной, геологически разнообразной, меняющейся на различных отрезках и глубинных уровнях рудоконтролирующего разлома [9, 14]. Соответственно сравнительно однородная обстановка обычно «нарушается» за счет осложнения приразломной зоны разрывами, а гетерогенная, кроме того, за счет осложнения приразломной зоны наиболее хрупкими геологическими образованиями (штоками, субвулканическими телами, дайками, пластами, сравнительно хрупких пород и др.), а также проявлением реакционно-способных, обычно пористых образований (локализирующих метасоматические руды). При этом оруденению подвергаются породы в пределах упоминавшихся выше рудных ловушек.

Для добывающей промышленности, да и для мирового хозяйства наиболее интересны крупные и крупнейшие рудные месторождения, из которых давно освоенными, простейшими и дешевыми способами удается извлекать металлы по сравнительно низкой себестоимости, обеспечивая приток максимальных прибылей.

Применительно к золоторудным месторождениям понятие «крупное и крупнейшее месторождение» в последнее время существенно трансформировалось. Ранее под ним обычно понималось относительно компактное и мощное скопление преимущественно жильных и прожилковых руд с содержанием золота > 8–10 г/т. Как правило, руды распространялись на глубину до 2 км, а на месторождении Колар (Индия) – на глубину 3,5 км от дневной поверхности. В настоящее время крупное золоторудное месторождение – это преимущественно тоже мощное скопление, но сравнительно убогих или даже бедных руд вкрапленного и прожилково-вкрапленного (порфирового) типов, без четких геологических границ, определяемых обычно опробованием. При этом в «межпрожилковых» пространствах руд учитывается вкрапленность золотосодержащих минералов. Содержание золота в рудах колеблется от 0,6 г/т (Янакоча, Перу; Раунд-Маунтин, США; Телфер, Австралия и др.) до 3 г/т, изредка более, запасы руд – от нескольких десятков до нескольких сотен миллионов тонн [6]. Такие руды, как правило, добываются наиболее дешевым карьерным способом и распространяются нередко на глубины всего 300–500 м. Оконтуриваемые по очень низким бортовым содержаниям, скопления таких убогих руд приобретают форму рудных штоков с поперечником в несколько сотен метров, а также форму протяженных ленто- и пластообразных залежей.

Ф.И. Вольфсон [2] упоминал, что необходимой предпосылкой для образования крупных скоплений руд является длительная дорудная подготовка и возникновение в пределах рудных ловушек *масштабных* рудовмещающих нарушений. Считается, что для трещинных золоторудных месторождений такими нарушениями выступают: 1) протяженные секущие *трещинные пучки* (с наиболее выдержанными оруденелыми разрывами-лидерами

значительной длины и с «межпрожилковой» золотоносной вкрапленностью), часто осложняющие контакты пород различного состава, в том числе различной хрупкости, подверженные избирательной деформации и метасоматическому оруденению (Балей-Тасеевское и Дарасунское в Забайкалье, Майское и Купол на Чукотке, Сухой Лог в Забайкалье, Зодское в Армении, Кумтор в Киргизии); реже известны модификации пучков, представленных согласными золоторудными телами в пластовых (и субпластовых) зонах сближенных субпараллельных разрывов (Олимпиадинское в Енисейском кряже и др.); 2) протяженные и мощные *отрезки рудоносных разломов*, реже обособленные мощные зоны рассланцевания и дробления, часто с оруденением на перегибах и в узлах разветвлений и осложнений их боковыми и поперечными дорудными разрывами (Нежданинское в Восточной Сибири, Бакырчик в Казахстане); 3) широкие, прослеживающиеся на большие расстояния *рудоносные трещинные системы*, сложенные многочисленными рядовыми разрывами рудовмещающего типа с «межпрожилковой» вкрапленностью, сменяющимися одни других по простиранию и на большую глубину (Наталкинское в Восточной Сибири, Мурунтау в Узбекистане).

На многих месторождениях запасы металлов напрямую зависят от распространения руд на глубину, от вертикального размаха оруденения. Ф.И. Вольфсон [2] полагал, что «кровля» крупных месторождений (наряду с рядовыми) образуется на глубинах от нескольких сотен метров до 3–4 км от палеоповерхности, поверхности, существовавшей в период оруденения. Это полностью подтвердилось для золоторудных месторождений. Так, общепризнано, что формирование «верхов» эпитермальных близповерхностных месторождений золотосеребряных и золототеллуридных руд (Балей-Тасеевское месторождение в России; Лихир в Папуа-Новой Гвинее; Уайхи в Новой Зеландии; Пуэбло-Вьехо в Доминиканской Республике и др.), а также субпластовых и пластовых месторождений джаспероидных карлинских руд в породах терригенно-карбонатной формации (Голдстрейк, Мейкл, Пайплайн в США, Цзиньфын в провинции Гуйчжоу и Бока в провинции Юньнань, Китай и др.) происходило на глубинах от нескольких сотен метров до 1,0–1,5 км.

Верхи золоторудных тел наиболее древних архейских месторождений (Колар в Индии, Поркьюпайн в Канаде, Калгурли, Вилуна в Западной Австралии, Морроу-Велю в Бразилии) образовались в 2,5–4 км от палеоповерхности, существовавшей в период оруденения (рис. 2). Таким образом, учитывая максимально установленный

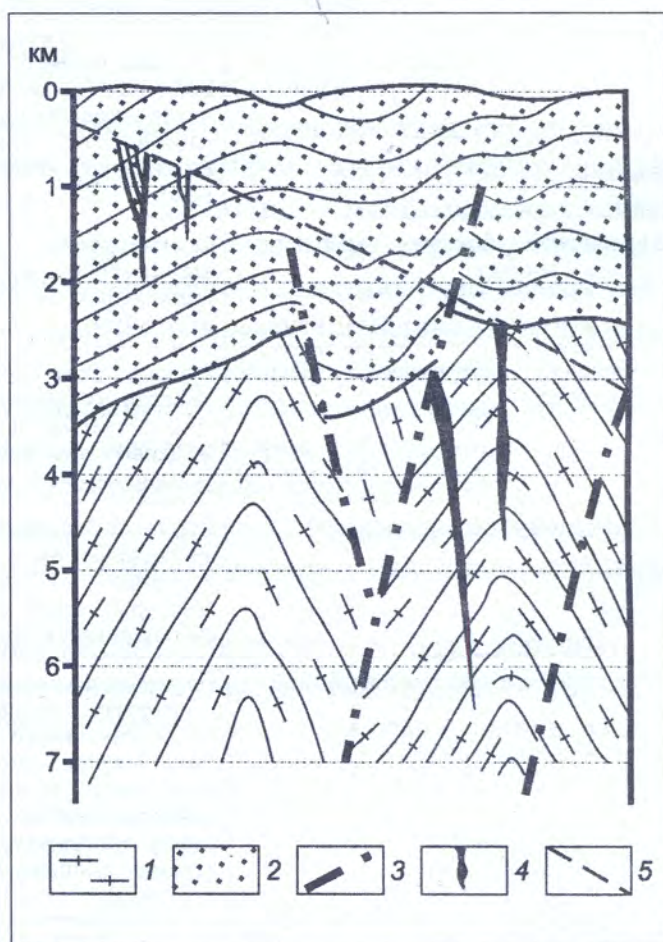


Рис. 2. Разрез, иллюстрирующий глубину формирования и вертикальный размах оруденения подавляющего большинства золоторудных месторождений в верхнем и нижнем структурных ярусах геотектонических построек: 1 – метаморфизованные и рассланцеванные породы нижнего структурного яруса; 2 – слабометаморфизованные породы верхнего структурного яруса; 3 – рудоконтролирующие разломы; 4 – золоторудные тела; 5 – граница образования «верхов» золоторудных тел

непрерывный вертикальный размах золотого оруденения в 3,5 км, можно полагать, что нижняя граница формирования промышленных руд – уровень примерно в 6–7 км от поверхности, существовавшей в период оруденения. Протяженный вертикальный размах оруденения нередко выступает главным условием сосредоточения в пределах рудной ловушки (и в рудах масштабных рудовмещающих нарушений) крупных и крупнейших запасов золота.

В другой книге Ф.И. Вольфсон и автор настоящей статьи [3] показали основные коренные отличия морфологии и условий распространения рудных тел в геологических образованиях верхнего и нижнего структурных ярусов (таблица).

### Коренные различия месторождений, рудных тел и руд, образованных в верхнем и нижнем структурных ярусах

Главные особенности	Верхний структурный ярус	Нижний структурный ярус
Минимальная глубина формирования кровли рудных тел	До нескольких сотен метров	До 1,0–1,5 км, обычно глубже
Максимальный вертикальный размах оруденения	Обычно несколько сот метров, очень редко 1,0–1,5 км	2–3,5 км
Изменение формы рудных тел	Нередко веерообразное расщепление вверх по восстанию и значительное увеличение мощности, резкие перегибы в плане и разрезе, быстрая смена раздувов «безрудными» пережимами	Выдержанность формы рудных тел, постепенный переход раздувов в участки с рядовой мощностью и вновь в раздувы по латерали и вертикали. Нередко большая выдержанность рудных тел в разрезе.
Проявление боковых оперяющих сколов и апофиз	Обычно сравнительно многочисленны, особенно на резких перегибах главных разрывов	Немногочисленны, но распространяются на равном расстоянии друг от друга, в «шаге размещения», с глубиной количество сокращается
Изменение внутреннего строения рудных тел	Рудные тела прожилкового типа в связи с использованием рудами трещиноватых пород, смена прожилковых руд вверх по восстанию сульфидной вкрапленностью	Обильные тектоническая брекчия и реликты вмещающей породы в рудах, сокращение брекчии с глубиной за счет увеличения количества тектонической глинки трения
Текстурные особенности руд	Руды вкрапленные, прожилково-жилковые – часто фестончатой, колморфно- и ритмично-полосчатой текстур, а также кокардовой, крустификационной и друзовой	Руды преимущественно массивной, полосчатой, прожилковой и зернистой текстур, содержат большое количество брекчии и измененных реликтов вмещающих пород
Изменение состава руд с глубиной	Сложный состав руд, изменение его в пределах сравнительно небольшого вертикального интервала, телескопирование, уменьшение или исчезновение количеств выделений шеелита, гематита, серебра, сульфосолей, сульфидов, минералов урана, сурьмы, мышьяка, флюорита, барита, карбонатов	Сравнительно редко, на большом вертикальном интервале (сотни метров – километр), с глубиной – увеличение кварца, пирротина, снижение количества сульфидов
Интервал сосредоточения основной доли запасов металлов на месторождении	В верхней 1/3 вертикального интервала оруденения	В верхних 2/3 вертикального интервала оруденения
Особенности распространения богатых руд (рудных столбов)	Сравнительно равномерно распространены только в верхней части рудного интервала, наряду с этим здесь незакономерно проявлены очень богатые, «бонанцевые» скопления руд	Преимущественно развиты четко выделяемые рудные столбы, количество которых и параметры постепенно уменьшаются с глубиной

## Выводы

1. Рудоконтролирующие разломы регионального и локального типов являются главными структурами, выводящими рудоносные растворы и флюиды в верхнюю часть земной коры и определяющими здесь размещение промышленных месторождений, в том числе золота. Региональные разломы определяют возникновение золоторудных поясов и узлов, сочетающиеся с ними локальные, менее протяженные – преимущественно рудных полей и месторождений. В сравнительно молодых островных и окраинно-континентальных геотектонических постройках с масштабным проявлением вулканических пород разломы сначала закладываются как магмовыводящие образования, участвуя в формировании вулкано-структур, а затем играют рудоподводящую роль.

Промышленные руды обособляются в приразломной зоне рудоконтролирующих нарушений, ширина которой определяется высокой деформированностью пород, примыкающих к разлому (5–10, редко 20 км в стороны от разлома). В пределах зоны формируется большая часть рудовмещающих разрывов, в связи с чем обнаруженные и закартированные приразломные зоны наиболее перспективны для поисков рудных трещинных месторождений (в том числе крупных месторождений золота).

2. Обособление крупных запасов металлов, в частности, золота, в рудах трещинных месторождений происходит в масштабных рудовмещающих разрывах трех структурных типов: а) протяженных секущих трещинных пучках (с разрывами-лидерами значительных длины и мощности), реже в их пластовой модификации – пластовых и субпластовых зонах сближенных субпараллельных разрывов; б) в протяженных и мощных отрезках рудоносных разломов; в) в широких, прослеживающихся на большие расстояния рудоносных трещинных системах обычно большой мощности, сложенных многочисленными рядовыми разрывами.

3. Проявляющееся во фланговых частях локальных рудоконтролирующих разломов экранирование и «застой» поднимающихся рудоносных растворов и флюидов, создающаяся здесь в рудовмещающей среде обстановка полупроницаемости способствуют разгрузке «застойных» растворов, кристаллизации минерального вещества и обособлению руд. Здесь создается благоприятная обстановка для образования, наряду с рядовыми, крупных месторождений.

4. На трещинных месторождениях наиболее выдержанные рудные тела с максимальным вертикальным размахом оруденения формируются в породах нижнего структурного яруса – более деформированных разрывами, метаморфизованных и смятых в сравнительно сжатые складки.

## Литература

1. Бородаевский Н.И. Материалы по методам изучения структур и геологической перспективной оценки месторождений золота // Тр. ЦНИГРИ. Вып. 35. М., 1960. 417 с.
2. Вольфсон Ф.И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. М.: Изд-во АН СССР, 1952–1953. 305 с.
3. Вольфсон Ф.И., Некрасов Е.М. Основы образования рудных месторождений (2-ое изд., переработанное и дополненное). М.: Недра, 1986. 205 с.
4. Годлевский М.Н., Никитин В.Д., Смирнов В.И. Генезис эндогенных рудных месторождений. М.: Недра, 1968. 719 с.
5. Константинов М.М. Золоторудные провинции мира. М.: Научный мир, 2006. 355 с.

6. Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. Золоторудные гиганты России и мира. М.: Научный мир, 2000. 270 с.
7. Корнев Т.Я., Князев В.Н., Шарифулин С.К. Геология и условия образования благороднометального оруденения в раннем докембрии Енисейского кряжа и Восточного Саяна // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока. Т. 1. Иркутск, 2005. С. 68–70.
8. Крупные и суперкрупные месторождения полезных ископаемых /Под ред. Д.В. Рундквиста. Т. 1. Глобальные закономерности размещения. М.: Изд-во ИГЕМ РАН, 2006. 391 с.
9. Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В. Золоторудные месторождения Востока России. Владивосток: Дальнаука, 1996. 352 с.
10. Некрасов Е.М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. М.: Недра, 1988. 286 с.
11. Сафонов Ю.Г. Золоторудные и золотосодержащие месторождения мира – генезис и металлогенический потенциал //Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45. № 4. С. 305–320
12. Стружков С.Ф., Константинов М.М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Научный мир, 2005. 318 с.
13. Шер С.Д. Металлогения золота (Северная Америка, Австралия и Океания). М.: Недра, 1972. 295 с.
14. Щербаков Ю.Г. Распределение и условия концентрации золота в рудных провинциях. М.: Наука, 1967. 268 с.

*ФГУНПП «Аэрогеология»  
Рецензент – В. Е. Бойцов*

## РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ РАЗЛОМЫ И ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ

*Рассмотрены рудоконтролирующие разломы регионального и локального типов и размещение золотого оруденения в связи с их проявлением. Проанализирована роль системы поперечных локальных разломов и масштабных наиболее деформированных и мобильных тектонических блоков (примыкающих к разломам) в локализации крупных и крупнейших золоторудных месторождений.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а: рудоконтролирующие разломы; трещинные нарушения; золоторудные месторождения.*

*(Известия вузов. Геология и разведка. 2009. № 4. С. 32–38).*

К настоящему времени подавляющее большинство геологов, изучающих эндогенные золоторудные и золотосеребряные месторождения, пришли к выводу, что рудные тела таких месторождений, а также месторождений многих других металлов, приурочены к нарушениям трещинного типа. К трещинным нарушениям можно также отнести достаточно редкие комбинации пластовых внутри- и межформационных разрывов различных направлений с секущими нарушениями и примыкающими к ним коленообразными рудными телами.

Ф.И. Вольфсон – один из выдающихся российских геологов, называл такие месторождения «трещинными» [2]. Почти 60 лет тому назад он, один из немногих, обратил внимание на то обстоятельство, что подавляющее большинство трещинных месторождений расположено вблизи и вдоль крупных и протяженных разломов, которые стали именоваться «рудоконтролирующими». Это и понятно, оруденение пространственно как бы «привязано» к таким разломам, как бы сопровождает их.

Представления о пространственной связи эндогенного оруденения с дорудными разломами в настоящее время значительно расширились. Это особенно заметно в отношении наиболее богатых трещинных золоторудных месторождений, которые оказались изученными наиболее детально. Попытаемся кратко суммировать накопленные сведения о рудоконтролирующей роли разломов по отношению к размещению эндогенного золотого оруденения.

Месторождения золота – одни из наиболее своеобразных рудных объектов. Действительно, геологу почти всегда удается увидеть рудные минералы. Иное дело с рудами золота, содержание которого нередко не превышает нескольких долей грамма на тонну породы. Даже агрегаты, заключающие мелкие золотины, обычно сложены разнообразными минералами, причем преобладающими жильными, доля которых в тысячи и даже миллионы раз больше доли заключенного в них золота. Таким образом, руды золота нередко пред-

ставлены просто агрегатами жильных минералов, в которых золото невидимо. Поэтому при поисках геолог, как правило, имеет дело с телами, сложенными комплексом различных жильных, реже сульфидных и других рудных минералов. Все это существенно осложняет поиски золотого оруденения. Именно поэтому представление о пространственном тяготении золоторудных месторождений к некоторым крупным разрывным нарушениям явилось крупнейшим открытием в рудной геологии. Наметились предпосылки, где с наименьшими затратами и наиболее быстро удаётся найти благородные металлы.

### **Региональные и локальные рудоконтролирующие разломы**

Среди рудоконтролирующих разломов принято различать нарушения двух масштабов проявления – регионального и локального [2, 3, 9, 11].

Региональные рудоконтролирующие нарушения определяют, наряду с другими важными геологическими факторами, положение золотоносных металлогенических зон, областей и рудных поясов. Подавляющее большинство рудоконтролирующих разломов регионального масштаба ориентированы продольно или субпродольно к крупным геотектоническим постройкам, особенно линейного типа, в частности, к складчатым системам и поясам [8, 9]. Такие разломы представляют составную часть названных сооружений. Наиболее четко это проявлено в складчатых системах и поясах архейского, протерозойского и отчасти палеозойского возрастов. Так, в архейских поясах Западно-Австралийского щита, в поясах Канадского щита региональные разломы, контролирующие размещение эндогенных золоторудных месторождений трещинного типа, вытягиваются вдоль прибортовых частей щитов на несколько сотен километров. Например, разлом Боулдер в Центральном-Австралийском поясе щита Йилгарн прослежен более чем на 500 км. Вдоль него локализованы крупные и крупнейшие месторождения золота: Калгурли, Паддингтон, Септ-Айвс (Камбалда), Мензиес. Еще большая протяженность в том же регионе характерна для регионального рудоконтролирующего разлома Мистер Джордж (вместе со смыкающимся разломом Кейт-Кикениц). «Связка» из разломов осложняет на протяжении 800 км западный борт «соседнего», расположенного восток–северо-восточнее другого золотоносного австралийского пояса, сложенного метатерригенно-вулканогенными породами архея, – Ист-Голдфилд. В этом поясе локализованы, помимо рядовых, такие крупные или приближающиеся к ним по масштабу оруденения золоторудные месторождения, как Вилуна и Леонора.

Наиболее четко удастся проследить поведение регионального рудоконтролирующего Главного Филиппинского разлома. Разлом появляется на север–северо-западе о. Лусон. Отсюда он протягивается через весь Филиппинский архипелаг и исчезает на юг–юго-востоке о. Минданао. Разлом, осложняющий вулканогенные, осадочные породы и интрузивы мезозойско-кайнозойской складчатой системы, протягивается более чем на 1400 км. Вдоль него размещаются крупные месторождения золота. Например, в рудном поле Багио (извлечено более 340 т металла), месторождения Виктория I и II с общими запасами золота более 150 т, известное рудное поле Фар-Саут-Ист или Манкайян (иногда называемое также Лепанто). На южных островах архипелага сейчас строятся крупные рудники на месторождениях золотомеднопорфировых руд Бойонгон и Тампакан. В сумме ресурсы золота на обоих месторождениях превышают 800 т.

Остановимся подробнее на описании этого интересного разлома. Главный Филиппинский разлом, как и менее протяженные региональные нарушения, представляет собой

узкую, интенсивно деформированную полосу шириной 6–10 км и состоит из нескольких сравнительно сближенных, но мощных параллельных нарушений. Почти на всем своем протяжении разлом разделяется на ветви, которые быстро смыкаются. Однако на некоторых сравнительно непротяженных интервалах (70–150 км) разлом преобразуется. Мощность его возрастает до 30 км и более. Именно от этих более мощных отрезков разлома отделяются крупные боковые швы, образующие новые ветви. Протяженность их достигает 500 км и более. Ветви также имеют рудоконтролирующее значение. Для Главного Филиппинского разлома характерны три такие основные боковые ветви. В северной части архипелага, в районе о. Масбате, отделяется первая ветвь, вытягивающаяся в северо-западном направлении. Вблизи ветви, на одноименном месторождении Масбате, ресурсы золота составляют около 100 т, а на другом месторождении, расположенном северо-западнее о. Мариндуку, – свыше 62 т. Северо-западнее вдоль того же разлома недавно выявлено месторождение Ран-Руно с ресурсами золота более 60 т. Вдоль второй боковой ветви, отделяющейся от средней части разлома и протягивающейся на юго-восток, размещены золотосодержащие месторождения медноколчеданного типа – Рапу-Рапу, Унгай-Малабагу и др. Третья, самая южная, ветвь, протягивающаяся на северо-запад, контролирует на о. Минданао размещение крупных и крупнейших золотомеднопорфировых месторождений: Тампакан, Сабугуэй и др.

Приведенные примеры свидетельствуют, что в линейных геотектонических структурах региональные рудоконтролирующие разломы имеют ориентировку, почти совпадающую с направлением главных складчатых элементов. По значимости разломы сопоставимы с главными геотектоническими элементами земной коры. Правда, нередко при общей длине в несколько сотен километров отдельные звенья разломов выклиниваются, прерываются (обычно проникая флангом в более хрупкие породы или в породы с возрастающими прочностными свойствами). В стороне от выклинившегося фланга разлома, на некотором расстоянии от него, нередко обнаруживается кулисообразное продолжение регионального разлома. Такая обстановка сложилась, например, в пределах Уральской складчатой системы с ее пятью главными рудоконтролирующими звеньями разломов (с юга на север) – в Магнитогорской зоне, затем Челябинской, Екатеринбургской, Тагильской, Полярного Урала.

Локальные рудоконтролирующие разломы менее протяженные. Они чаще представляют собой не зону сближенных субпараллельных нарушений, а единый сосредоточенный разлом – шов [8, 9].

Таким разломам свойственны три структурные позиции, характеризующие положение разломов по отношению к региональным рудоконтролирующим нарушениям.

В первом случае это – протяженные ветви, прослеживающиеся только на несколько сотен (100–300) километров (в отличие от выше рассмотренных протяженных ветвей регионального значения). Ветви локальных разломов по типу перемещений по ним представляют собой боковые оперяющие нарушения, особенно в период рудообразования. Пример такой позиции обнаруживается и на северо-западном фланге Главного Филиппинского разлома, где развиты золоторудные месторождения крупнейшего рудного поля Багио. Его месторождения, давшие более 340 т золота, приурочены к флангово-разветвляющимся трещинным структурам бокового оперяющего разлома.

Другим примером может служить локальный рудоконтролирующий разлом, отделяющийся как оперяющее нарушение Сьерра-Мадре [10] (вытягивающееся на юг) от главных региональных разломов в Северной Мексике. Ресурсы золота в месторождениях, тяготеющих к этой оперяющей структуре, оцениваются в 1000 т.

Узкая складчатая система Сьерра-Мадре мезозойско-кайнозойского возраста является продолжением складчатого звена грандиозной системы Калифорнийско-Колорадских Кордильер США [9]. Система Сьерра-Мадре протягивается с север-северо-запада на юг-юго-восток, достигая структур перешейка между Северной и Южной Америкой. Общая протяженность системы превышает 2000 км. Складчатые структуры системы с обеих сторон как бы окаймлены двумя крупнейшими продольными региональными рудоконтролирующими разломами-ветвями. К ним приурочены почти все хорошо известные золотосеребряные месторождения Мексики – Агуа-Приета, золоторудных узлов Чиуауа, Сан-Франциско-дел-Оро, Дуранго и Фреснильо, Секатекас, Гуанахуато, Пачука, Эль-Оро и множество других рядовых и мелких месторождений. К настоящему времени из недр их в сумме извлечено (помимо многих тысяч тонн серебра) более 2000 т золота.

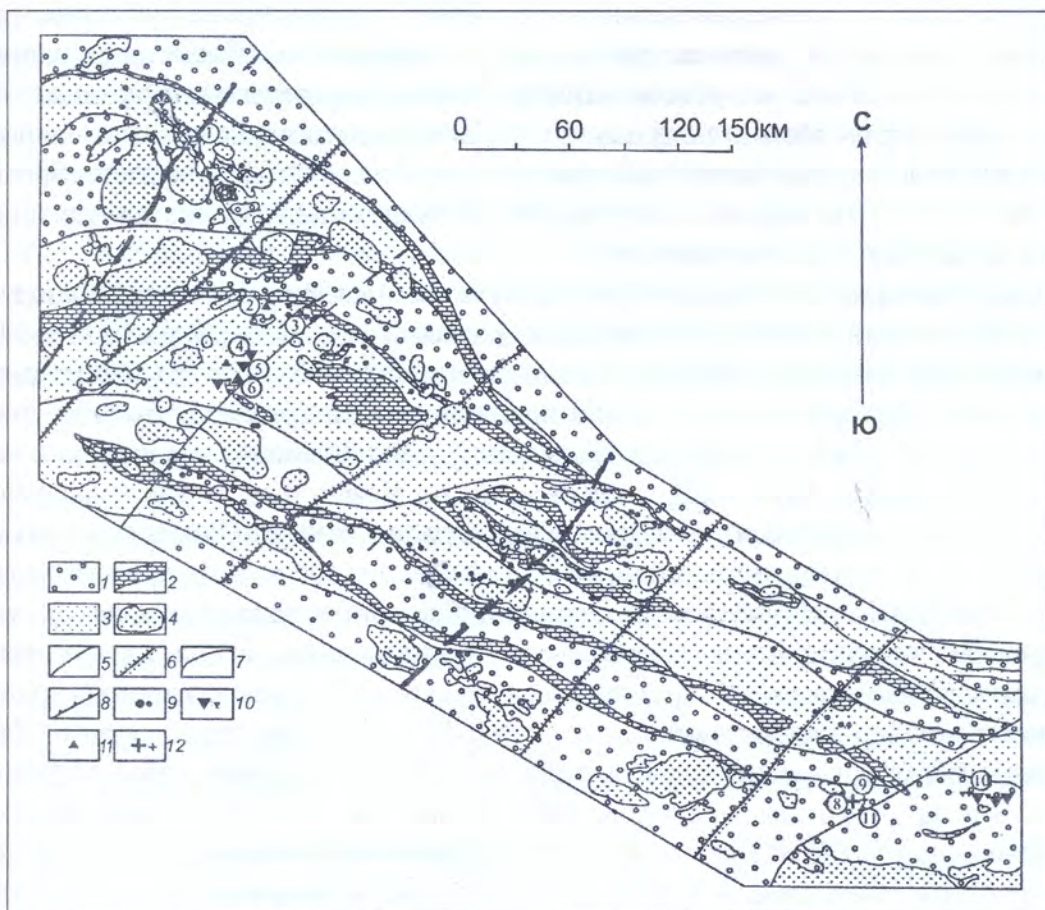
Региональные разломы Сьерра-Мадре сопровождаются боковыми оперяющими разломами, ориентированными на юг [10]. Один из таких разломов проявился на северном фланге регионального нарушения. Начинается он западнее города Мадейра (бассейн р. Арос) и протягивается на юг на 180-200 км. Начиная с 2000-2002 гг. вблизи этого разлома разведаны или оценены ресурсы месторождений золотосеребряных руд Долорес и Мулатос (с запасами и ресурсами золота на каждом 75–80 т), Промонторио, Окампо и Морис (с ресурсами золота от 13 т до нескольких десятков тонн), Магуаричи, Юрика, Реферма, Батопилас. В наиболее значительном месторождении Эль-Саузель ресурсы золота превышают 100 т. Интересно, что это месторождение приурочено к самому южному разветвляющемуся и затухающему флангу данного локального разлома.

Вторая позиция локальных рудоконтролирующих разломов (или, вероятнее, разломов, оживляющихся в период отложения руд золота) может быть определена как самостоятельная система трещинных нарушений. Как правило, они имеют поперечную (или близкую к таковой) ориентировку по отношению к региональному разлому [8, 9, 11]. При этом расстояния между «соседними» локальными разломами нередко соответствуют так называемому «шагу максимальных тектонических напряжений».

Геологи пока еще далеки от расшифровки истинных причин возникновения трещинных нарушений. Можно предполагать, что накапливающиеся тектонические напряжения «опережающе» разряжались в зонах разломов, заложенных задолго до оруденения, в ранние эпохи тектогенеза. Поскольку крупные мегаблоки земной коры в начальные этапы своего развития были более однородные, т. е. были сложены породами со сравнительно сходными прочностными характеристиками, разрядка накапливающихся напряжений и заложение ранних трещинных нарушений в блоках могла происходить в зонах, расположенных на сравнительно близких расстояниях. Возможно, этим обстоятельством можно объяснить, что в более поздние этапы тектогенеза (в том числе в эпохи, сопровождавшиеся оруденением) «опережающе», по сравнению с другими системами разрывов, «оживали», подновлялись преимущественно трещинные нарушения древнего заложения. Именно они расположены сравнительно равномерно, одно от другого на расстоянии «шага максимальных тектонических напряжений» [4].

В одном из крупнейших золоторудных регионов – Кызылкумских палеозоид (рис. 1), практически все крупные и крупнейшие месторождения золота пространственно тяготеют не к главному северо-западному рудоконтролирующему нарушению, а к серии локальных рудоконтролирующих разломов другой, поперечной, системы северо-восточного простираения [1]. Эти разломы относятся к одной и той же системе трещинных нарушений и как бы повторяются в рассматриваемой металлогенической области. Везде

в регионе разломы этой поперечной системы «упираются» своими северо-восточными флангами в региональный Кызылкумский разлом и расположены главным образом в его юго-западном блоке.



**Рис 1.** Схема геологического строения Западно-Тяньшаньской провинции [1]: 1 – отложения молассоидного и олистостромово-флишоидного структурно-формационного комплекса (СФК); 2 – породы карбонатного СФК; 3 – отложения терригенного и вулканогенно-карбонатно-кремнистого СФК; 4 – плутоны интрузивных пород; 5 – границы тектонических зон; 6 – зоны скрытых поперечных разломов; 7 – прочие разрывные нарушения; 8 – подошва надвигов; 9–13 – месторождения благородных металлов различных рудных формаций: 9 – золотокварцевой, 10 – золото-мышьяковисто-сульфидной, 11 – золотосеребро-мышьяково-сульфидной, 12 – золотополисульфидной; в кружках номера золоторудных месторождений: 1 – Кокпатас, 2 – Космоначи, 3 – Мурунтау, Мютенбай, Триадо, 4 – Амантай, 5 – Даугыз, 6 – Высоковольтное, 7 – Чармитан, Гужумсай, 8 – Джейляу, 9 – Тарор, 10 – Чоре, 11 – Кштудак

Расстояние между локальными разломами составляет в Кызылкумском регионе около 50–60 км. Именно на таком расстоянии, в 50–60 км один от другого или на расстоянии «шага максимальных тектонических напряжений» (разряжавшихся синхронно с формированием золотого оруденения) протягиваются северо-восточные локальные разломы. Вблизи каждого из них последовательно (с северо-запада на юго-восток) размещаются такие известные месторождения золота, как Кокпатас, далее на юго-восток – уникальное месторождение золота-гиганта Мурунтау, а также крупные Даугыз и Высоковольтное, Чармитан, Джейляу, Тарор и многочисленные рядовые месторождения. Местами расстояние между локальными поперечными разломами возрастает вдвое. Вероятно, это происходит в случае, когда накапливавшиеся тектонические напряжения «не находили» зон нарушений древнего заложения. Подмечено, что охарактеризованная тектоническая обстановка наиболее присуща не линейным, а глыбово-складчатым и широким (не менее 400–600 км) геотектоническим структурам земной коры.

Пожалуй, наименьшее значение для размещения и локализации золотого оруденения имеют локальные рудоконтролирующие разломы, занимающие третью структурную позицию. Выражается она в том, что наряду с единичными протяженными и мощными разломами регионального значения проявляются менее протяженные субпараллельные или параллельные локальные рудоконтролирующие нарушения. Такие нарушения играют роль системы сателлитов, сопровождающих главные рудоконтролирующие структуры. Они размещены на расстоянии не более нескольких или первых десятков километров от главных и прослеживаются преимущественно всего на 20–50 км, кулисообразно сменяя один другого, как бы непрерывно сопровождая главную зону более протяженного и выдержанного регионального нарушения.

Локальные разломы-сателлиты чаще устанавливаются (наряду с главными рудоконтролирующими разломами регионального плана) в сравнительно широких (более 400–600 км) металлогенических областях. Такими обычно предстают области архейских регионально метаморфизованных терригенно-вулканогенных пород, например, Абитибиде, Ред-Лейк на Канадском щите, регион оз. Виктория (Танзания), зоны Зимбабве в архейских постройках Центральной Африки, а также на Бразильском щите. Некоторые из них известны и в молодых золотоносных складчатых системах, например, в Охотско-Чукотском вулканогенном поясе [8].

В архейских геотектонических постройках Танзании развились две системы сравнительно редких региональных рудоконтролирующих разломов и их достаточно многочисленных сопутствующих нарушений-сателлитов северо-восточного, восток-северо-восточного и север-северо-западного направлений. В пространственной связи как с региональными, так и с разломами-сателлитами обоих направлений, в Танзании локализованы такие крупнейшие месторождения (с запасами золота более 300 т, частично извлеченными), как Гейта и Буланхулу, приближающиеся к ним по масштабам оруденения месторождения Северная Мара, Бузваги и другие, а также значительное число средних по запасам золоторудных объектов – Голден-Прайд, Голден-Ридж, Тулавака, Бакриф и др. [3].

В широкой (свыше 500 км) протерозойской металлогенической зоне Биррима (Гана), в связи с проявлением системы непрерывно повторяющихся северо-восточных разломов, в песчанико-сланцево-сланцево-филлитовой толще нижнего протерозоя (нередко тяготея к молодым вулканитам преимущественно андезитового состава) локализовалась целая серия золоторудных месторождений с различными запасами [3, 9]. Так, в пределах региональной рудоконтролирующей зоны рассланцевания Ашанти северо-восточного простирания, выделено одноименное крупнейшее месторождение золота – гигант Ашанти (из недр его получено и в них еще заключено в сумме более 1200 т золота). В 35–40 км юго-восточнее главного нарушения, вблизи субпараллельной зоны рассланцевания (сателлите) размещается месторождение Акайэм с запасами золота более 170 т.

В 80 и 120 км северо-западнее региональной рудоконтролирующей зоны расположены два других субпараллельных нарушения-сателлита. Вдоль первого из них находится рудник Бибиани (давший около 120 т золота) и месторождение Чирано (с ресурсами золота 55 т). Вблизи второго нарушения, также представляющего сателлит главного разлома, разведано месторождение Агафо (около 230 т золота).

Наиболее хорошо изучено локальное рудоконтролирующее нарушение-сателлит (нарушение третьего типа) Материнская жила в Калифорнийско-Колорадском звене Американских Кордильер, США [3]. Пространственно оно связано с разломом Чикаго, протяги-

вающимся почти на 200 км в юг–юго-восточном направлении в мезозойско-кайнозойских образованиях. Попутные разломы-сателлиты выделены в 10–30 км западнее и восточнее главного нарушения [9]. Даже сравнительно небольшие месторождения золота вблизи них не обнаружены.

Наоборот, вдоль главного разлома Чикаго почти на всем его протяжении установлены промышленные золоторудные месторождения различных масштабов. Разлом круто (60–65°) падает на восток, рассекая рудовмещающие филлиты формации калаверас и перекрывающие их черные углеродсодержащие сланцы формации марипоза ( $J_3$ ). Примечательно, что оруденение локализовано только в породах тектонического блока, примыкающего к разлому Чикаго с запад–юго-запада (в лежачем боку), и развивается в боковых вертикально погружающихся сколах, отделяющихся от разлома или от его почти параллельных ветвей. Руды локализованы в 0,5–3,0 км от главного шва разлома. Скорее всего, запад–юго-западный тектонический блок, примыкающий к разлому, оказался максимально деформированным в связи с избирательными перемещениями его, в то время как противоположный восточный блок разлома не испытывал крупноамплитудных движений и был сравнительно стабилен [9].

Промышленные рудные тела западного блока разлома представлены тремя типами: 1) штокверковыми рудными телами, обычно с пирит-кварцевыми рудами и зонами вкрапленного существенно пиритового оруденения в черных сланцах марипоза,  $J_3$ ; 2) рудными зонами, локализованными в кварц-анкеритовых метасоматитах, заключающих золотосодержащие пирит и арсенопирит в филлитах калаверас; 3) кварцевыми жилами (содержащими 1–2% пирита), локализованными в небольших штоках кварц-диоритового состава, местами прорывающих сланцы и филлиты. Некоторые рудные столбы распространяются до 1500 м на глубину [9].

Очевидно, месторождения, по систематике геологов ЦНИГРИ [3], в настоящее время можно отнести одновременно к нескольким рудным формациям – кварц-полисульфидной, золото-сульфидно-кварцевой и золото-кварцевой. Понятно, что принятый в виде главного принципа систематики месторождений минеральный состав их руд обусловлен на месторождениях Материнской жилы выщелачиванием рудоносным раствором в районе каждого рудного объекта или даже в области раскристаллизации руд различных компонентов. Очевидно, установление рудно-формационной принадлежности месторождения способствует лишь выявлению условий образования его руд, а не выяснению условий размещения и образования месторождений. Таким образом, рудно-формационная принадлежность месторождения (как и рудно-формационная систематика) в недостаточной степени (в сравнении с другими поисковыми предпосылками) может помогать в выборе наиболее рациональных путей поиска руд.

Напомним, что и на крупном Дарасунском месторождении золота (Россия, Забайкалье) в рудных телах, расположенных на расстоянии нескольких километров одно от другого, значительно изменяется состав руд. Так, южные жилы Бро, Мать и Футбольная относят к золото-кварцевой формации, контактовую Ново-Кузнецовскую жилу, находящуюся в центре месторождения, – к золото-полисульфидно-кварцевой. Северные жилы (например, Свинцовая и Мартовская) являлись бескварцевыми, существенно галенитовыми образованиями. Более того, на юго-западном участке месторождения добывались в больших объемах бескварцевые пирит-арсенопиритовые руды.

На примере района Материнской жилы (США) становится ясным, что оруденение формируется в основном в трещинных нарушениях наиболее подвижных тектонических блоков. Здесь, видимо, создаются условия как для сравнительно быстрого проникновения золотоносных растворов и флюидов, так и для их экранирования, «застоя» в отдельных локальных участках, трещинных полостях и пустотах, что ведет к отложению минералов [11]. Еще более поразительным примером служит северо-западный фланг герцинского Чулийского золоторудного пояса, расположенного западнее и северо-западнее оз. Балхаш (Казахстан). Пояс, имеющий северо-западное простирание, протягивается вдоль крупного регионального рудоконтролирующего нарушения – Жалаир-Найманского сдвига (правостороннего типа в плане) [5]. Он прослежен на 800 км. Мощность этого нарушения изменяется от 20 до 60 км. Указанным нарушением осложнена сравнительно узкая линейная складчатая структура, сложенная комплексом вулканогенно-терригенных и терригенных пород от позднедевонского до позднеордовикского возраста.

Наиболее крупный золоторудный узел – Светинско-Акбакайский, целиком развит только в северо-восточном тектоническом блоке главного Жалаир-Найманского сдвига [5]. К западу от сдвига отделяется несколько протяженных боковых ветвей, однако не сопровождающихся промышленным золотым оруденением. Наоборот, все крупные и средние месторождения золота локализованы в противоположном, мобильном тектоническом блоке, который расположен северо-восточнее сдвига [5]. Здесь, на расстоянии примерно 40–45 км вдоль Жалаир-Найманской зоны, локализовано более 10 значительных (в том числе крупное Акбакайское) месторождений. Примечательно, что каждое месторождение или группа их пространственно тяготеет к системе поперечных локальных рудоконтролирующих разломов северо-восточного простирания. Развиваясь в юго-западном направлении, поперечные локальные разломы «упираются» в швы Жалаир-Найманского сдвига и ограничиваются им. Так, с северо-востока на юго-запад сначала ограничивается Светинский локальный рудоконтролирующий разлом, к которому пространственно тяготеет одноименное месторождение золота (рис. 2), затем Аксакальский разлом (с тяготеющими к нему

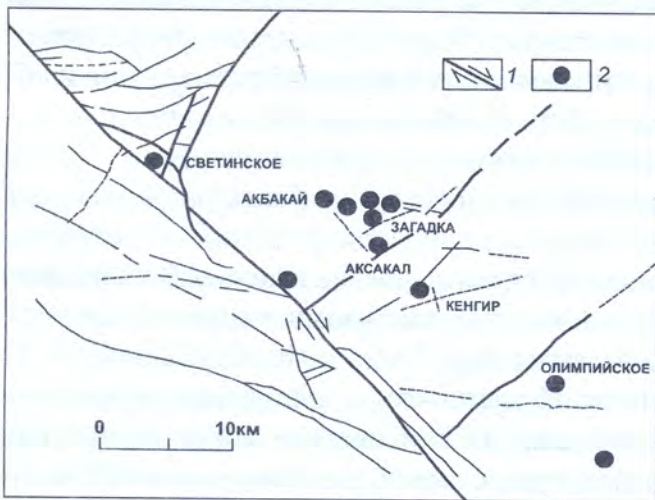


Рис. 2. Схема размещения месторождений Акбакай-Кенгирского рудного поля, акбакайский металлогенический комплекс [5]: 1 – Жалаир-Найманский сдвиг; 2 – месторождения золота

крупными и средними месторождениями Акбакай, Аксакал, Кенгир, Загадка и др.). Все контролирующие поперечные разломы расположены на расстоянии «шага максимальных тектонических напряжений», т. е. повторяют обстановку в металлогенической зоне Кызылкумов в Узбекистане и Киргизии. В Светинско-Акбакайском золоторудном узле «шаг» значительно меньше – 15–17 км. Очевидно, деформация и максимальные перемещения в период золотого оруденения охватили преимущественно северо-восточный мобильный тектонический блок Жалаир-Найманской зоны. Здесь возникла, или «возродилась», главным образом северо-восточная система поперечных

локальных рудоконтролирующих разломов. Именно вдоль них были обнаружены крупные золоторудные объекты.

### **Осложнение границ золоторудных поясов, металлогенических областей и зон**

Оживление, подновление локальных рудоконтролирующих разломов, а также сравнительно избирательное проявление золотого оруденения в мобильных тектонических блоках существенно осложняет границы золоторудных металлогенических зон, поясов и районов. Проявление среди локальных разломов системы поперечных рудоконтролирующих нарушений, протяженных боковых ветвей, отделяющихся от региональных разломов и вытягивающихся иногда на несколько сотен километров, приводит к возникновению «заливов», ответвлений, расширений в сравнительно линейных рудных таксонах [8]. Еще более осложняет поиск оруденения его неравномерное размещение. Так, из месторождений, разрабатывавшихся вдоль разлома Чикаго (США), к концу XX в. в сумме добыто около 470 т золота на рудниках, располагавшихся с север-северо-запада на юг-юго-восток, в полосе протяженностью около 200 км. Однако половина золота получена на объектах, охвативших участок протяженностью всего 10–12 км (в округе Амадер), вблизи северного фланга рудоконтролирующего нарушения [3, 9].

Еще более неравномерное распределение золота в Кызылкумской металлогенической зоне. В районе Мурунтау (с учетом развития месторождений Даугыз, Высоковольное и др.) сосредоточено и частично добыто 4500 т золота, в то время как по общей оценке в пределах всей зоны ресурсы золота составляют около 6000 т [1]. Таким образом, подтверждается предположение академика В.И. Смирнова [7], считавшего, что существенные, даже основные доли руд (до 75–80% металла) локализируются в пределах геологически очень ограниченных перспективных участков, которые он называл (на примере месторождений ртути) «рудными ловушками».

### **Возможные рудные ловушки, заключающие золоторудные месторождения**

В.И. Смирнов [7], основываясь на зависимости пространственного положения месторождений ряда металлов (особенно ртути) относительно рудоконтролирующих разломов, высказал мнение, что крупные рудные скопления преимущественно образуются и соответственно размещаются только в пределах геологически перспективных тектонических блоков, характеризующихся контрастной геологической обстановкой, наличием элементов, экранирующих растворы, а также вблизи границ пород с резко отличающимися прочностными и литологическими свойствами – в рудных ловушках. Для золоторудных месторождений можно наметить три типа благоприятных геологических обстановок (рудных ловушек).

Наиболее перспективны блоки пород структурно-литологического типа (в том числе деформированные благоприятные вулканоструктурные образования, малые магматические штоки, трубки взрывных и эруптивных брекчий, поля сближенных хрупких даек, прослой контрастно-хрупких и легко замещаемых железистых кварцитов и других пород, зоны контактов). Менее значимы: а) блоки преимущественно структурного профиля (с пучками протяженных и сближенных разрывов, интенсивно деформированные участки разломов и мощных зон расланцевания, системы многочисленных глубокопроникающих трещин); б) блоки литологического профиля (с деформированными прослоями сравнительно

легко замещаемых, особенно карбонатных, карбонатно-терригенных пород и амфиболитовых сланцев).

Структурно-литологические ловушки могут быть представлены как сравнительно небольшими тектоническими блоками, превышающими в поперечнике 0,5–1 км и сложенными (в отличие от окружающих и примыкающих к ним пород) более хрупкими геологическими образованиями или таковыми, заключенными в более пластичных телах. В результате сравнительно хрупкие тела вначале аккумулируют нарастающие напряжения, а при достижении критического значения сравнительно избирательно деформируются. При этом возникает значительное количество разнообразных по объему тектонических полостей, пустот и пор. Понятно, что именно такие образования могут быть заполнены в период оруденения максимально возможными объемами рудоносных растворов и флюидов.

### Заключение

Суммируя выявленные к настоящему времени на золоторудных месторождениях геологические обстановки, связанные с рудоконтролирующими нарушениями, можно разработать способы для наименее затратного проведения рациональных поисков и сравнительно быстрого обнаружения месторождений золота.

1. Наличие зон региональных рудоконтролирующих разломов большой протяженности, характеризующихся субпродольным направлением по отношению к главным геотектоническим постройкам, а также проявление боковых протяженных ветвей и разрывов, контролирующих размещение золотого оруденения.

2. Развитие наряду с региональными разломами менее протяженных локальных рудоконтролирующих разрывов, среди которых наиболее перспективны системы поперечных (или субпоперечных) чередующихся нарушений. Подавляющее большинство крупных и крупнейших месторождений золота пространственно связаны с такими поперечными разрывами. Благоприятны также для локализации месторождений расщепляющиеся и загибающиеся фланги любых рудоконтролирующих разрывов.

3. Проявление наиболее перспективных, мобильных тектонических блоков, преимущественно локализирующих большую часть золота, обособившегося в пределах золоторудного таксона.

4. Узловое распределение золотого оруденения вдоль рудоконтролирующих нарушений, локализация основных объемов руд и металла (нередко более половины в пределах золоторудного таксона) вблизи ограниченных интервалов, отрезков отдельных рудоконтролирующих разломов.

5. Наиболее перспективно обнаружение крупных и крупнейших золоторудных месторождений в пределах сравнительно небольших рудных ловушек, образованных максимально контрастными, хрупкими и легко замещаемыми образованиями, а также ловушками исключительно структурного типа.

### Литература

1. Вихтер Б.Я. Главные факторы локализации основных геолого-промышленных типов месторождений благородных металлов в Западной части Южного Тянь-Шаня // Тр. ЦНИГРИ. В. 236. М., 1991. С. 110–115.
2. Вольфсон Ф.И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 305 с.

3. Константинов М.М. Золоторудные провинции мира М.: Научный мир, 2006. 355 с.
4. Некрасов Е.М. Структурные условия локализации жильных свинцово-цинковых месторождений. М.: Недра, 1980. 250 с.
5. Рафаилович М.С. Изменчивость состава формационных и геохимических типов золотого оруденения и ее использование при прогнозировании и поисках. Алма-Ата, 1994. 94 с.
6. Рудные месторождения Узбекистана / Отв. ред. Голованова И.М. Ташкент, 2001. 660 с.
7. Смирнов В.И., Рыженко Л.М. Некоторые особенности образования и размещения ртутных месторождений // Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 289–301.
8. Стружков С.Ф., Константинов М.М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Научный мир, 2005. 320 с.
9. Шер С.Д. Металлогения золота. Т. 2. М.: Недра. 1972, 295 с.
10. Charest Alain, Castaneda Javier. Geologia y modelo yacimiento De Oro El Sauzal, Chihuahua, Mex / Mem. trab. Teen. 22 Conv. пае., Acapulco. 14–18 oct., 1997 Т. 1. Аса-пулько, 1997. С. 137–148.
11. Sillitoe R.H. Gold metallogeny of Chili – an introduction // Econ. Geol. 1991. V. 86, P. 1187–1205.

*ФГУНПП «Аэрогеология», ИАЦ «Минерал»  
(117485, г. Москва, ул. Академика Волгина, д. 8, стр. 2;  
e-mail: necrasov@mineral.ru)  
Рецензент – Г.Н. Пилипенко*

## СХОДСТВО И КОРЕННЫЕ РАЗЛИЧИЯ КРУПНЫХ И РЯДОВЫХ ТРЕЩИННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

*Показана идентичность геологических обстановок размещения и структур крупных и рядовых месторождений золота. Первые отличаются приуроченностью оруденения к крупномасштабным рудовмещающим нарушениям – разломам, протяженным системам многочисленных чередующихся трещин и пучкам сближенных рядовых разрывов и разрывов-лидеров. Они сочетаются в неоднородной геологической среде с относительно хрупкими штоками и дайками магматических и слоями метасоматически замещенных пород, выступающих в роли концентраторов оруденения. Выделены семь структурных типов крупных месторождений золота, принадлежащих к двум классам рудоносных участков – линейно вытянутым и изометричным.*

*(Руды и металлы. 1999. № 3. С. 48–62).*

В настоящее время крупные (с запасами золота более 100 т, считая извлеченное) и крупнейшие (с запасами более 300 т) золоторудные месторождения нередко рассматриваются как экзотические объекты, характеризующиеся уникальными чертами. Однако детальный сопоставительный анализ более 100 таких объектов, расположенных в различных геотектонических структурах и странах мира (включая территорию СНГ), показал, что геологическая позиция оруденения, внутренняя структура рудоносных участков, минеральный состав руд и многие другие их характеристики аналогичны таковым для рядовых объектов. Главное отличие крупных месторождений – это проявление скоплений руд золота в особо крупных масштабах и в какой-то мере более значительный вертикальный размах обычно непрерывно прослеживающегося оруденения.

Действительно, как и рядовым, крупным и крупнейшим месторождениям золота при- сущее размещение в обычных «стандартных» геологических обстановках. Например, для месторождений, приуроченных к линейным трещинным структурам, характерна локализация: в зонах расщепления, наследующих кливаж сжатых складок антиклинального и синкли- нального типа (см. рис. 1, б, и, к); в изогнутых протяженных участках крупных рудовмеща- ющих нарушений (см. рис 1, в, г, ж); в узлах пересечений ими сравнительно хрупких и «ре- акционных» пород, благоприятных для трещинообразования и замещения (см. рис. 1, а, е, н), в мощных рудовмещающих структурах – рудоносных разломах, в широких и протяженных системах сменяющих друг друга рудоносных, обычно оперяющих, трещин или в протяжен- ных пучках и зонах сближенных субпараллельных разрывов (см. рис. 1, к, л, м, н, о).

Примеры обычных геологических обстановок размещения крупных и крупнейших ме- сторождений золота, приуроченных к узлам сопряжений различных трещинных элементов

структуры, показаны на рис. 2. Такие узлы могут располагаться как в однородной рудовмещающей среде, так и среди различных слоистых пород, находящихся нередко в сочетании с магматическими образованиями (в том числе с элементами вулканотектонических построек). В частности, крупные месторождения аналогично рядовым золоторудным объектам локализуются в узлах пересечения и сопряжения мощных разломов с зонами расщепления и дробления, а также в узлах пересекающихся разрывов, наложенных на структуры вулканотектонических построек или выступающих в качестве их радиальных и кольцевых нарушений (рис. 2, а, б, г). Как и для рядовых месторождений золота, узлы рудоносных трещинных структур нередко сочетаются со складками или тектонически деформированными протяженными контактовыми зонами различных, в том числе магматических пород (см. рис. 1, а, е, о; рис. 2, е). Некоторые крупные месторождения локализуются в штоках и дайках сравнительно хрупких пород, выступающих в роли концентраторов трещин, к которым приурочены золоторудные тела (см. рис. 1, п; рис. 2, д, ж).

Структура крупных и значительно чаще встречающихся рядовых золоторудных месторождений, принадлежащих к тому же типу, также практически сходна, в частности, на участках крупных месторождений с линейно вытянутыми рудоносными разрывами и золоторудными телами. Иногда на таких участках оруденение располагается избирательно: в пересекаемых слоях реакционноспособных пород (см. рис. 1, а, и), в сравнительно хрупких породах интрузивных штоков (см. рис. 1, е) или даек (см. рис. 1, п).

Наряду с линейно вытянутыми рудоносными участками известны как рядовые, так и крупные месторождения с узловым размещением оруденения. Последнее приурочивается к местам разветвления рудоносных разрывов (см. рис. 1, е, к, л, н; рис. 2, г), а также к пересечениям и сочленениям нарушений разного направления (см. рис. 1, к, л, м; рис. 2, а, б, в, з, к). Нередко такие узлы связаны с вулканотектоническими постройками (см. рис. 1, н; рис. 2, а, б, г) или приурочены к сравнительно хрупким и благоприятным для трещино- и рудообразования протяженным контактовыми зонами слоистых и интрузивных пород (см. рис. 2, е). Оруденение на участках некоторых крупных месторождений локализуется исключительно в тектонически деформированных магматических штоках и дайках, выступающих концентраторами оруденения [3]. Такие тела заключают жилы, непрерывно сменяющие друг друга в вертикальном интервале, превышающем 1–2 км (см. рис. 1, е, п; рис. 2, б, д, ж). Таким образом, не только геологическая позиция, но и структура рудоносных участков крупных и крупнейших золоторудных месторождений полностью сходны с участками, содержащими рядовые запасы золота, и отличаются от последних лишь более крупным масштабом рудовмещающих нарушений.

В настоящее время в отечественной и зарубежной литературе приводится чрезвычайно обширный материал, в котором проанализированы основные черты и параметры крупных и крупнейших золоторудных месторождений. Любое из крупных месторождений золота (за исключением «очень богатых» золотом жильных Хишикари в Японии, Эскей-Крик в Британской Колумбии, Канада и, может быть, Мейкл в Неваде, США и Аметистовое в России) представлены сравнительно компактными (сосредоточенными) скоплениями руды, количество которой колеблется от нескольких десятков до первых сотен миллионов тонн. Как правило, подобные скопления руды заключены в зонах тектонических нарушений нескольких структурных типов, отвечающих, по крайней мере, двум условиям, а именно: они являются структурами крупного масштаба и проницаемы в период поступления золотоносных растворов. Таким условиям отвечают трещинные нарушения трех типов: 1 – крупные и протяженные в плане и на глубину разломы и мощные зоны расщепления и дробления;



- |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

2 – протяженные и широкие, проникающие на большую глубину *трещинные системы*, состоящие из кулисообразно сменяющих друг друга многочисленных рядовых разрывов, располагающихся компактно, близко один от другого и иногда связанных на флангах; 3 – *зоны и пучки рядовых и мощных разрывов-лидеров* значительной протяженности и мощности.

Для оруденелых трещинных систем (например, на месторождениях Мурунтау в Узбекистане, Наталкинское в РФ, Холлинджер – Мак-Интайр и Доум в Канаде, Калгурли в Австралии и др.) характерно непрерывное развитие системы рядовых золоторудных тел в плане на 3–6 км и более, в разрезе до глубины 2,5 км при ширине системы 200–1000 м. Рудные тела в них представлены чередованием рядовых жилообразных залежей и зон вкрапленного оруденения или протяженными и мощными штокообразными залежами вкрапленно-прожилковых руд [4, 6, 12, 14].

Образование руд в крупных и крупнейших месторождениях золота также происходит обычным путем, характерным и для рядовых объектов, – либо в результате раскристаллизации рудоносных растворов в оптимальном интервале глубин и наиболее благоприятных температурных условиях, либо путем метасоматического замещения одними компонентами раствора (в том числе рудными) компонентов вмещающей среды или одновременно тем и другим способами [6]. Как известно, метасоматические руды как бы «разрастаются» в стороны от трещинных каналов, проводящих золотоносные растворы, что и позволяет относить многие субпластовые, линзо- и штокообразные месторождения метасоматических руд золота также к трещинным образованиям. Например, объекты «карлинского» типа, локализованные в породах терригенно-карбонатных и карбонатных формаций, или некоторые трубо- и штокообразные месторождения вкрапленных и прожилково-вкрапленных так называемых золотосеребро-порфириновых руд, размещаются в вулканитах вулканотектонических построек [5], такие как Поргера и Лихир в Папуа-Новая Гвинея, Мак-Лафлин и Раунд-Маунтин в США (см. рис. 2, а, б, в), а также Майское в России, Пуэбло-Вьехо в Доминиканской Республике и др.

Имеющиеся данные по крупным и крупнейшим месторождениям золота свидетельствуют о том, что на их рудоносных участках «кровля» рудных тел сформировалась на глубине от первых сотен метров до, видимо, 4–4,5 км от древней доминерализационной палеоповерхности [4], т.е. в том же вертикальном интервале глубин, что и на прочих, значительно чаще встречающихся, средних и особенно мелких рудных объектах. В частности, статистическая обработка размещения более 800 эндогенных месторождений золота трещинного типа показала, что в пределах отдельных металлогенических единиц-таксонов на одно крупное

**Рис. 1. Генерализованные схемы крупных золоторудных месторождений, приуроченных к рудовмещающим структурам линейного типа:**

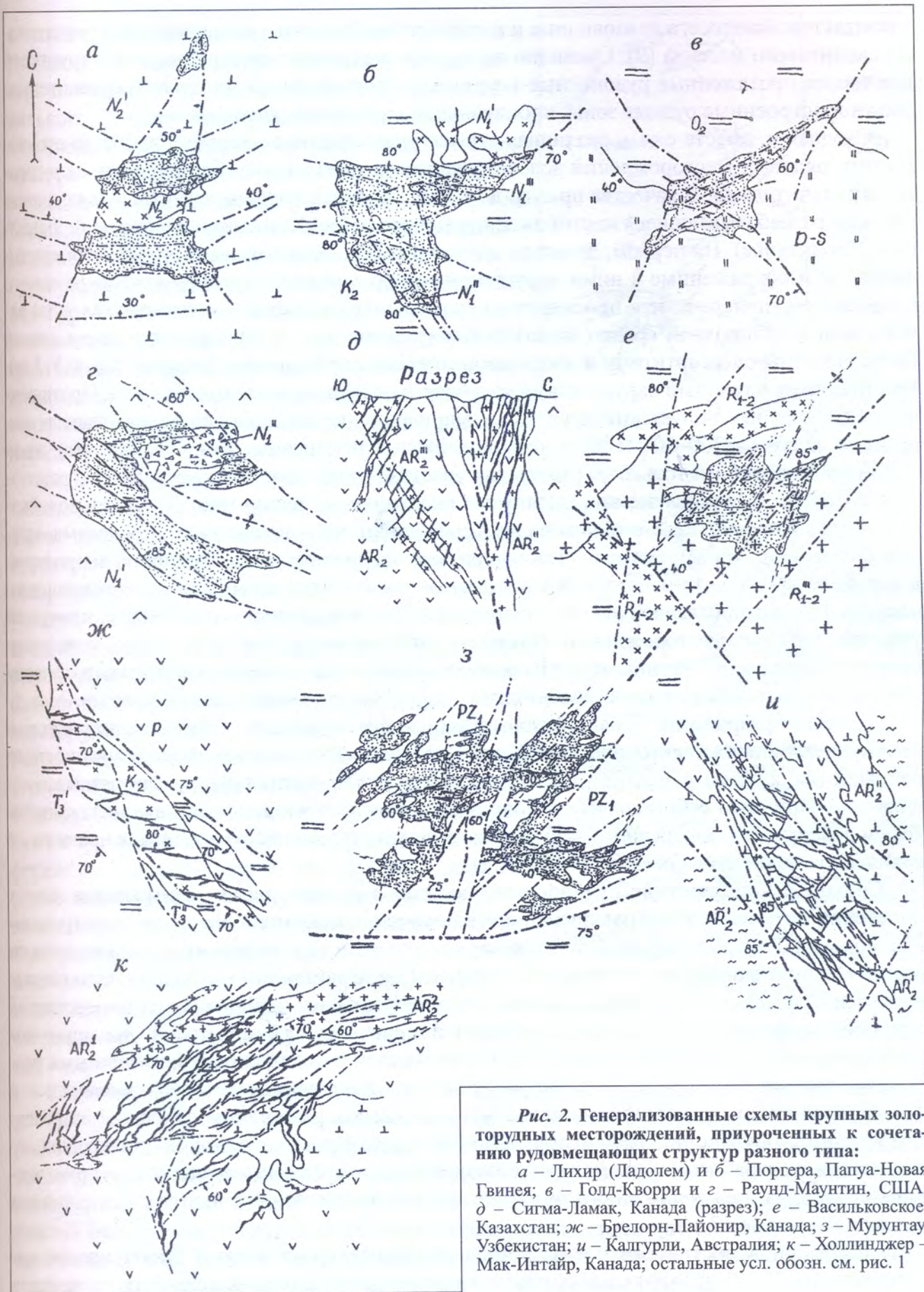
а – Хомстейк, США; б – Сухой Лог, Россия; в – Бақырчик, Казахстан; г – Голдстрайк, США; д – Нежданское, Россия; е – Керкленд-Лейк, Канада; жс – Комшток, США; з – Керр-Эдисон, Канада; и – Морроу-Велью, Бразилия; к – Ашанти, Гана; л – Кемпбелл-Дикенсон, Канада; м – Наталкинское, Россия; н – Многовершинное, Россия; о – Чармитан, Узбекистан; п – Аляска-Тредвел, США; 1 – кристаллические сланцы и кварциты, кварц-хлорит-серицитовые сланцы и филлиты; 2 – породы песчаниковых и грубообломочных формаций; 3 – породы песчанико-филлитовых и песчанико-глинистосланцевых формаций; 4 – породы кварц-сланцево-карбонатных, терригенно-карбонатных и карбонатных формаций; 5 – вулканиты и метавулканиты базальтовых и андезито-базальтовых формаций; 6 – то же, преобладающих андезитовых и дацитовых формаций; 7 – андезитовые и дацитовые пирокласты преимущественно субвулканических тел; 8 – вулканиты и метавулканиты латит-риолитовых, риолитовых и липаритовых формаций; 9 – тела взрывчатых и эруптивных брекчий преимущественно кислого состава; 10 – габбро и габбро-амфиболиты; 11 – диориты и кварцевые диориты, монзониты и сиениты; 12 – граниты и гранодиориты; 13 – дайки кварцевых порфириров, фельзитов и альбитофириров; 14 – оси складок (а – антиклинальных, б – синклинальных); 15 – разломы, зоны дробления и рассланцевания (а – главные, мощные и протяженные, б – подчиненные им, второстепенные); 16 – зоны рассланцевания и волочения; 17 – массивные золоторудные жилы и жилообразные залежи сульфидно-вкрапленных, прожилковых и штокверковых руд; 18 – зоны золото-сульфидных и прожилково-вкрапленных руд

(запасы золота более 100 т) или крупнейшее месторождение (более 300 т) приходится 5–6 средних (запасы от 15–20 до 80–100 т) и 25–28 мелких (менее 12–15 т) объектов.

Вертикальный интервал оруденения, непрерывно прослеживаемого от современной поверхности, обычно колеблется для крупных месторождений близповерхностного генезиса от 500–800 м до, видимо, 3,5–4 км для средне- и глубокосформированных рудоносных участков [3, 6, 8]. В частности, месторождения близповерхностных золотосеребряных и золототеллуридных руд, связанные с вулканотектоническими постройками, имеют максимальный размах оруденения, достигающий или несколько превышающий 1 км. Такие параметры характеризуют крупные месторождения Сильвертон-Теллурид, Комшток и Крипл-Крик в США, Гуанахуато в Мексике, а также средние – Шуйор и, возможно, Бая-Сприе в Румынии. Наименьшим вертикальным размахом оруденения отличаются близповерхностные месторождения так называемого карлинского типа, приуроченные к залежам джаспероидных метасоматитов, развившихся по зонам тектонически нарушенных пород терригенно-карбонатных и карбонатных формаций. В частности, на таких крупнейших объектах, как Голдстрайк, Голд-Кворри, Пайплайн, Карлин и Гетчелл – Теркуаз-Ридж в Неваде, США, оруденение непрерывно прослеживается в вертикальном интервале, не превышающем 500–700 м [15]. Особенно наглядно это подтверждается на примере протяженных фланговых участков месторождения Голдстрайк, где основное оруденение не достигает современной поверхности и было оконтурено в «кровле» и на глубину буровыми скважинами [13]. Для малых и средних эпitherмальных месторождений вертикальный диапазон оруденения чаще не превышает 300–500 м, а для средне- и глубокосформированных объектов – 1000–1500 м.

Наиболее поразительно сходство крупных и рядовых месторождений, рудовмещающие структуры и рудные тела которых блокированы поперечными дорудными разрывами. Так, на месторождениях Нежданинское в России и Чармитан в Узбекистане рудоносные участки задолго до процесса оруденения были пересечены серией протяженных и мощных крутопадающих разрывов, расчленивших их на ряд крупных тектонических блоков (см. рис. 1, д, н). Каждый из них в дальнейшем развивался специфично [11]. На Нежданинском месторождении расстояние между блокирующими разрывами достигает 600–1000 м и более. В одних блоках здесь возникли рудовмещающие трещинные структуры субмеридионального простирания, в других – север–северо-западного с иным внутренним строением. Между редко расположенными поперечными разрывами заложились и затем в течение длительного этапа дорудной подготовки формировались мощные (от 5–8 до 70 м) оруденелые зоны разрывов, протягивающиеся непрерывно на 700–1000 м и более. Примечательно, что каждое мощное рудовмещающее нарушение оказалось как бы закономерно смещенным (правосторонне в плане) поперечным нарушением, но оруденение всегда имеет продолжение в другом его боку. Именно таким образом подготовленная в дорудное время трещинная рудовмещающая структура этого месторождения подверглась оруденению [11], которое прослеживается с севера на юг на протяжении более 4 км. При этом почти каждый соседний тектонический блок характеризуется наличием различно ориентированных, не совпадающих по количеству рудных тел (и рудовмещающих нарушений) неодинакового строения.

На месторождении Чармитан (запасы 280 т с содержанием золота в руде 10 г/т) субширотные отрезки рудоносных зон сменяются в некоторых соседних тектонических блоках участками, имеющими запад–северо-западное направление, причем число и тех, и других в подобных блоках иногда также не совпадает. Вертикальный размах оруденения более 1800 м. Линейно вытянутые зоны штокверкового типа локализованы здесь в сланцевой эк-



**Рис. 2.** Генерализованные схемы крупных золоторудных месторождений, приуроченных к сочетанию рудовмещающих структур разного типа:

*a* – Лихир (Ладолем) и *б* – Поргера, Папуа-Новая Гвинея; *в* – Голд-Кворри и *г* – Раунд-Маунтин, США; *д* – Сигма-Ламак, Канада (разрез); *е* – Васильковское, Казахстан; *ж* – Брелорн-Пайонир, Канада; *з* – Мурунтау, Узбекистан; *и* – Калгурли, Австралия; *к* – Холлинджер – Мак-Интайр, Канада; остальные усл. обозн. см. рис. 1

зоконтактной полосе, а линзовидные и жилообразные залежи – в эндоконтакте гранитоидно-сиенитового массива [9]. Очевидно на месторождениях с крупноблоковой структурой возникают протяженные рудоносные нарушения, формируются мощные и сравнительно сложнопостроенные рудные зоны, проникающие на большие глубины.

Сходная и, вместе с тем, различная структурная «картина» характерна для многочисленных рядовых месторождений золота, участки которых также блокированы дорудными ограничителями. В качестве примеров можно привести хорошо известные, в недавнем времени разрабатывавшиеся месторождения Центральное (Кузнецкий Алатау) и Любавинское (Забайкалье). На первом, детально изученном В.И. Баженовым и др. [1], субмеридиональные и сопряженные с ними нарушения северо-западного – север–северо-западного направлений (поперечные к простиранию рудоносных разрывов и золоторудных жил) заложены в однородной среде (палеозойских гранитоидах) в этап формирования даек и были залечены спессартитами и микродиоритовыми порфиритами (мощностью 0,5–3 м). Расстояние между этими нарушениями колеблется от первых десятков до 100 м. Протяженность поперечных нарушений невелика – маркирующие их дайки прослеживаются, как правило, всего на 200–500 м. При этом додайковые поперечные разрывы, видимо, из-за малой протяженности только на отдельных участках разделяют рудовмещающие гранитоидные породы на угловатые или вытянутые пластинчатые блоки (рис. 3). Такие додайковые разрывы проявились не только на месторождении, но и далеко за его пределами, причем примерно с той же частотой. Таким образом, на сравнительно обширной территории в дорудное время возникли участки с мелкоблоковым строением. Разрывы рудоносного направления накладывались на эту структуру, т.е. формировались в обстановке, присущей участкам крупных месторождений. Однако мелкоблоковость участков, скорее, пересеченность их часто расположенными непротяженными разрывами привела к заложению между каждой парой таких разрывов сравнительно коротких рудовмещающих трещин. Между поперечными разрывами, характеризовавшимися интенсивными перемещениями (т.е. в наиболее мобильном тектоническом блоке), появлялось несколько трещин рудоносного направления, а затем и золоторудных жил, между слабо «оживлявшимися» разрывами – одна–две. При этом субширотные рудоносные разрывы и жилы выклинивались, «упираясь» в поверхность поперечного нарушения. В результате количество жил, как правило, не совпадало с таковым в соседних блоках.

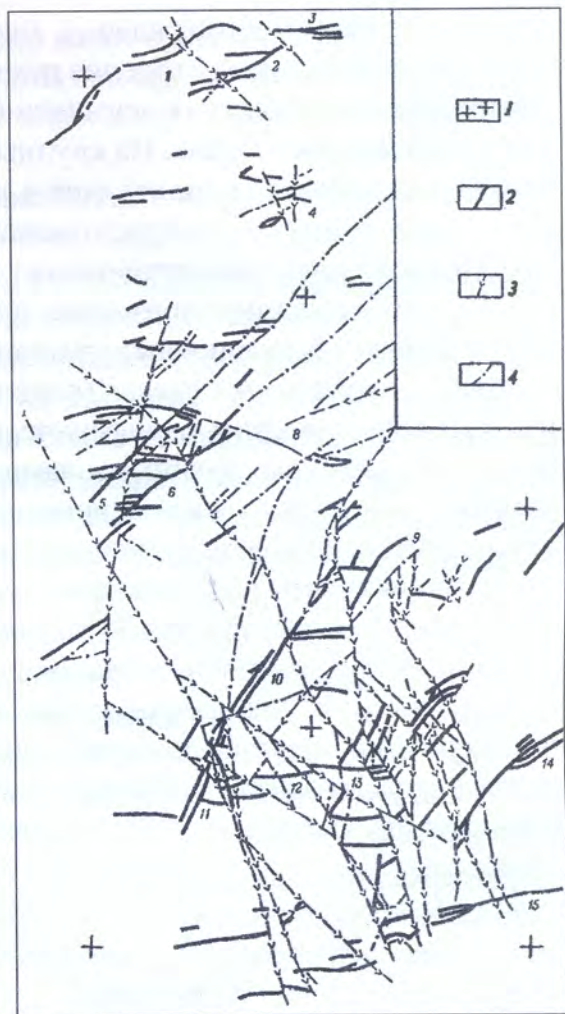
Сравнительно короткие рудоносные трещины месторождения Центральное имеют простейшее строение – это раскрывшиеся в период оруденения прямолинейные трещинные полости. Они залечены маломощными массивными сульфидно-кварцевыми жилами плитообразной формы, тупо заканчивающимися на ограничениях с додайковыми поперечными разрывами. Параметры жил небольшие. Вертикальный размах их определяется наиболее четко проявленными плоскостями поперечных ограничителей, наклонно погружающимися и смыкающимися на глубине. В связи с подавлением поперечными разрывами трещиноватости другого направления рудовмещающие разрывы заложены и формировались на нескольких участках месторождения разобщенно. Каждый из участков жильного оруденения имел небольшую протяженность – от одной до нескольких сотен метров и разрабатывался индивидуально. В результате за многолетнюю историю эксплуатации месторождения из его руд было извлечено всего 8,4 т золота с содержанием последнего в руде 13 г/т.

Аналогичная обстановка и внутреннее строение характеризуют Любавинское месторождение. Здесь сравнительно мощная толща рудовмещающих пермских песчаников

и сланцев пересечена двумя системами «блокирующих» крутопадающих разрывов восток–северо-восточного и подчиненного субмеридионального – север–северо-западного направлений. Сочленяясь, эти нарушения разделяют участок месторождения на многочисленные мелкие тектонические блоки клиновидной формы в плане [10]. Блоки преимущественно небольшие – по длинной стороне 50–150 м. Блокоразделяющие нарушения представлены маломощными (первые метры) зонами дробления или тектоническими швами, заполненными «сухой» хлоритизированной и частью окварцованной дорудной глиной трения (мощностью 3–30 см). Последняя, как правило, содержит тонкую вкрапленность раннего арсенопирита и пирита.

На месторождении одни клиновидные тектонические блоки заключают серии золото-сульфидно-кварцевых жил запад–северо-западного простирания, другие, примыкающие к ним жилы северо-западного направления, а на Восточном участке – субширотного и даже северо-восточного. В последнем случае жилы как бы использовали при формировании полости поперечных блокирующих разрывов. Количество и мощность золоторудных жил в смежных тектонических блоках обычно не совпадают. Протяженность их ограничивается шириной блока в направлении с запада на восток и составляет несколько десятков – первые сотни метров. Мощность жил, определявшаяся, в первую очередь, раскрытием рудоносных трещин между парой блокоразделяющих ограничителей, преимущественно 1–3 м. Приведенные параметры рудных тел обусловили и небольшие запасы руд и золота, К концу 1993 г., после нескольких десятков лет эксплуатации месторождения, из руд его было извлечено 7,1 т металла, несмотря на сравнительно высокое содержание золота (21 г/т).

Резюмируя, следует подчеркнуть, что на крупных месторождениях трещинные рудовмещающие структуры формировались в пределах участков, нарушенных сравнительно редкими разрывами поперечного направления. Значительная протяженность рудовмещающих нарушений обуславливалась заложением их между каждой парой блокирующих разрывов, далеко отстоящих друг от друга. При этом в случае длительной дорудной подготовки участка месторождения рудовмещающие разрывы многократно подновлялись, увеличивалась мощность их зоны, которая приобретала сложное и, главное, различное строение на отдельных участках как по простиранию, так и в поперечном разрезе.



**Рис. 3.** Схема геологического строения мелкоблокового золоторудного месторождения «Центральное» в Кузнецком Алатау:

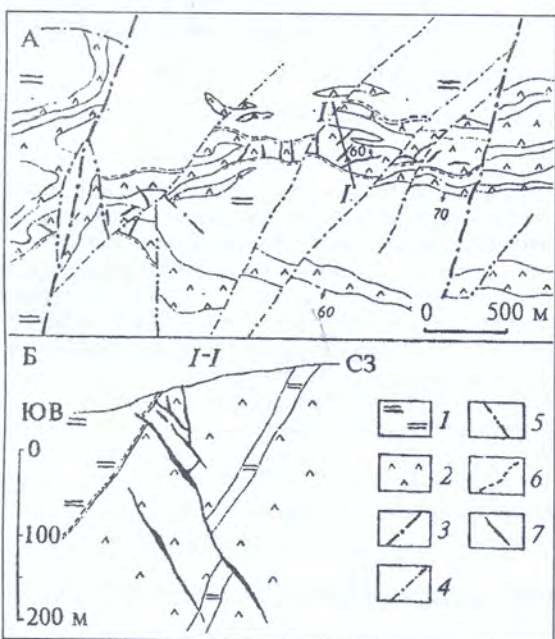
цифры на карте – жилы (и рудовмещающие нарушения), проникающие из одного тектонического блока в другой: 1 – Веселая, 2 – Тысячная, 3 – Вторая Сибзолотовская, 4 – Дорожная, 5 – Решающая, 6 – Центральная, 7 – Казанская, 8 – Успенская, 9 – Первая Сибзолотовская, 10 – Северная, 11 – Лотерейная, 12 – Кавказская, 13 – Алтайская, 14 – Дмитриевская, 15 – Хребтовая; 1 – гранодиориты; 2 – кварцевые жилы; 3 – дайки спессартитов, микродиоритов и диоритовых порфиров; 4 – разрывные нарушения

В результате месторождения, характеризующиеся крупными запасами руд и металла, имеют крупноблоковое строение рудоносных участков, а небольшие месторождения – мелкоблоковое. На последних оруденение прослеживается непрерывно всего на десятки – первые сотни метров в плане. На крупных месторождениях неминерализованные рудовмещающие нарушения смещались еще в дорудное время редкими блокирующими разрывами. Последующее оруденение расположенных между ними протяженных и мощных зон рудовмещающих нарушений приводило к локализации крупных скоплений руд.

Другим наглядным примером, иллюстрирующим различие внутреннего строения рядовых и крупных рудоносных участков, могут служить месторождения, локализующиеся в хрупких геологических средах (породах). В пределах рассмотренного выше Центрального рудного поля известны периферические участки, сложенные песчанико-глинистосланцевыми породами, рассеченными лампрофировыми дайками. В тектонически нарушенных раздвух некоторых даек установлены золотоносные штокверки мелких сульфидно-кварцевых прожилков, сочетающихся с вкрапленностью золотосодержащих сульфидов. Небольшая мощность раздвух и мелкие масштабы штокверков обуславливают невысокие запасы золота в них при рядовых содержаниях благородного металла.

Однако при значительной мощности сравнительно хрупких пород, подвергающихся избирательному трещинообразованию, протяженность формирующихся в них золоторудных жил нередко возрастает до первых сотен метров, число их увеличивается на один–два порядка, а запасы золота, особенно при высоких содержаниях его в рудах, достигают десятков тонн. Так, на Каральвеевском месторождении (Чукотка) к концу 1993 г. запасы составили

38,7 т при среднем содержании золота в руде около 29,7 г/т. На этом месторождении рудовмещающие разрывы сформировались в сравнительно хрупком горизонте габбро-диабазов, заключенном в мощной толще, видимо, более пластичных триасовых алевролитов, глинистых сланцев и песчаников, круто падающих на юг. Мощность горизонта габбро-диабазов 150–350 м, чем и определяется протяженность в плане пересекающих его золоторудных жил (рис. 4). В дорудное время на отдельных участках горизонт был деформирован пересекающими его крутопадающими разломами север–северо-восточного простирания и согласными взбросами. При этом секущие разломы проявились в виде пучка сближенных нарушений, располагающихся друг от друга на расстоянии 150–500 м, между двух («пары») главных протяженных разломов субмеридионального направления. Габбро-диабазовый горизонт по разломам пучка последовательно левосторонне смещен на несколько десятков метров в плане. Дорудная деформация горизонта в узле пересечения согласными взбросами и секущими разломами привела к образованию в нем системы сопряженных оперяющих сколов север–северо-восточного – субширотного направления.



**Рис. 4.** Схема геологического строения Каральвеевского месторождения (А) и разрез рудоносного горизонта габбро-диабазов в его восточной части (Б):

триасовые породы: 1 – песчаники, алевролитовые и глинистые сланцы, 2 – горизонты габбро-диабазов; 3 – главные разломы; 4 – локальные рудоконтролирующие разломы; 5 – второстепенные разрывные нарушения; 6 – межформационные дорудные взбросы; 7 – золоторудные малосульфидно-кварцевые жилы

Первые из них ориентированы поперечно к падающему на юг слою и сами имеют падение в восточные румбы под углом около 60–70° (см. рис. 4). В них сформировались жилы мало-сульфидно-кварцевых руд мощностью от 0,5 до нескольких метров. По падению горизонта жилы прослежены на 500–600 м.

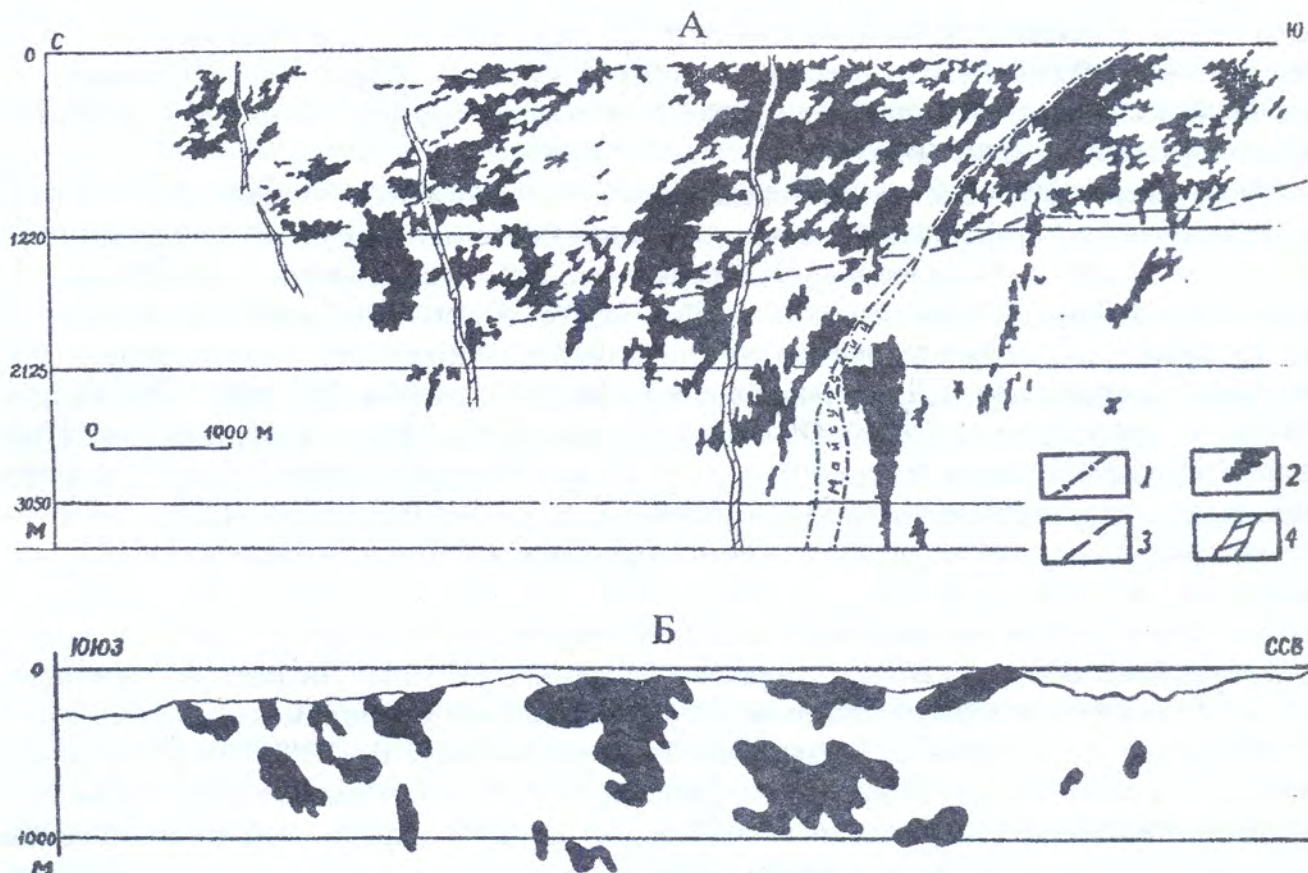
На крупных и крупнейших месторождениях, локализованных в хрупких породах интрузивных штоков, оруденение развивается в зонах более мощных разломов (до 30–50 м) на глубину 2,4–2,5 км от современной поверхности. При этом, например, на месторождении Керкленд-Лейк, Канада (извлечено 760 т золота, остаточные запасы около 70 т, см. рис. 1, е) оно прослеживается по простиранию на расстояние более 5 км. Иногда оруденение проявляется в виде непрерывной системы лестничных жил (протяженность каждой 150–250 м при мощности 2–3 м). На месторождении Сигма-Ламак, Канада (к 1997 г. извлечено около 280 т золота, см. рис. 2, д) они сменяют друг друга вниз по разрезу в штоке кварц-полевошпатовых пород на протяжении более 1,1 км. Интересно, что на этом месторождении, а также на «классическом» месторождении лестничных жил Морнинг-Стар, Австралия и других, «шаг» между жилами чаще равен 2/3 мощности рудовмещающего дайкообразного штока или дайки, что позволяет прогнозировать положение следующей, ниже расположенной жилы. Подобная закономерность, в частности, подтверждается также размещением жил в штоках крупного золоторудного месторождения Бестюбе (Казахстан).

На другом месторождении Казахстана – Васильковском (запасы 382 т металла, содержание золота в руде 2,9 г/т) – оруденение представлено единым штокообразным телом прожилковых и прожилково-вкрапленных руд (см. рис. 2, е). Оно приурочено к тектонически деформированному контакту ордовикских гранодиоритов и прорывающему их дайкообразному штоку габбро-диоритов. Форма рудного тела напоминает опрокинутый конус. Руды золотопорфирового типа имеют золото-пирит-арсенопирит-турмалин-кварцевый состав. В горизонтальном сечении вблизи поверхности рудный шток, оконтуриваемый только по данным опробования, имеет размеры 500 x 600 м. На глубину он прослежен примерно на 700 м, где выклинивается.

Таким образом, и на примере месторождений, локализованных в сравнительно хрупких геологических средах, также подтверждается характерная особенность крупных месторождений – все они приурочиваются к крупномасштабным рудовмещающим разрывам.

Именно различием только масштабов и соответственно параметров рудовмещающих трещинных полостей объясняют многие исследователи [5, 6, 8] поразительное сходство контуров распространения золотого оруденения и агрегатов разновозрастных минеральных ассоциаций, развитых в плоскости главных рудных тел, на участках как крупных, так и рядовых месторождений. Как правило, в обоих случаях контур оруденения генерализованно можно представить в виде треугольника, опрокинутого вершиной на глубину. В частности, именно такую форму имеет контур оруденения в пределах двух главных жильных зон – Чемпион и Ориенталь – на единственном в мире эндогенном месторождении золота Колар, Индия, вскрытом горными выработками и скважинами до глубины 3,5 км (рис. 5). На наибольшую глубину здесь распространяется рудный столб, склоняющийся вдоль поверхности поперечного дорудного сброса Северный Майсур [8].

На другом глубоко вскрытом месторождении Холлинджер – Мак-Интайр в Канаде оруденение в виде широкой системы многочисленных золоторудных залежей почти непрерывно прослеживается в плане более чем на 2,5 км, протягиваясь на глубину 2,4 км на юго-западном фланге участка Холлинджер [12]. В 500–700 м на юго-запад, в пределах участка Монета, оруденение проникает до глубины всего 350–400 м от современной



**Рис. 5. Размещение богатых руд в продольных плоскостях:**

А – главная жильная зона Чемпион на месторождении Колар, Индия; Б – рудоносный разлом близповерхностного месторождения золотосеребряных руд Комшток, США; 1 – дорудные разломы (в том числе главный рудоконтролирующий – Майсурский на месторождении Колар); 2 – контур золоторудных столбов; 3 – граница смены «верхних» пологосклоняющихся золоторудных столбов «нижними» крутосклоняющимися (на месторождении Колар); 4 – плерудные долеритовые дайки

поверхности. На другом, северо-восточном фланге на участке Мак-Интайр, примерно в 1,7–2 км от наиболее глубокопроникающей части месторождения, золотое оруденение не выходит на поверхность и развито в вертикальном диапазоне 0,5–1,5 км. Таким образом, контур его также описывается треугольником, распространяющимся по падению на крайних флангах на 400 и 1500 м и обращенным вершиной вниз. Последняя достигает максимальной глубины 2,4 км ближе к юго-западному флангу оруденелой системы трещин. Почти также распространяется оруденение на глубину на другом канадском месторождении золота Керкленд-Лейк в плоскости одноименного рудоносного разлома. Оруденение, развитое в зоне этого нарушения, достигает максимальных глубин (около 2300 м) в его центральной части, 1700 м – на юго-западном и около 850 м – на северо-восточном флангах разлома. Аналогичную форму в плоскости рудоносного разлома имеет также и контур эпиптермальных руд золота на месторождении Комшток (США), где оруденение распространяется на меньшую глубину – до 1,1 км,

В странах СНГ золотое оруденение на большую глубину (более 2000 м) прослежено скважинами только на месторождении Мурунтау. Здесь до этого уровня протягивается крупный золоторудный штокверк, который можно представить в виде уплощенного и вытянутого в северо-восточном направлении конусообразного столба с вершиной, опрокинутой вниз. Как известно, он контролируется узлом сочленения серии оруденелых субширотных зон расщеливания и трещиноватости с дорудным Северо-Восточным разломом (см. рис. 2, з),

вблизи которого оруденение и проникает на максимальную глубину [2], что напоминает охарактеризованное выше месторождение Колар. Для некоторых рядовых месторождений (с вертикальным размахом оруденения обычно менее 1 км) контур его имеет не одну, а 2–3 (иногда более) вершины, и вниз по падению приобретает как бы пилообразное очертание.

На сравнительно слабо эродированных месторождениях, особенно эпитермального типа, контур оруденения (в виде «полотна» треугольника) вверх по восстанию нередко как бы расщепляется и сменяется пучком «пальцев», обладающих одинаковым склонением. Обычно с положением их совпадают золоторудные столбы. Ниже, в контуре сплошного оруденения, некоторые из них прослеживаются до самых нижних границ месторождений. Однако, как правило, участки богатых руд с глубиной сменяются рядовыми, а местами вообще выклиниваются. Подмечено, что пережимы руды в трещинных полостях нередко связаны с встречающимися в них «пробками» дорудного глинистого вещества, а в полостях сравнительно мощных разрывов, залеченных минеральным веществом, – пробками раннего дозолотого кварца [6]. Очевидно, глинистые пробки служат местными, локальными экранами, способствующими формированию богатых руд золота в оставшейся приоткрытой части трещинной полости. Смена богатых руд рядовыми или даже бедными в сравнительно мощных отрезках жильных тел, видимо, обусловлена чрезвычайно слабой деформированностью мощных «пробок» раннего дозолотого кварца в этап внутрирудной тектоники. Золотоносные растворы, вероятно, как бы «огибали» слабопроницаемые участки рудовмещающих трещинных полостей, залеченные кварцем, что и препятствовало формированию в нём золотого оруденения. На рядовых месторождениях золоторудные столбы в продольной плоскости рудного тела прослеживаются по склонению, как правило, на десятки – первые сотни метров. На глубоко вскрытых крупнейших месторождениях золота, таких как Колар, Холлинджер – Мак-Интайр, Доум, Керкленд-Лейк, Хомстейк, Морроу-Велью, Ашанти, месторождениях пояса Мазер-Лод и др., богатые руды в золоторудных столбах непрерывны до глубин 1200–1500 м. Это свидетельствует о необыкновенно длительной устойчивости трещинных полостей, заполненных рудоносным раствором, на таком большом интервале. При этом минеральный состав богатых руд в крупных золоторудных столбах, по данным зарубежных геологов, очень постепенно изменяется в сторону увеличения с глубиной объемов ранних дозолотых минеральных ассоциаций относительно более поздних продуктивных. Также постепенно снижается содержание золота в рудах. В частности, на месторождениях Ашанти и Колар оно без скачков, постепенно, уменьшилось соответственно с 37,5 и 47,5 г/т до 10,6 г/т на глубине 1,8 км на первом и до 4 г/т на глубине 3,35 км – на втором. В отдельных вертикальных диапазонах средние содержания золота на месторождении Колар составляли: от верхних горизонтов до глубины 300 м – 42 г/т, в интервале 300–900 м ниже поверхности – 28 г/т, 900–2000 м – от 19,7 до 15,4 г/т, 2000–2500 м – от 12,4 до 10,2 г/т и в диапазоне 2500–3200 м – от 7,15 до 5,35 г/т. Все изложенное подтверждает представление о том, что на крупных и крупнейших трещинных месторождениях образование руд золота происходило в наиболее устойчивой термобарометрической обстановке, в зонах масштабных рудовмещающих нарушений, в пределах которых только и могут устанавливаться подобные условия [5, 6, 8].

Автором позднее были рассмотрены типы крупных и крупнейших трещинных месторождений золота [7]. Дальнейшее изучение геологических обстановок размещения и структур таких месторождений показало, что выделенные золоторудные объекты семи структурных типов целесообразно сгруппировать в два различных морфологических класса: с линейно вытянутыми и изометричными рудоносными участками (таблица).

## Структурные классы и типы крупных и крупнейших золоторудных месторождений

Классы	Типы	Максимальные запасы Au, т
Линейно вытянутые	Протяженные и широкие трещинные системы, сложенные многочисленными рудоносными разрывами-кулисами, непрерывно сменяющими друг друга в плане и на глубину с жильными, прожилковыми, изредка вкрапленными рудами (Мурунтау, Калгурли, Холлинджер – Мак-Интайр, Доум, Наталкинское и др.)	До 4000
	Единичные (или ограниченной серии) протяженные и мощные разломы, зоны расланцевания и дробления с прожилково-вкрапленными и штокверковыми рудами (Голдстрайк, Бакырчик, Керр-Эдисон, Комшток, Сухой Лог, Кумтор, Ашанти, Кемпбелл-Дикенсон, Морроу-Велью, Хомстейк, Нежданинское и др.)	До 1500
	Один или несколько субпараллельных протяженных пучков рудоносных разрывов с жильными и прожилково-вкрапленными рудами (Колар, Крипл-Крик, Багио, Пуэбло-Вьехо, Балей-Тасеевское, Многовершинное, Сильвертон-Теллурид, Раунд-Маунтин, Амантайтау, Даугызтау и др.)	До 900–1000
	Пучки рудоносных разрывов, расположенные вдоль протяженных тектонически деформированных контактов интрузивных (гранито-гнейсовых) массивов с жильными рудами (Глоб-Феникс, Чартерс-Тауэрс, Чармитан и др.)	До 250
Изометричные	Пересекающиеся и сочленяющиеся зоны разломов и пучки рудоносных разрывов со штокообразными телами прожилково-вкрапленных руд (Лихир, Поргера, Голд-Кворри и др.)	До 1500
	Контактные зоны интрузивных штоков и даек, нарушенных ветвящимися разломами или пучками рудоносных разрывов со штокообразными залежами и жилами вкрапленно-прожилковых руд (Керкленд-Лейк, Васильковское, Аляска-Тредвел и др.)	До 900
	Разрывы, рассекающие дайки и малые штоки интрузивных пород с лестничными жилами (Сигма-Ламак, Морнинг-Стар, Бестюбе, Брелорн-Пайониер и др.)	До 250–300

Для месторождений с линейно вытянутыми участками характерна, как правило, локализация на большом протяжении в узкой зоне, вдоль главного линейного рудоконтролирующего элемента структуры. Очевидно, оруденение, развитое в пределах подобных узких зон, формируется только в каком-то одном линейно прослеживаемом геологическом элементе трещинной структуры – разломе, мощной зоне расланцевания и дробления, трещинной системе, протяженном пучке или зоне субпараллельных рудоносных разрывов. В других условиях линейную вытянутость рудоносных участков определяет единая эндо- и экзоконтактная, тектонически нарушенная зона интрузивного (в архейских зеленосланцевых поясах – гранито-гнейсового) массива или вулканогенного, плутоновулканогенного комплекса. Особенности такой зоны сохраняются на всем протяжении деформированного участка. Таким образом, к первому классу отнесены месторождения, различающиеся исключительно лишь структурным трещинным рисунком своих линейно вытянутых участков, возникших в однородной среде или вдоль контактовой зоны, в которой также всюду сохраняется одинаковый тип неоднородности.

Месторождения второго класса отличаются более сложной геологической позицией. В одних случаях они размещаются в достаточно однородных литологических комплексах, осложненных секущими магматическими телами, избирательно деформирующимися в

процессе оруденения. В других случаях месторождения формируются как в однородных, так и неоднородных геологических средах, характеризующихся образованием трещин разного направления – в узлах пересечений, ограничений и сочленений разрывов, проницаемых для поступающих золотоносных растворов.

Целесообразность разграничения месторождений с линейно вытянутыми и изометричными рудоносными участками подтверждается необходимостью использования различных направлений их поисков и разведки. На месторождениях первого класса протяженный отрезок рудоконтролирующего нарушения нередко сопровождается оруденением и сам выступает в роли главного рудовмещающего звена трещинной структуры. Значительные масштабы такой оруденелой структуры обуславливают локализацию в ней крупных запасов золота, сосредоточенных в сравнительно узкой и протяженной зоне, вдоль которой и располагаются разведочные выработки (например, Сухой Лог и Бизовское месторождение в Якутии).

На крупных золоторудных месторождениях второго класса промышленные руды сосредоточены в едином крупномасштабном теле с рядовыми содержаниями золота или в ряде разобщенных рудных тел, объединяющихся в один узел (см. таблицу). За условными, обычно геологическими границами его, как правило, оруденение отсутствует или проявляется в виде незначительных скоплений руд. Разведочные выработки сосредоточиваются в пределах единого крупного изометричного тела или на площадях отдельно расположенных рудоносных участков. Предваряющие их поиски ведутся на сравнительно обширных площадях и, как правило, для обнаружения таких узлов разведочные выработки проходятся с большей плотностью.

Изложенный материал позволяет констатировать, что размещение и строение рудоносных участков крупных и подавляющей массы рядовых месторождений золота (с малыми и средними запасами), с одной стороны, однотипны и не отличаются особой спецификой. Главными чертами крупных месторождений, как бы повторяющих черты рядовых золоторудных объектов, являются: сходство «рисунка» трещинной структуры на участках однотипных месторождений независимо от запасов золота; одинаковые или почти одинаковые геологическая обстановка размещения трещинных рудовмещающих нарушений и глубина формирования руд; аналогичный по форме контур оруденения в плоскости главных рудовмещающих нарушений.

Вместе с тем, при всем сходстве геологической позиции и структуры золоторудных объектов, обладающих различными запасами золота, участки крупных и тем более крупнейших месторождений отличает масштабность рудовмещающих нарушений, нередко на порядок превосходящая таковую рядовых разрывов. При этом для крупных золоторудных объектов характерна сосредоточенность проявления оруденения, избирательно формирующегося в линейно вытянутых трещинных нарушениях или в узлах, в сочетании их с разрывами других направлений, тектонически деформированными, контактовыми зонами, интрузивными штоками и дайками (в которых руды непрерывно распространяются на глубину более 1 км), а также с реакционноспособными породами, подвергающимися оруденению. Таким образом, коренные отличия крупных и крупнейших золоторудных месторождений заключаются в следующем:

1) в избирательном формировании руд в крупномасштабных трещинных нарушениях трех типов: а – в протяженных и мощных участках рудоносных разломов и зон расщепления и дробления, узлах пересечений и сопряжений их; б – в протяженных и широких трещинных системах, сложенных многочисленными рядовыми разрывами, на большом

расстоянии кулисообразно сменяющимися друг друга по простиранию и на глубину; в – в протяженных пучках и зонах разрывов, в том числе осложняющих тектонически деформированные участки контактов, тела хрупких магматических и слои реакционноспособных пород, вытягивающихся на большое расстояние и на глубину;

2) в длительной дорудной подготовке трещинной структуры месторождений;

3) в отсутствии дорудных ограничителей на рудоносных участках или крупноблоковом строении последних, обусловленном ранним заложением рудовмещающих нарушений, с преимущественным подновлением их в последующие этапы тектонического развития и «подавлением» поперечной трещиноватости;

4) в сложном внутреннем строении золоторудных тел, в которых вкрапленность рудных минералов сочетается с полосами прожилкового или штокверкового оруденения, а также с мелкими желваками и гнездами сульфидно-кварцевых руд;

5) в отсутствии вертикальной минеральной зональности или проявлении ее только отдельных элементов, обусловленном постепенным и медленным изменением термобарометрической обстановки на большом вертикальном интервале в процессе минерализации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов В.И., Митюшин А.М. Основные черты структуры Центрального золоторудного поля // Геология золоторудных месторождений Сибири. Новосибирск, 1970. С. 79–87.
2. Бойцов В.Л., Иванов И.А., Минькин И.М. Уран и золото на месторождении Мурунтау // Уникальные месторождения полезных ископаемых России: закономерности формирования размещения. СПб, 1996. С. 50–62.
3. Казанский В.И. Вертикальный диапазон эндогенного рудообразования и факторы, его определяющие // Глубинные условия эндогенного рудообразования. М., 1986. С. 5–16.
4. Константинов М.М. Золоторудные гиганты // Отечественная геология. 1993. № 6. С. 75–83.
5. Константинов М.М. Новые и перспективные типы золоторудных месторождений // Руды и металлы. 1995. № 2. С. 18–26.
6. Кривцов А.И., Макеева И.Т. Рудообразующие процессы. – М.: ВИНТИ, 1984.
7. Некрасов Е.М. Главные геолого-структурные типы и особенности крупных эндогенных месторождений золота // Отечественная геология, 1996. № 2. С. 19–28.
8. Сафонов Ю.Г. Структурные критерии оценки распространения жильного гидротермального оруденения на глубину // Глубинные условия эндогенного рудообразования. М., 1986. С. 25–39.
9. Тилллев Х. Некоторые геологические условия формирования и размещения золотого оруденения на Чарьманском рудном поле // Узбекский геологический журнал. 1973. № 5. С. 28–31.
10. Шубин Г.В., Чубаров С.А., Матюшевский А.Л. и др. Структура рудного поля и генезис руд Любавинского месторождения (Забайкалье) // Геология золоторудных месторождений Сибири. Новосибирск, 1970. С. 48–64.
11. Яновский В.М. Рудоконтролирующие структуры терригенных миогеосинклиналей – М.: Недра, 1990.
12. Burrous D.R., Spooner E.T.C., Wood P.C. and oth. Structural controls on formation of the Hollinger – McIntyre Au-quartz vein system in Hollinger shear zone, Timmins, Southern Abitibi greenstone belt, Ontario // Econ. Geology. 1993. Vol. 88. № 6. P. 1643–1663.
13. Goldstrike mine // Mining Magazine. 1989. Vol. 161. № 4. P. 269–272.
14. Phillips G.N. Geology and alteration in the Golden Mile, Kalgoorlie // Econ. Geology. 1986. Vol. 81. № 4. P. 779–808.
15. Rota J.C., Ecburg C.E. History and geology outlined for Newmont's Gold Quarry deposit in Nevada // Mining Eng. (USA). 1988. Vol. 40. № 4. P. 239–245.

## ВКЛАД Н.И. БОРОДАЕВСКОГО В ИЗУЧЕНИЕ ТРЕЩИННОЙ СТРУКТУРЫ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*Рассмотрено значение работ Н.И. Бородаевского о влиянии особенностей трещинных рудовмещающих структур на локализацию оруденения.*

*(Известия вузов. Геология и разведка. 2007. № 3. С. 37–41).*

Трудно переоценить роль Н.И. Бородаевского, почти пятьдесят лет тому назад показавшего неодинаковое значение рудовмещающих нарушений различных типов при обобщении в них руд золота. Н.И. Бородаевский, выдающийся знаток золоторудных месторождений, опубликовал в 1960 г. книгу «Материалы по методам изучения структур и геологической перспективной оценке месторождений золота» [1]. В ней этот исследователь впервые обобщил сложившиеся на то время понятия о влиянии особенностей трещинных рудовмещающих структур на локализацию оруденения. Наряду с этим он сформулировал причины, объясняющие различную масштабность рудных полей и месторождений, образовавшихся в различных рудовмещающих средах. Н.И. Бородаевский установил, что подавляющее большинство золоторудных месторождений, как и запасы золота на рудных участках, обусловлены проявлением рудовмещающих нарушений *трещинного типа*. Действительно, из всех работ этого исследователя вытекает, что пластовые рудные тела, которые, казалось, должны были использовать элементы складок, на самом деле локализовались в зонах, согласных со слоистостью, нередко в межформационных разрывах.

Исследователь четко установил, что различное строение оруденелых нарушений обусловлено их образованием в неодинаковых рудовмещающих средах. В качестве таких сред Н.И. Бородаевский выделял среды, представленные толщами: 1) слоистых пород (вулканиды и терригенные осадочные образования); 2) интрузивные и 3) метаморфические породы. В 1970 г. этот исследователь указывал [2], что среда формирования определяет не только морфологические особенности рудных тел, но по сути определяет и тип рудовмещающей структуры, способной в благоприятной геологической обстановке локализовать значительные скопления руды и концентрировать крупные запасы золота. Так, наиболее выдержанные зоны дробления наблюдаются в сравнительно хрупких интрузивных породах и вулканидах кислого состава, гранито-гнейсах, аркозах и других породах. Такие зоны дробления обладают выдержанной мощностью и обычно заключены между глинистыми швами и плоскостями скольжения, проявленными со стороны висячих и лежачих боков. Именно к таким нарушениям приурочены выдержанные жилы, зоны и залежи прожилкового и штокверкового оруденения.

Наоборот, наименее выдержанные, разветвляющиеся и (или) затухающие на отдельных отрезках зоны расланцевания с невыдержанной мощностью и жилы проявлены

в сравнительно пластичных магнезиальных и тальковых сланцах, серпентинитах, регионально метаморфизованных и рассланцеванных коматиитах, базальтах и андезитобазальтах, филлитах, аргиллитовых и алевролитовых сланцах, а также в глинистых, карбонатных и некоторых других породах. К нарушениям, развитым в перечисленных породах, преимущественно приурочены зоны прожилково-вкрапленных и даже вкрапленных руд с неясно выраженными геологическими границами.

В прочих рудовмещающих средах оруденелые разрывные нарушения представляют сочетание зон дробления и рассланцевания и, соответственно, комбинацию приуроченных к ним рудных тел, различающихся внутренним строением и морфологией.

На изложенных представлениях выросло не одно поколение геологов-рудников, обнаруживших такие крупнейшие месторождения золота, как Сухой Лог, Наталкинское, Олимпиада, Нежданинское, Майское, Благодатное, Тасеевское, Купол и Двойное в России, Бакырчик, Васильковское, Кумтор и Зод в Казахстане, Киргизии и Армении.

Н.И. Бородаевский отмечал также, что на участках золоторудных месторождений секущие нарушения, как правило, являются наиболее выдержанными рудовмещающими разрывами. На значительные расстояния прослеживаются, кроме того, пластовые и субпластовые разрывы, локализующиеся в карбонатных и глинисто-карбонатных породах, а также разрывные нарушения, проявленные преимущественно в межформационной обстановке – вдоль контактов сравнительно хрупких и пластичных пород.

По представлению Н.И. Бородаевского [1], протяженные и мощные рудовмещающие нарушения трещинного типа – обычно достаточно сложные комбинации зон дробленных, трещиноватых и рассланцеванных пород, особенно, если подобные нарушения сопровождаются боковыми и (или) осложняются пересекающими их дорудными поперечными разрывами. Нарушениями сложного внутреннего строения почти всегда оказываются разломы значительной протяженности, а также менее масштабные нарушения, но вытягивающиеся чаще также на расстояние нескольких километров. Н.И. Бородаевский отметил, что в мощных зонах дробления обособляются рудные тела, заключающие в благоприятной геологической обстановке значительные скопления благородного металла (Березовское, Кочкарское, Васильковское месторождения). Не меньшее промышленное значение имеют секущие протяженные и мощные зоны рассланцевания, сформированные в песчанико-сланцевых толщах (Бакырчикское, Нежданинское).

С 1960-х годов в США промышленное значение приобрели также пластовые и субпластовые рудные тела джаспероидных руд золота, локализованные в глинисто-карбонатных и сочетающихся с ними алевролитосланцевых породах (крупные месторождения золота Карлин, Кортец, Голд-Кворри, Голдстрайк, Мейкл и др. [6, 9]).

Изложенные представления Н.И. Бородаевского были плодотворно использованы при поисках и, особенно, при разведке крупных и крупнейших золоторудных месторождений. Действительно, разведочные работы показали, что промышленные запасы золота (превышающие 100 т) связаны не с рядовыми, а с *крупномасштабными* рудовмещающими нарушениями трещинного типа и очень редко со складчатыми нарушениями, но обязательно осложненными оруденелыми разрывами пластового и субпластового типов, например, австралийские месторождения Бендиго и Балларат. Только проявление крупномасштабных нарушений обуславливает приуроченность к их зонам скоплений руд с крупными запасами золота.

Г.Н. Гамянин с соавторами [7] на 9-м симпозиуме в Пекине (посвященном генезису рудных месторождений) впервые предположили, что формирование крупнейшего Нежданинского месторождения золота связано с образованием крупных рудовмещающих структур

тур, благоприятных для возникновения масштабных рудных столбов. Последние обусловили развитие оруденения, эшелонированного на глубину. Балансовые запасы золота на месторождении на конец 2004 г. превысили 470 т.

В последнее десятилетие наметилась невиданная ранее тенденция освоения в первую очередь крупных и крупнейших месторождений с убогими рудами золота (с содержанием 1–3 г/т и ниже). Руды таких месторождений обрабатываются глубокими карьерами с добычей нескольких десятков миллионов тонн руды в год. Сосредоточенность крупных скоплений руд и перерабатывающих производств позволяет вести рентабельную добычу (ежегодно получая несколько десятков тонн металла). В мире доля золота, извлекаемая из таких месторождений, достигла к 2004 г. 40 % мировой добычи [5] и продолжает увеличиваться. Поиск и разведка крупнейших месторождений золота с подобными убогими рудами весьма перспективна.

Таблица

Типы масштабных рудовмещающих разрывов с крупными запасами золота (по Н.И. Бородаевскому)

Месторождение (страна)	Геолого-промышленный тип	Запасы Au: остаточные + погашенные, т, на 1.01.2005 г.	Содержание Au в рудах, г/т	Добыча Au в 2004 г., т	Ведущие типы масштабных рудовмещающих разрывов
Янакоча (Перу)	1	890 + 563	0,6-0,8	93	Рудоносные разломы с первичными рудами
Рудное поле Паскуа-Лама (Чили), Веладеро (Аргентина)	1	802 + 0	1,46-1,83	Ожидается из участка Веладеро 16-18 т в 2006 г.	То же
Лихир (Папуа-Новая Гвинея)	1	1135 + 137	2,69	19	Пучки рудоносных зон дробления и трещиноватости
Мурунтау (Узбекистан)	2	1750–1800 + 1550	2,6-2,8	55	Пучки рудоносных зон рассланцевания
Ашанти (Гана)	2	350 + 870	6,1	8	Пучок рудоносных разветвляющихся зон рассланцевания
Сухой Лог (Россия)	2	1046–1100 + 0	2,7	Не освоено	Пучок рудоносных зон рассланцевания
Лас-Кристинас (Венесуэла)	3	910	0,69-1,3	То же	Пучки рудоносных зон дробления и рассланцевания
Калгурли (Австралия)	3	385 + 1550	2,1	27,6	Системы рудоносных трещинных нарушений
Поркьюпайн, (Холлинджер и Мак-Интайр, Канада)	3	0 + 974	Нет данных	Отработано	То же
Голдстрайк (США)	4	495 + 660	4,9	43	Мощная рудоносная зона рассланцевания
Олимпиадинское (Россия)	4	520 + 185	2,7	30	Рудоносная полоса пластовых и субпластовых зон рассланцевания
Васильковское (Казахстан)	5	382 + 2-3	2,9	0,5	Сближенные пучки рудоносных зон дробления и рассланцевания
Керкленд-Лейк (Канада)	6	0 + 751	Нет данных	Отработано	Разветвленный участок рудоносного разлома

Месторождение (страна)	Геолого-промышленный тип	Запасы Au: остаточные + погашенные, т, на 1.01.2005 г.	Содержание Au в рудах, г/т	Добыча Au в 2004 г., т	Ведущие типы масштабных рудовмещающих разрывов
Гейта (Танзания)	6	270 + 101	3,5	17,7	Протяженный пучок межформационных рудоносных зон расланцевания субпластового типа

\*Примечание: 1–6 – геолого-промышленные типы месторождений: 1 – эпитермальных золотосеребряных и золототеллуридных руд в породах вулканотектонических построек; 2 – в углеродистых породах песчанико-глинистосланцевых формаций; 3 – в регионально-метаморфизованных терригенно-вулканогенных породах архейских зеленосланцевых поясов; 4 – пластовых и субпластовых джаспероидных руд в породах терригенно-карбонатных формаций; 5 – в тектонически деформированных эндо- и экзоконтактных зонах интрузивных (или гранитогнейсовых) массивов; 6 – в хрупких геологических образованиях – малых интрузивных штоках, а также дайках и прослоях кварцитов.

Используя статистические данные о запасах и добыче золота из недр более 60 крупнейших золоторудных месторождений мира [5], автором показано, что на подавляющем большинстве таких геологических объектов оруденение приурочено к ведущим трещинным структурам трех типов, элементы которых намечены Н.И. Бородаевским. В таблице приведены сведения только о месторождениях-лидерах главных геолого-промышленных типов. К крупномасштабным рудовмещающим разрывам этих месторождений приурочены руды с крупнейшими запасами золота. Краткую характеристику каждого из этих геолого-промышленных типов можно найти в [4, 5].

Из примеров, приведенных в таблице, со всей убедительностью следует, что крупные запасы золота локализуются только в трех ведущих типах крупных рудовмещающих нарушений. Это:

1. Протяженные секущие трещинные пучки (с наиболее выдержанными разрывами-лидерами значительной длины), часто осложняющие контакты пород различного состава, в том числе контакты пород различной хрупкости, подверженных избирательной деформации и метасоматическому оруденению; реже модификации пучков, представленных золоторудными телами в пластовых зонах сближенных субпараллельных разрывов.

2. Протяженные и мощные отрезки рудоносных разломов, реже – обособленные мощные зоны расланцевания и дробления, часто с оруденением на перегибах и в узлах разветвлений и осложнений боковыми и поперечными дорудными разрывами.

3. Прослеживающиеся на большие расстояния и широкие рудоносные трещинные системы, сложенные многочисленными рядовыми разрывами рудовмещающего типа, кулисообразно сменяющие одни других по простиранию и на большую глубину.

Анализ статистических данных по крупным и крупнейшим месторождениям золота показал, что среди оруденелых масштабных разрывных нарушений с крупными промышленными запасами золота существенно преобладают протяженные секущие трещинные пучки. Они проявлены на двух крупных месторождениях из трех (примерно 65% месторождений). В остальных случаях очень значительные запасы золота отмечены в рудоносных разломах или протяженных и мощных зонах расланцевания (> 20 % месторождений), а также в рудоносных трещинных системах (около 15 %).

Выяснилось, что оруденелые трещинные пучки секущего типа характерны для крупных и крупнейших месторождений эпитермальных руд, локализующихся в породах вулка-

но-тектонических построек. Как правило, такие пучки приурочены к сериям сближенных (реже одиночных) жерловых тел, трубок эруптивных и эксплозивных брекчий, особенно к деформированной кровле таких тел. Примером подобных месторождений служат Лихир и Поргера в Папуа-Новая Гвинея, Пуэбло-Вьехо в Доминиканской Республике, Крипл-Крик в США, Багио на Филиппинах (рис. 1), Рошиа-Монтане в Румынии, Купол в России, Кочбулак в Узбекистане и др.

На крупных месторождениях другого геолого-промышленного типа (локализованных в углеродистых породах песчаниково-глинистосланцевых формаций) в основном развиты протяженные и разветвляющиеся (в плане и по восстанию) трещинные пучки секущего типа. Последние нередко наследуют элементы складчатых структур, в частности, зоны рассланцевания, прослеживающиеся вдоль осевых плоскостей складок. Некоторые из месторождений, характеризующиеся подобными структурными особенностями, отличаются запасами золота, превышающими 1000 т, например, Ашанти (Гана) и Сухой Лог (Россия).

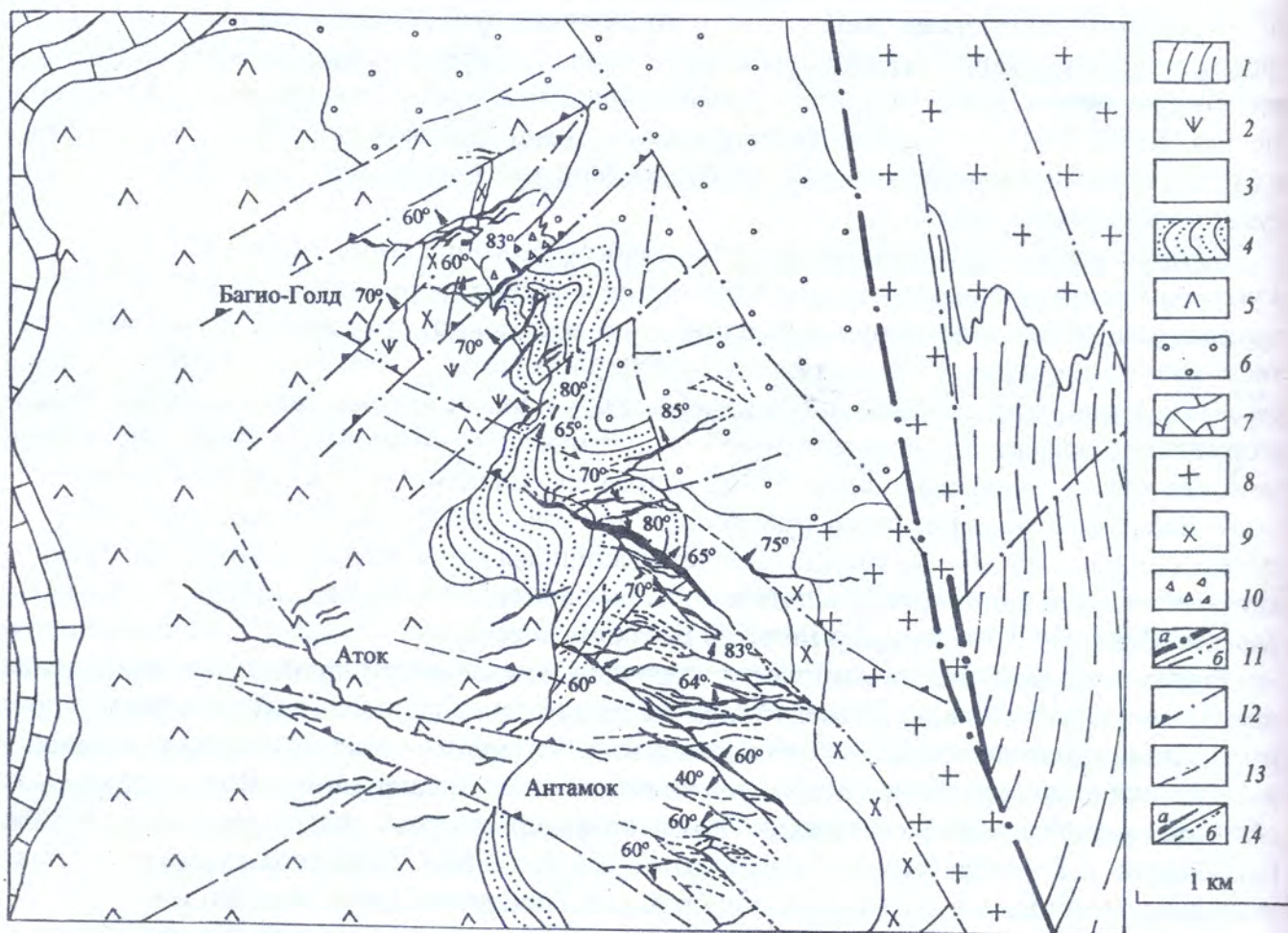
С пластовой модификацией рудоносных пучков – пластовыми зонами сближенных субпараллельных разрывов, иногда прослеживающихся на несколько километров, связаны крупные и крупнейшие запасы золота в месторождениях джаспероидных руд (Голдстрайк, Карлин, Мейкл в США, Морроу-Велью в Бразилии и др.).

Рудоносные разломы, к которым приурочено каждое пятое крупное месторождение золота, могут быть названы, пожалуй, для любого из приведенных в таблице геолого-промышленных типов золоторудных месторождений. Три месторождения с залежами джаспероидных руд в зонах разломов принадлежат к геолого-промышленному типу золоторудных объектов, локализованных в породах терригенно-карбонатных формаций – Голдстрайк, Голд-Кворри и Гетчелл-Теркуаз-Ридж в штате Невада, США. Руды размещаются в протяженных перегибах и в узлах пересечения разломов поперечными нарушениями.

Наиболее крупным представителем типа выступает золотосеребряная Янакоча (Перу). Запасы первичного золота и металла в окисленных рудах в сумме составляют около 1500 т. Месторождение локализовано в своеобразной структурной постройке, состоящей из горстообразно приподнятой продольной блок-пластины и двух-трех обрамляющих ее с обеих сторон грабенно-северо-восточного простирания. Эти крутопогружающиеся пластинчатые блоки (блок-пластины) протяженностью более 10 км, сложены андезитами и андезидацитами. Каждый из блоков заключён между оруденелыми разломами. Промышленные руды локализованы в местах пересечения разломов поперечными трещинными нарушениями. Сформировалось как бы две или даже три структурных связки так называемых парных разломов – субпараллельных рудоносных разломов, контролирующих главные рудные тела.

В своей книге Н.И. Бородаевский [1] впервые указал на большое значение таких парных разломов для локализации крупнейших скоплений руд. По мнению этого исследователя, между сближенными участками двух соседних разломов (или сравнительно крупных трещинных нарушений другого типа) в процессе внутрирудных перемещений возникает широкая полоса мелких расщепляющихся разрывов, соединяющих парные разломы. При обособлении в пределах такой полосы рудных тел прожилковых, вкрапленно-прожилковых и штокверковых руд, а между ними межжильной вкрапленности золотосодержащих сульфидов, возникают залежи, мощность которых может достигать нескольких десятков и даже сотен метров. Некоторые из них являются типичными структурами конского хвоста.

Наряду с Янакочей структурные связки парных разломов с развитыми между оруденелыми нарушениями мощнейшими полосами рудных тел обнаружены на крупнейших



**Рис. 1.** Рудоносные пучки мощных золоторудных тел в структурных связках парных разломов; северная часть рудного поля Багио, Филиппины, о. Лусон, план [4]: 1 – кварц-полевошпатовые сланцы и кварциты (PZ); 2 – диабазы и спилиты (P<sub>1</sub>); 3 – андезиты и кератофиры «нижней» толщи (P<sub>1,2</sub>); 4 – аргиллит-песчаниковая толща с подчиненными известняками (P<sub>2</sub>); 5 – диабазы, андезиты и дациты «верхней» толщи (P<sub>2,3</sub>); 6 – конгломераты (P<sub>3</sub>-N<sub>1</sub>); 7 – известняки (N<sub>1</sub>); 8 – гипабиссальные гранодиориты (N<sub>1</sub>); 9 – экструзивные кварцевые диориты (N<sub>1</sub>); 10 – взрывчатые брекчии андезидацитов (N<sub>2</sub>); 11 – разломы: а – региональные, б – локальные; 12 – рудоконтролирующие; 13 – предполагаемые; 14 – жильные тела золототелуридных руд: а – прослеженные, б – слабо проявленные

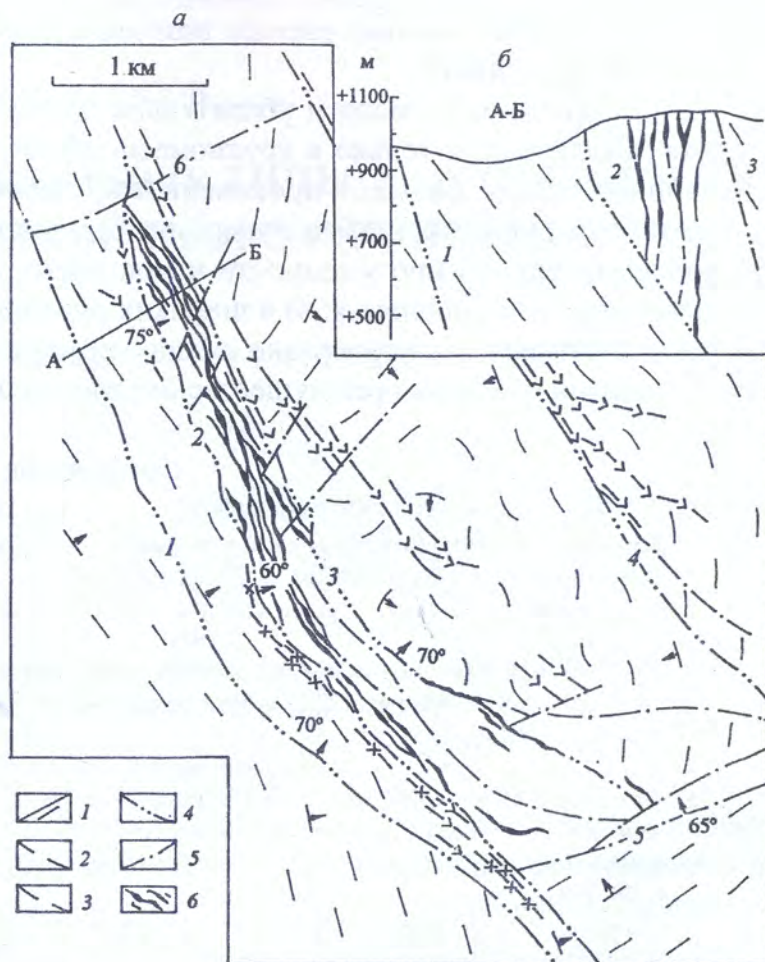
месторождениях: Багио на Филиппинах (рис. 1), Наталкинское (Россия), Рошиа-Монтане (Румыния), в свое время они подробно описаны на месторождении Крипл-Крик в США, Эль-Индия в Чили и др.

Примерно каждое седьмое или восьмое крупное месторождение золота связано с проявлением протяженных и широких рудоносных трещинных систем. Этот структурный тип представляют некоторые месторождения двух упомянутых геолого-промышленных типов – локализованных в регионально-метаморфизованных терригенно-вулканогенных породах архейских зеленосланцевых поясов и в углеродистых породах песчанико-глинистосланцевых формаций. Примерами первых являются Калгурли в Австралии, несколько отработанных месторождений – Холлинджер, Мак-Интайр и Доум в Канаде. Примерами вторых служат месторождения Наталкинское (рис. 2) и Нежданинское (Россия), а также Мурунтау (Узбекистан). Для некоторых из них характерен большой размах оруденения на глубину, достигающий 1,5–2,0 км и более, значительные мощности рудных залежей, оконтриваемых в наше время по низкому бортовому содержанию золота и представленных в связи с этим убогими прожилково-вкрапленными рудами.

Трещинные пучки, рудоносные разломы и трещинные системы представляют объемные, крупномасштабные структурные ловушки, формирующиеся в верхней, значительно реже в кровле средней части земной коры. Именно эти части коры обычно вскрываются эрозионными процессами, что приводит к обнаружению структурных ловушек и развитых в них руд. Видимо, сюда поступали золотоносные растворы и флюиды. Здесь в крупномасштабных ловушках они разгружались, что приводило к образованию значительных скоплений руд и золота.

Одной из главных причин разгрузки могло служить проникновение атмосферного кислорода, резкое падение температуры и внутреннего давления рудоносного потока или взаимодействие его с агрессивной вмещающей средой. Непременным условием возникновения такой обстановки могла быть избирательная проницаемость некоторых рудоконтролирующих разломов и, главное, внутрирудное подновление (или образование) расположенных в их зоне «корней» структурных ловушек (в основном «корней» трещинных нарушений).

По мнению А. Орда с соавторами [8], это позволяло потоку растворов и флюидов «врываться» по трещинкам, зонам пластичного течения, а местами интенсивно просачиваться по порам в «корни» структурных ловушек. Не меньшее значение имели также породы средней части земной коры (расположенные глубже). Они сохраняли химическую инертность, оставались нагретыми и обеспечивали этим сравнительно слабое изменение состава поступающего потока золотоносных растворов и флюидов (т. е. сохраняли неизменным состав поднимающегося потока). В результате процесс переноса тепла в область разгрузки – до уровней развития структурных ловушек оставался стабильным.



**Рис. 2.** Трещинная система золоторудных тел Наталкинского месторождения в структурной связи парных разломов (Главного и Северо-Восточного); а – план, б – разрез по линии А-Б [3]: 1 – верхнепермские породы: а – песчанико-алевролитосланцевые, б – алевролитоглинистосланцевые; 2, 3 – дорудные дайки: 2 – нижнемеловые кварцевые альбитофиры, 3 – верхнемеловые диоритовые порфириды и спессартиты; 4 – рудоконтролирующие разломы: 1 – Наталкинский, 2 – Главный, 3 – Северо-Восточный; 5 – прочие разломы: 4 – Геологический, 5 – Глухаринский, 6 – Тенькинский; б – зоны жильных золоторудных тел и прожилково-вкрапленного оруденения

## Выводы

1. Учение Н.И. Бородаевского об особенностях трещинных рудовмещающих структур золоторудных месторождений послужило основой для выделения из общей массы рудо-

носных нарушений *особых систем разрывов*, с которыми связана локализация крупных скоплений руд и золота.

2. Отечественные геологи убедительно доказали, что крупные и крупнейшие запасы золота локализуются только в крупномасштабных нарушениях трех типов: а) в секущих трещинных пучках большой протяженности с наиболее выдержанными и протяженными разрывами и рудными телами-лидерами; б) в выдержанных перегибах рудоносных разломов значительной протяженности и мощности, реже – в обособленных мощных зонах расланцевания и дробления; в) в широких рудоносных трещинных системах, сложенных многочисленными, кулисообразно сменяющимися по простиранию и на глубину рядовыми разрывами и телами преимущественно жильных и прожилковых руд.

### Литература

1. Бородаевский Н.И. Материалы по методам изучения структур и геологической перспективной оценке месторождений золота // Тр. ЦНИГРИ. В. 35. М., 1960. 417 с.
2. Бородаевский Н.И. Структурные критерии оценки месторождений золота // Тр. ЦНИГРИ. В. 87. М., 1970. С. 237–247.
3. Калинин А.И. История и основные научные итоги изучения геологических структур месторождений золота и серебра Северо-Востока СССР // Мат. по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. В. 27. Магадан, 1991. С. 135–141.
4. Некрасов Е.М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. М.: Недра, 1988. 286 с.
5. Некрасов Е.М. Крупные эндогенные золоторудные месторождения поддерживают высокий уровень добычи золота в мире // Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47. № 3. С. 203–210.
6. Settles K. H. Gold deposits of the Goldstrike Mine, Carlin trend, Nevada // SME Reprint. Nevada: Reno, 1989. С. 95–158.
7. Gamyarin G.N., Alpatov V.V., Bakharev A.G. Conditions indispensable for a formation of large gold ore deposits // 9-th Symposium International Association by genesis of ore deposits. Beijing, aug. 12-18, 1994. V.2. Beijing, 1994. С. 490–491.
8. Ord A., Walshe J.L., Hobbs B.E. Geodynamics and giant ore deposits // 5-th Quadrennial Symposium International Association by genesis of ore deposits. London, aug. 22–25, 1999, Rotterdam, V.2. Brookfield, 1999. С. 1341–1344.
9. Yolck J.A., Lauha T., Leonardson R.W., Rahn J.E. Structural geology of the Betze-Post and Meikle deposits, Elko and Eureka Counties, Nevada // Geology and ore deposits of the American Cordillera. Geological Society of Nevada. Nevada: Reno, 1996. P. 180–194.

## ГЛАВНЫЕ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ ТИПЫ И ОСОБЕННОСТИ КРУПНЫХ ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

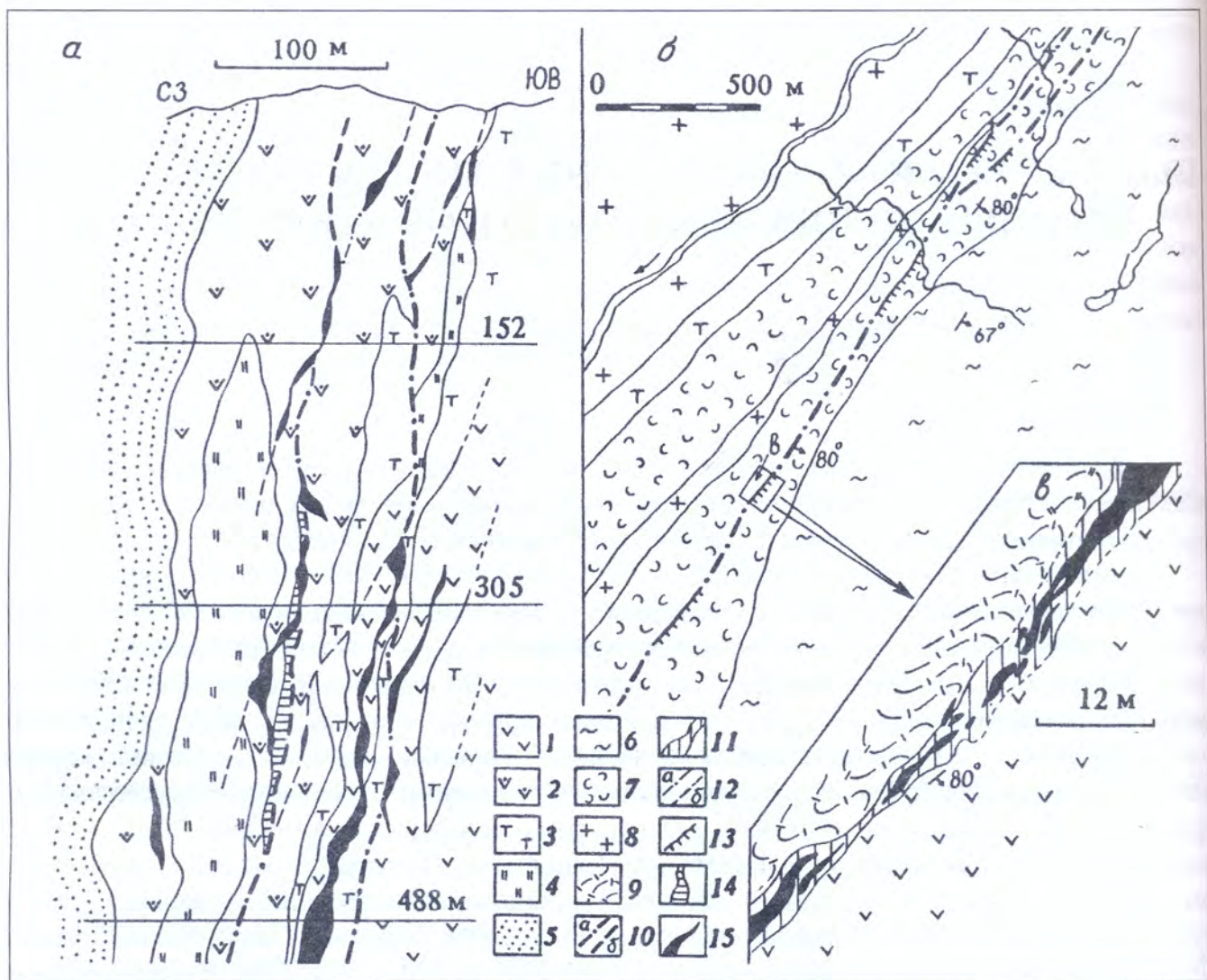
*(Отечественная геология. 1996. № 2. С. 19–29).*

Типы и структура крупных и крупнейших золоторудных месторождений эндогенного класса рассматриваются, главным образом, на примере зарубежных объектов, аналогичных по основным особенностям и чертам отечественным месторождениям.

Статистическая обработка установленных в мире к началу 1995 г. более 100 крупных месторождений золота (каждое с суммарными запасами металла более 100 т, включая извлеченное) показала, что в 92 % месторождений их руды и золото приурочены к трещинным масштабным нарушениям различного типа. На остальной части объектов руды вкрапленные и заключены в телах взрывчатых брекчий и вулканических жерл, в мелких интрузивных штоках, в углеродсодержащих глинистых сланцах и некоторых карбонатных породах, нарушенных рудовмещающими разрывами. Последние «затушеваны» и фиксируются в мощных залежах вкрапленных руд полосами метасоматитов, насыщенных вкрапленностью, мелкими прожилками, амёбовидными гнездами и даже маломощными жилами существенно сульфидного состава, трассирующими трещинные каналы поднимавшихся золотоносных растворов (например, Ладолай и Поргера в Папуа-Новой Гвинее, Ла-Койпа и Рефугио в Чили, Кори-Кольо в Боливии, Раунд-Маунтин, Голд-Кворри, Мейкл, Голдстрайк и др. в США, Кемфло в Канаде, Васильковское в Казахстане, Высоковольное в Узбекистане, Сухоложское, Зун-Холбинское и др. в России и т.д.).

Статистический анализ подтвердил, что крупные объекты не обладают особой, специфической структурой. Почти все они принадлежат к известным пяти важным геолого-промышленным типам эндогенного класса [2] и лишь отдельные – к типам, имеющим второстепенное промышленное значение. В месторождениях важных геолого-промышленных типов крупные запасы золота определяются крупным масштабом рудовмещающих элементов трещинной структуры (называвшихся в свое время В.М. Крейтером структурными или трещинными ловушками) и только в единичных случаях обуславливаются высокими содержаниями золота в сравнительно умеренных массах руды (например, в канадском месторождении Эскей-Крик, чилийском – Эль-Индио или японском – Хишикари).

В структурном отношении все крупные месторождения можно разделить на шесть типов, приуроченных: к зонам одиночных или к зонам нескольких субпараллельных рудоносных разрывов различного типа (включая зоны рассланцевания); к протяженным и широким системам многочисленных, сменяющих друг друга рудоносных трещин-кулис; к сериям протяженных и сближенных рудоносных разрывов (одного, редко двух направлений); к пересекающимся пучкам оруденелых трещин; к небольшим магматическим телам взрывчатых и эруптивных брекчий, телам вулканических жерл, дайковых серий и поясам малых интрузивных штоков, нарушенных на большом протяжении и (или) на глубину



**Рис. 1. Месторождения в зонах разломов:**

*a* – разрез через крупнейшее месторождение Керр-Эдисон, по Дж.У. Бейкеру и др.; *б* – схема маломасштабного месторождения Виндоугласс-Хилл; *в* – план разведанного участка того же месторождения, по Д.Г.К. Вилтону и Д.Ф. Стронгу [14]; *генерализовано автором*; 1 – рассланцеванные вулканиты основного и среднего составов; 2 – то же, интенсивно карбонатизированные; 3 – туфы, туфобрекчии; 4 – тальковые и тальк-хлоритовые сланцы; 5 – граувакки; 6 – гнейсы; 7 – игнимбриты, зеленые сланцы, вулканокластические конгломераты, песчаники; 8 – граниты; 9 – рассланцеванные и перемятые графитизированные сланцы; 10 – разломы (*a* – прослеженные, *б* – предполагаемые); 11 – тектонический шов, выполненный глиной трения; 12 – мелкие разрывы (*a* – прослеженные, *б* – предполагаемые); 13 – участки золоторудной минерализации; 14 – зона дробления, залеченная ранним кварцем; 15 – золоторудные тела

пучками рудоносных трещин; к сериям и узлам пересечения пучков трещин, осложняющим тектонически деформированные контактовые зоны гранитоидных (и гранито-гнейсовых) массивов.

**Месторождения, связанные с рудоносными разломами.** Примерами их служат месторождения, локализованные в зонах одиночных разломов – Керр-Эдисон (Канада), Мазер-Лод и Комшток (США), Бакырчик (Казахстан), в мощных и протяженных зонах рассланцевания – Ашанти и Престеа (Гана), Хомстейк (США), Морроу-Велью (Бразилия), Зун-Холба в Бурятии (Россия) и др., а также в немногочисленной серии разломов – Гуанахуато (Мексика). Месторождения размещаются в рассланцеванных породах metabазальт-андезитовых и метаандезитовых формаций, в молодых андезито-риолитовых вулканитах, в грубообломочных породах песчанико-глинистосланцевых и филлитовых формаций (в Узбекистане – Мурунтау;

в России – Наталкинское, Благодатное). Все месторождения характеризуются протяженными рудными телами, залегающими непосредственно в брекчированной или тонко рассланцеванной мощной зоне одного или нескольких субпараллельных нарушений (рис. 1, а). Так, на месторождении Гуанахуато оруденение непрерывно прослеживается на протяжении 5 км в разломе Вета-Мадре, на месторождении Комшток – на расстоянии более 4 км в одноименном разломе. Рудные тела приурочены либо к наиболее приоткрытым и изогнутым участкам зон дробления, либо к узлам отделения от них боковых оперяющих сколов, также подвергающихся оруденению (Керр-Эдисон, Мазер-Лод, Ашанти и др.). В частности, в разломе Вета-Мадре непрерывное оруденение наблюдается в звене северо-западного и прерывистое – в его отрезке север–северо-западного направления. Разлом Комшток вмещает сложную ветвящуюся жилу на отрезке север–северо-восточного простирания. Оруденение прекращается на обоих перегибающихся флангах этого нарушения, простирающихся субмеридионально.

В некоторых месторождениях оруденение избирательно локализуется в пересекаемых нарушениями горизонтах пород, называемых за рубежом реакционноспособными, которые подвергаются более интенсивному рассланцеванию и метасоматическому замещению циркулирующими рудоносными растворами. Подобная обстановка сложилась на месторождениях Морроу-Велью и Хомстейк, где рудовмещающие зоны рассланцевания пересекают горизонты слюдисто-кварц-анкеритовых и куммингтонит-карбонатно-кварцевых сланцев.

По отношению к общей длине рудоносные разломы вмещают промышленные руды на сравнительно небольших отрезках. Особенно это касается разломов Мазер-Лод, Ашанти, Лардер-Лейк (месторождения Керр-Эдисон), Бакырчик в Казахстане, имеющих региональное значение. Эти разломы, помимо рудовмещающей, играют региональную рудоконтролирующую роль, определяя размещение на некотором удалении от зоны нарушения основной массы средних и небольших месторождений и рудопроявлений золота. Но и рудоносные разломы меньшей протяженности (Вета-Мадре и Сьерра на рудном поле Гуанахуато, Комшток на участке одноименного месторождения) также выполняют рудоконтролирующую, хотя и локальную, роль. Они определяют (в сочетании с другими геологическими элементами) положение месторождений и рудопроявлений в пределах рудных полей. При этом суммарная протяженность оруденелых отрезков в разломе Вета-Мадре относится к его общей длине как 1:4,5, 1:5, а в разломе Керкленд-Лейк (в пределах одноименного рудного поля) – 1:5,5, 1:6.

Большей частью образованию крупных запасов золота способствует формирование мощных рудных тел или раздувов их в узлах сочленения с разломами пучков боковых оперяющих трещин (например, до 17 м на Ашанти и до 90 м на Гуанахуато), в примыкающих к зонам разломов мелких складках волочения (до 40 м на месторождении Хомстейк), в участках разветвления главного нарушения вверх по восстанию (до 100 м на Комштоке) или в его фланговой части.

Рудные тела представлены массивными жилами плитообразной формы или сложными зонами прожилков, лентообразными и трубообразными залежами, а также линейными зонами штокверковых, прожилково-вкрапленных и вкрапленных руд. Штокверковые и прожилково-вкрапленные руды возникают также на перегибах и в узлах разветвления жил и отделения от них боковых апофиз. Как правило, к таким узлам приурочены раздувы рудных тел.

Почти все крупные месторождения, принадлежащие к описываемому структурному типу, глубокопроникающие. Их оруденение непрерывно прослежено максимально до глубины 2600 м от современной поверхности. На Хомстейке оно, по-видимому, будет под-

тверждено на глубинах около 3 км. На близповерхностных месторождениях вертикальный размах оруденения сокращается до 900 м (Гуанахуато).

Содержание золота в рудах месторождений варьирует в широком диапазоне – от 35–40 г/т на верхних горизонтах Ашанти и 500 г/т на верхних уровнях Комштока до 2,1–3,5 г/т на месторождении Гуанахуато.

На месторождении Морроу-Велью главное рудное тело непрерывно прослежено по склонению на протяжении почти 5000 м до глубины 2500 м от современной поверхности, в то время как в горизонтальных горных выработках его протяженность составляет всего 200–300 м. Крупнейшие запасы золота на этом объекте обусловлены, с одной стороны, очень большой непрерывной протяженностью рудных тел по склонению, а с другой – значительной мощностью их раздувов (до 28 м).

Совершенно иная картина наблюдается на мелких и средних месторождениях, залегающих в разломах. Например, месторождение Виндаугласс-Хилл, недавно открытое на юго-западе Ньюфаундленда, залегает в рудовмещающем (и рудоконтролирующем) разломе Кейп-Рей протяженностью более 35 км. Последний прослеживается в однообразных нижнепалеозойских породах – зеленых сланцах, изредка – вдоль граничащих с ними девонских аляскитовых гранитов [4]. В разломе на отрезке длиной 2 км выявлено четыре разобщенных участка золотосульфидно-кварцевой минерализации, разделенных безрудными интервалами протяженностью от 200 до 500 м (см. рис. 1, б, в). Участки появляются в зоне разлома при незначительном отклонении (на 5–8°) его простирания от среднего северо-восточного в более широтные румбы. Разлом представлен зоной брекчированных, милонитизированных и рассланцеванных пород мощностью не менее 50–100 м, заключающей центральный тектонический шов. Это мощная (от 1 до нескольких метров) «лента» вязкой глинки трения, в раздувах которой возникали только непротяженные полости, использовавшиеся минеральным веществом (см. рис. 1, в). Оно размещается на перегибах разлома и шва в виде отдельных мелких гнезд, линз и жилообразных залежей протяженностью от первых до десятков метров при максимальной мощности до 5–6 м. Содержание золота в них составляет 9 г/т при среднем значении для месторождения 5,2 г/т. Запасы металла к концу 1985 г. оценивались в количестве несколько более 4 т.

На участке описываемого золоторудного объекта присутствуют практически все геологические элементы, присущие однотипным месторождениям крупного масштаба, однако, по своим параметрам (особенно по протяженности и мощности) они на один-два порядка ниже по сравнению с таковыми крупномасштабных объектов, причем рудные тела локализуются в наиболее деформированной полосе разлома – в «ленте» тектонической глинки трения.

**Месторождения, связанные с протяженными системами многочисленных рудоносных разрывов-кулис.** В качестве примера можно привести месторождения рудного поля Поркьюпайн (Холлинджер, Мак-Интайр, Кониорэм), Кемпбелл-Ред-Лейк и Дикенсон (все Канада), рудные поля Крипл-Крик и Сентрал-Сити–Айдахо-Спрингс (США), Калгурли (Австралия), Багио (Филиппины), Мурунтау (Узбекистан), Нежданинское, Дукатское и др. (Россия). Почти все эти месторождения и рудные поля отличаются крупнейшими (более 300 т) суммарными запасами золота. Оруденение их локализовано в породах metabазальтовых и metabазальт-андезитовых формаций, в молодых вулканитах диабаз-андезит-дацитовой, андезит-липаритовой и изредка сиенит-латит-фонолитовой формаций, а также в аргиллито-песчаниковых толщах.

Системы многочисленных рудоносных разрывов и приуроченные к ним системы рудных тел пространственно тесно связаны с локальными рудоконтролирующими разломами

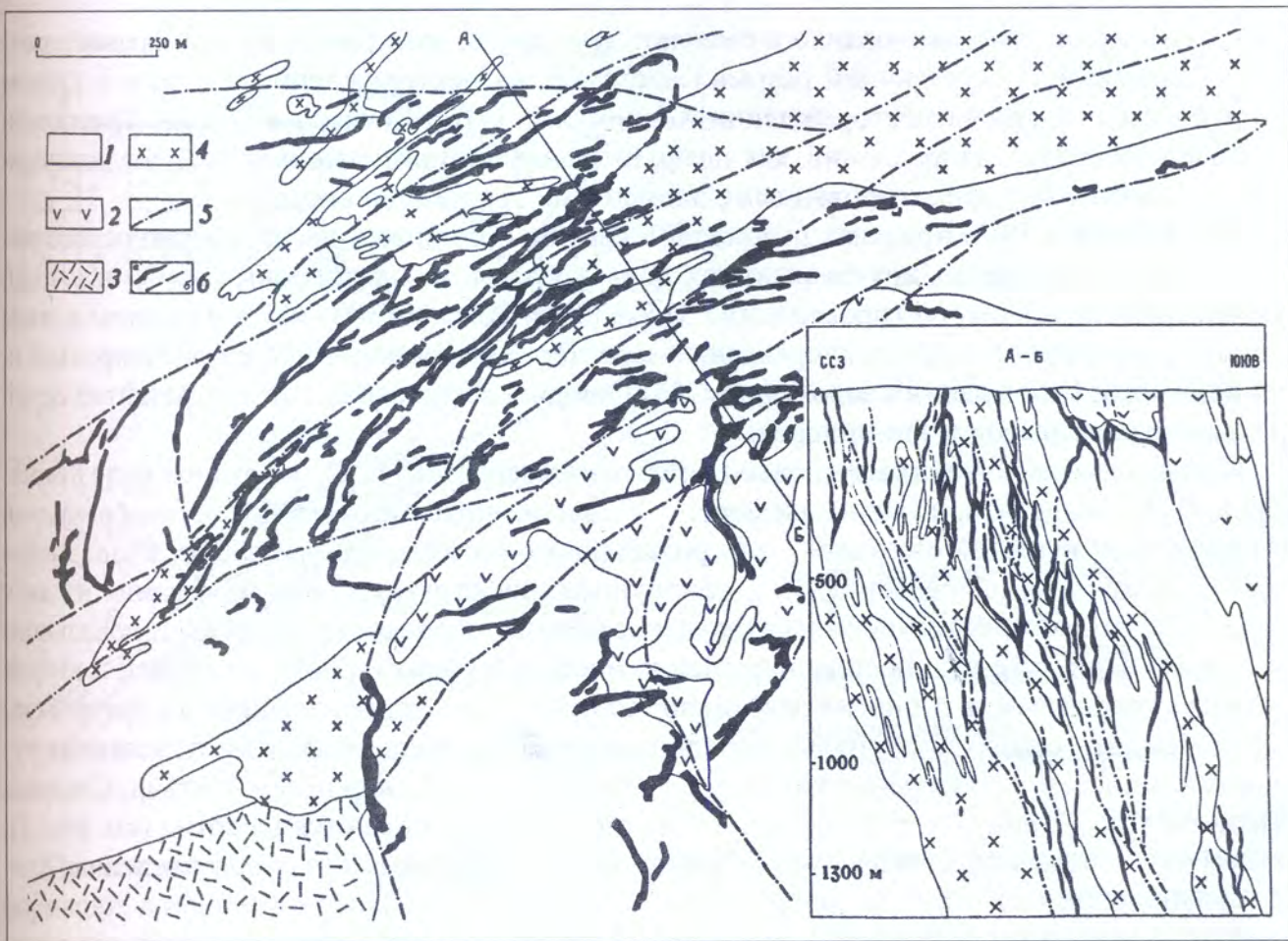


Рис. 2. Схема строения и разрез по линии А-Б крупнейшего месторождения Холлинджер, по материалам В.А. Джойнса, Г.Д. Фарса, Р. Мэсона и др., А.Т. Гриффиса, Р.В. Бойля:

1 – андезиты, коматиитовые базальты и их туфобрекчии; 2 – диабазы и базальты; 3 – агломераты и туфобрекчии фельзитов и риолитов; 4 – субвулканические кварц-полевошпатовые порфиры; 5 – локальные рудоконтролирующие разломы; 6 – золотоносные прожилковые зоны и жилы (а – прослеженные, промышленные, б – предполагаемые и бедных руд)

сравнительно небольшой протяженности. По отношению к ним разрывы, слагающие системы, как правило, в период минерализации играют роль оперяющих рудоносных сколов. Последние обычно располагаются на равном расстоянии друг от друга, в «шаге размещения», составляющем от 30–70 м до 100–200 м (рис. 2). При этом рудоконтролирующие разломы располагаются в виде субпараллельных нарушений или структурных «связок», состоящих из «пары» параллельных нарушений (Холлинджер и Мак-Интайр [4], Крипл-Крик [7, 12], а также Дукатское, Багио и др.), или наподобие «веера» расщепляющихся дизъюнктивов (Калгурли [9]). При древнем заложении разломов (и унаследовании ими трещиноватости фундамента геотектонических построек) они выступают в роли «граничных» разломов, отделяющих тектонический блок, вмещающий систему рудоносных разрывов и рудных тел, от соседних безрудных или слаборудоносных (Сентрал-Сити–Айдахо-Спрингс). Во всех случаях ориентировка рудоконтролирующих разломов определяет направление систем рудоносных трещин.

В пределах таких систем выделяются рудовмещающие нарушения и рудные тела, занимающие лидирующее положение. Обычно они ориентированы продольно по отношению к системе или под острым углом. Заканчиваясь, трещины и рудные тела-лидеры сменяются новыми аналогичными образованиями. Иногда нарушения-лидеры располагаются в систе-

ме закономерно, эшелонированно и сменяют друг друга, «заходя» лево- или правосторонними флангами за затухающий разрыв (например, на месторождении Антамок в рудном поле Багио, отчасти на месторождении Холлинджер [4]) и Кочкарь в России. Трещины и рудные тела других направлений, как правило, менее протяженные и служат соединительными, диагонально ориентированными элементами трещинной системы.

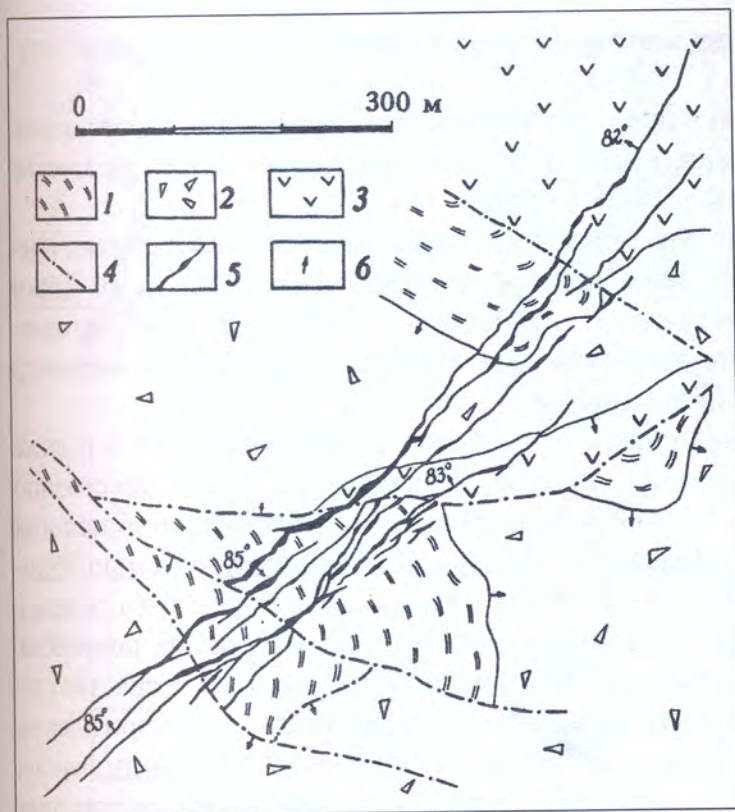
На Калгурли [9] в пределах рудоносной системы развились две примерно равнозначные серии лидирующих крутопадающих дизъюнктивов и золотоносных зон сульфидной вкрапленности – Главной (простираение 315–330°) и Второй (300–305°). Трещины и зоны двух других второстепенных направлений характеризуются поперечной ориентировкой и, по-видимому, более ранним заложением. Они неоднократно ограничивают развитие серий рудоносных разрывов и зон-лидеров.

Исходя из графических материалов зарубежных геологов [7, 12], на рудном поле Крипл-Крик можно выделить, по меньшей мере, три протяженные рудоносные системы разрывов и рудных тел: в южной его части – северо-западного и субмеридионального, в западной – северо-восточного направления. Контролируются они структурными «связками» из двух параллельных зон расщепления (так называемыми «парными» разрывами локального значения). При этом рудоносные нарушения и жилы-лидеры в пределах первой и второй «связок» (южная часть рудного поля) имеют северо-западное простираение, а в третьей (западная часть) – северо-восточное и меридиональное. При непрерывной протяженности рудоносных систем до 4 км (Калгурли), 5 км и более (Холлинджер и Мак-Интайр, Централ-Сити-Айдахо-Спрингс и др.) рядовые рудные тела прослеживаются на сотни (см. рис. 2), а многие – только на десятки метров. Рудные тела-лидеры обычно немногочисленны, длиной 1000–2000 м.

Обычно рудные тела имеют рядовую мощность, которая изредка возрастает в местах сочленения разрывов второстепенных направлений с трещинами-лидерами или в участках перегибов последних до 20–25 м (Багио, Холлинджер и др.). Протяженность на глубину каждого рудного тела сопоставима с его длиной и измеряется обычно сотнями метров. Однако в разрезе системы одно заканчивающееся золоторудное тело многократно сменяется с глубиной другими, приуроченными к субпараллельным нарушениям-кулисам. В результате в целом вертикальный размах оруденения достигает 2400 м для глубокосформированных (Холлинджер) и более 1000 м для близповерхностных месторождений (Крипл-Крик).

Таким образом, в условиях резкого преобладания в протяженных системах рядовых рудных тел крупнейшие запасы золота обеспечиваются, с одной стороны, их большим количеством (до 300 т – на Калгурли, более 200 т – на Холлинджере, Багио, Дукатском и других месторождениях и рудных полях), а с другой – значительным вертикальным размахом оруденения.

**Месторождения в сериях протяженных сближенных разрывов.** К этому типу принадлежит наиболее многочисленная группа рудных объектов. В Канаде к нему относятся Пеймор, Йеллоунайф, Доум, в США – месторождения рудного поля Силвертон-Теллурид (Саннисайд, Кемп-Бёрд, Идарадо), Голдфилд, Карлин, Голдстрайк, в Мексике – Пачука, Эль-Оро и Окампо, в Центральной и Южной Америке – Пуэбло-Вьехо и Эль-Индио, в Европе – Салсинь, в Африке – Кем-Мотор, Лега-Демби, в Индии – Колар, в Японии – Кономаи, Кусикино, Хишикари, в Австралии – Норсмен, на островах Новой Зеландии и Океании – Уайхи и Эмперер. В России представителем данного типа может служить Родионовское месторождение, Наталкинское, Базовское и др.



**Рис. 3.** Схема строения крупного месторождения Хишикари, по материалам Ихиро Абэ и др., 1986 и Metal Mining Agency of Japan and Sumitomo Metal Mining Co., Ltd, 1987:

1 – верхнемеловые глинистые сланцы и песчаники; 2 – плейстоценовые туфы андезитодацитов; 3 – плейстоценовые андезиты; 4 – дорудные разрывы; 5 – жилы кварц-золотосеребряных руд; 6 – направление падения пород, разрывов и жил

Проявлены они в метавулканитах базальтовых, андезитовых и андезит-дацитовых формаций, в молодых вулканитах базальтовой, андезитовой, андезит- и дацит-риолитовой, кварц-латитовой формаций, в терригенных породах – конгломерат-песчаникового и алевролитового состава, в филлитах, углисто-глинистых и туфогенно-глинистых сланцах, в породах карбонатных формаций.

В пределах некоторых рудных полей линейного типа серии протяженных рудоносных разрывов выполняют роль боковых трещин, оперяющих локальные рудоконтролирующие разломы. На месторождениях, пространственно связанных с вулканотектоническими постройками, серии рудоносных дизъюнктивов большой протяженности иногда занимают положение радиальных «закальдерных» трещин (например, в рудном поле Силвертон-Теллурид). Глубокие части некоторых разломов могли служить рудоподводящими каналами.

Как правило, оруденение связано с одной линейно вытянутой серией рудоносных разрывов большой протяженности (более 1,5–2 км). За редким исключением дизъюнктивы в серии их обладают сходной ориентировкой (рис. 3). Они настолько «подавляют» трещины других направлений, что обычно не сопровождаются боковыми жилами-апофизами. Серии же коленчато-изогнутых нарушений и приуроченные к ним рудные тела, наследующие два-три направления ранних трещин, сопровождаются отделяющимися от перегибов мелкими пучками боковых сколов и апофиз. Нередко они играют роль соединительных диагональных трещин для соседних нарушений и рудных тел лидирующего простирания (например, на Пачуке – Реаль-дель-Монте [8] и Эль-Индио [6], на Дукатском и Тасеевском месторождениях в России, а также Уайхи, Кусикино, Кономаи и др.).

Редки месторождения, в пределах которых устанавливается серия протяженных рудоносных разрывов пологого падения (Карлин, Голдфилд, Эмперор). В частности, благодаря широкому развитию метасоматитов (в т.ч. в «послезолотое» время), трещинные каналы

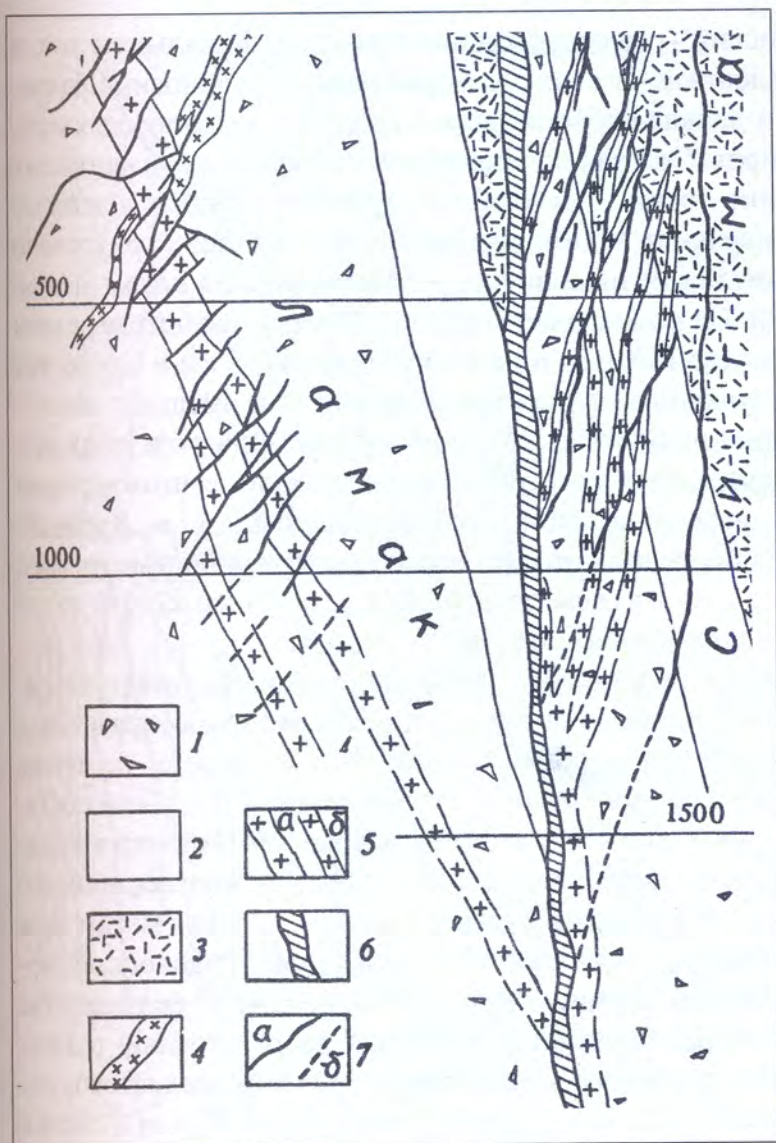
пологого падения в карбонатных породах месторождения Карлин почти полностью затуплены ими [11].

Практически единичны рудные поля, в пределах которых выявлены две пересекающиеся серии протяженных рудоносных трещинных нарушений, вытягивающихся на многие километры (например, на Пачуке – Реаль-дель-Монте [8]).

Протяженность серии рудоносных дизъюнктивов изменяется в довольно широких пределах, чаще составляя 2–3 км. Но нередко они непрерывно прослеживаются на 10–15 км (например, на Коларе, Норсмене, Пачуке, Кономаи, в России на Наталкинском, Благодарном, Нежданнинском, Базовском месторождениях и др.). В свою очередь, этот параметр определяет и большую длину рудных образований.

Так, обычны рудные тела, вытягивающиеся на 1–2,5 км, максимально – на 6 и даже 8 км (жила Марароа, Норсмен, жильная зона Чемпион, Колар и др.). Преимущественно они представлены массивными жилами плитообразной формы, а также ветвящимися или коленчато-перегибающимися сложными жилами с массивной «стволовой» частью и полосами примыкающих прожилков. Мощность жильных образований рядовая, в пределах первых метров. В местах массового отделения апофиз (обычно на коленчатых перегибах жил) руды приобретают штокверковое строение, а мощность таких участков возрастает до 10–20 м, в единичных случаях – до 70 м (жила Сан-Рафаэль, отработанное месторождение Эль-Оро, Мексика; Марта-Хилл, Новая Зеландия). Наряду с жильными телами выявлены залежи и зоны прожилково-вкрапленных и вкрапленных руд (метасоматитов, содержащих вкрапленность сульфидов). Мощность последних значительная, иногда на порядок больше (до 25–30 м на Лега-Демби и даже до 180 м на Пуэбло-Вьехо [13]). Известны также мощные скопления прожилково-вкрапленных руд в прослоях карбонатных пород (Салсинь), в хрупких конгломератах (Пеймор), в трещиноватых дайках андезитовых порфириров (до 70 м на месторождении Эмперор), пересеченных рудоносными разрывами.

Для описываемого структурного типа глубокосформированных месторождений установлен максимальный известный в мире вертикальный размах эндогенного оруденения, по-видимому, 3,5 км на Коларе. Преимущественно он составляет 1–1,5 км. Для близповерхностных рудных полей и месторождений он значительно меньше и достигает только сотен или многих сотен метров. *При этом наиболее благоприятны для распространения руд разрывы, представленные пучками сближенных рудоносных трещин.* Типоморфные представители последних – месторождения рудного поля Теннант-Крик в Австралии. Здесь в монотонной песчаниково-сланцевой толще проявлены вытягивающиеся в широтном направлении цепочки столбообразных и изометричных рудных залежей. Расположены они во внутренних частях еще более значительных по размеру штокоподобных тел гематита и магнетита [1]. Поперечные размеры последних нередко превышают 100 м. Метасоматически образовавшиеся скопления оксидов железа, заключающих реликты песчаника, представляют собой тектоническую брекчию, которая сцементирована сетью золотоносных прожилков висмутин-халькопирит-кварцевого состава. Гематит-магнетитовые тела сформировались в узлах пересечения узких пучков трещин субширотного и северо-восточного простирания. Мощности локализованных в них золоторудных тел колеблются от нескольких метров до нескольких десятков метров. Содержание золота очень высокое. В 1972 г. оно составляло 76,5 г/т и, хотя оно в последнее время существенно снизилось, этот параметр, наряду с большими мощностью рудных залежей и протяженностью их по простиранию, обеспечивает крупный и крупнейший масштаб оруденения.



**Рис. 4.** Разрез крупнейшего золоторудного поля Сигма-Ламак, по материалам Г.С. Вильсона, А.К. Фитцджеральда и др., Р. Франко, В.К. Келли:

1 – лапиллиевые туфы и подчиненные агломераты андезитов; 2 – андезиты; 3 – ортофиры; 4 – субвулканические дайки кварц-полевошпатовых и кварцевых порфиров; 5 – гранодиориты, кварцевые диориты (а – прослеженные, б – предполагаемые); 6 – зона разлома Хайгвей; 7 – золоторудные сульфидно-турмалин-кварцевые жилы (а – прослеженные, б – бедных руд и предполагаемые)

Аналогичная структурная обстановка наблюдается на участке месторождения Поргера в Папуа-Новая Гвинея [5]. Оруденение здесь локализуется в изгибе тектонической поверхности всякого бока рудоконтролирующего разлома Ромейн в основном в алевролитах и углисто-глинистых сланцах. В них развились пересекающиеся пучки рудоносных трещин трех направлений – северо-восточного, субширотного и север–северо-западного. Главное тело штокообразной формы сложено преимущественно вкрапленными сульфидными (существенно пиритовыми) рудами. Оно вытянуто на северо-восток вдоль трещин первого пучка, пересекающихся субширотными разрывами, почти на 1 км. На юго-западном фланге месторождения мощность рудного штока резко возрастает почти до 650 м. Это обусловлено проявлением обильной вкрапленности золотосодержащих сульфидов в узле пересечения развившегося здесь пучка трещин север–северо-западного простирания с нарушениями двух других направлений. Глубокими скважинами рудное тело вскрыто в 600 м ниже современной поверхности и не оконтурено на глубину.

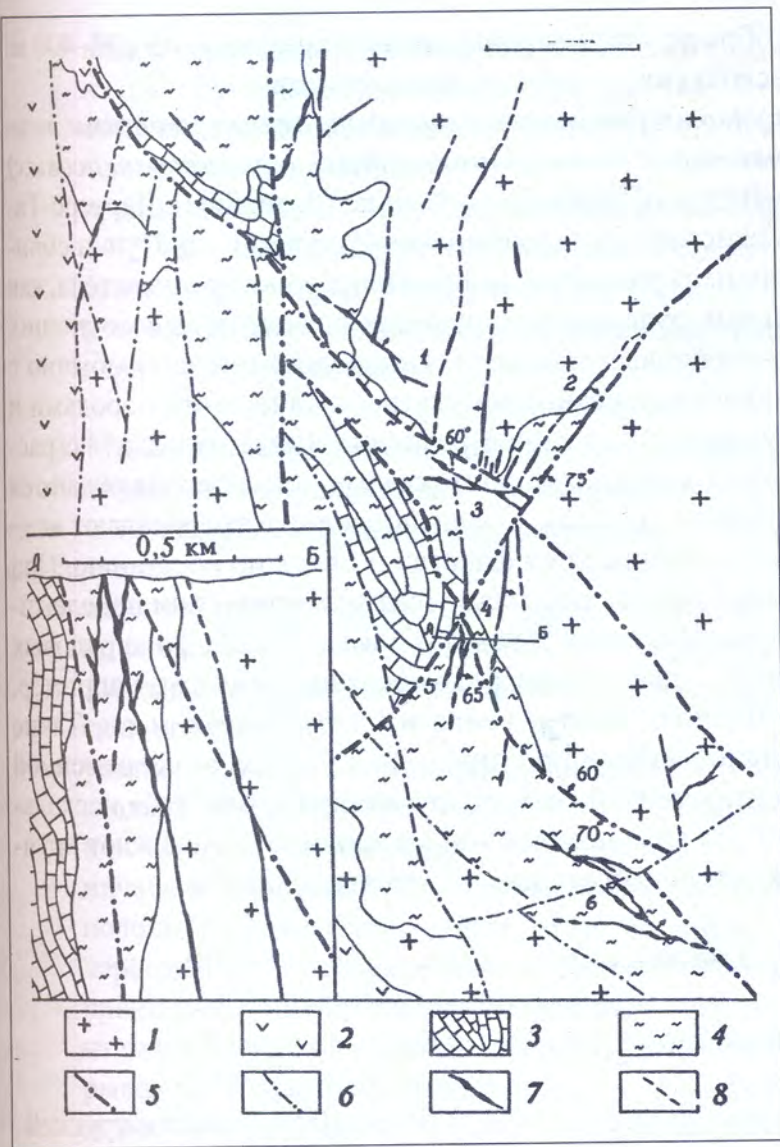
**Месторождения, пространственно связанные с малыми магматическими штоками и дайками сравнительно хрупких пород, а также телами взрывных брекчий и вулканических жерл.** К данному типу относится небольшая группа объектов в Канаде, локализованных в архейском зеленосланцевом поясе Абитибии, на участках рудных полей

Керкленд-Лейк и Сигма-Ламак, в России – месторождение Майское, Каральвеемское, в Узбекистане – Кочбулак и др. Проявленные на этих месторождениях рудоносные разрывы и рудные тела развиты в штоках и дайках габброидных и гранитоидных пород, кварц-полевошпатовых и альбитовых порфиров. Они заключены среди относительно пластичных рассланцеванных вулканитов и вулcano-терригенных пород, преобразованных в зеленые сланцы. Наиболее крупное из перечисленных месторождение Керкленд-Лейк приурочено к разлому и сопутствующим разрывам, протягивающимся в дайкообразном штоке щелочных габбро в продольном направлении. На обоих фланговых выклиниваниях штока разлом разветвляется на веер нарушений. Как его главная зона на протяжении 5 км в штоке, так и фланговые ветви, проникающие в вулканиты и терригенные породы, вмещают золото-сульфидно-кварцевые жилы мощностью не более нескольких метров. Однако в узлах разветвления жил возникают скопления кварцевых метасоматитов и появляется штокверковая сеть прожилков. Мощность таких рудных образований возрастает до 15–30 м. Крупнейшие запасы золота на месторождении обеспечиваются не только выдержанностью главной жилы и мощными раздувами в ней, но и развитием оруденения до глубины 2200 м от современной поверхности при рядовых содержаниях золота 10–15,5 г/т.

На других месторождениях развиты рудоносные разрывы, характеризующиеся рядовыми параметрами. Как правило, они проявлены в виде пучков сколов, сопряженных с развитыми на рудных полях рудоконтролирующими дизъюнктивами. Сколы не всегда сочленяются с последними, а разломы не сопровождаются оруденением. Подобная обстановка наблюдается на участках месторождений Сигма-Ламак и Брелорн-Пайонир в Канаде. Первое представлено серией одинаково ориентированных сколов и жил лестничного типа, локализованных в малых штоках гранитоидов или примыкающих к контактам даек кварцевых и кварц-полевошпатовых порфиров, слагающих узкий пояс. Рудоносные сколы выступают в качестве разрывов, оперяющих разлом Хайгвей (рис. 4). В большинстве случаев лестничные жилы закономерно располагаются в штоках на расстоянии, равном  $2/3$  поперечника заключающего их магматического тела. В некоторых участках штоков эта закономерность нарушается из-за разветвления жил вверх по восстанию [3] или в связи с проявлением разрывов и жил с противоположным направлением падения. Очевидно, последние использовали вторую, подчиненную, систему сопряженных сколов. В результате «шаг» между лестничными жилами-лидерами возрастает вдвое (см. рис. 4).

Протяженность жил определяется поперечным сечением заключающих их удлиненных штоков. Подмечено, что жильные тела прослеживаются от одного контакта штока до другого только в том случае, если сечение штока не превышает 600–800 м. При проникновении рудных тел на небольшое расстояние за пределы штоков мощность их уменьшается от первых метров (максимально – до 7 м) до долей метра. Содержание золота в жилах рядовое (3,5–20 г/т, последнее значение – в рудных столбах). При названных рядовых параметрах крупные запасы благородного металла обеспечиваются последовательной сменой одной жилы другой на большом вертикальном интервале – до глубины 1,5–2 км от поверхности.

Другие представители рассматриваемого типа – Кемфло и Аляска-Тредвел – отличаются своеобразием. Они представлены неправильными амебо-, штоко- и линзообразными залежами низкосортных (1,5–4 г/т) вкрапленных руд сульфидного состава. Они заключены в малых штоках монцонитов или в эндоконтактных зонах раздувов даек кварц-полевошпатовых и альбитовых порфиров. Внутри скоплений вкрапленных руд наблюдаются узкие линейные зоны, насыщенные сульфидами, которые «трассируют» трещинные



**Рис. 5.** Схема рудного поля Глоб-Феникс и разрез по линии А-Б через рудоносные участки Феникс и Джуно, по К.В. Стоузу, с некоторыми изменениями:

1 – древние гранитогнейсы и гранодиориты; 2 – метаандезитобазальты и коматиитовые базальты с прослоями железистых кварцитов; 3 – мраморы и мраморизованные известняки, подчиненные магнезиальные и тальковые сланцы; 4 – серпентиниты; 5 – рудоконтролирующие зоны расщуривания локального типа; 6 – прочие разрывы; 7 – жильные золоторудные тела; 8 – слабо золотосодержащие фланги рудных тел; рудоносные участки: 1 – Примроуз-Скелетен, 2 – Мэри-Дрим, 3 – Глоб, 4 – Феникс, 5 – Джуно, 6 – Гейка

рудоподводящие каналы. Крупные запасы золота обусловлены большими мощностями вкрапленных залежей (до 40–60 м) и развитием руд до глубины 1800–2000 м (Кемфло).

Типичными примерами оруденелых жерловых тел, нередко осложненных контактовыми линзами и трубками взрывных или эруптивных брекчий, служат разведанные в последнее время золотосеребропорфировые месторождения Невадийского пояса США – Раунд-Маунтин, Миске и др., Кори-Кольо в Боливии, отработанное золотопорфировое месторождение вкрапленных руд Маунт-Морган в Австралии, Кочбулак в Узбекистане, Зун-Холбинское в России и др., а также крупнейшие золотосеребряные месторождения в Папуа-Новой Гвинее – Поргера и Ладолай (Лихир).

В структурном отношении все эти месторождения объединяет нарушенность жерловых субвулканических и брекчиевых взрывных тел пучками разветвляющихся и пересекающихся оруденелых трещинных нарушений [10]. Трещинные пучки при этом сопровождаются широкими зонами прожилков, штокверковой сетью их, межпрожилковой вкрапленностью золотосодержащих рудных минералов, редкими гнездами и маломощными жилами. Именно последние нередко фиксируют разрывы лидирующего направления, определяющие ориентировку трещинных пучков и вытянутость рудных тел большой мощности. В совокупности минерализация, оконтуриваемая обычно по низким бортовым зна-

чениям золота (около 1 г/т и менее), образует штокообразные тела шириной до 200–400 м. Они протягиваются на глубину от нескольких до многих сотен метров.

**Месторождения, связанные с пучками рудоносных трещин, осложняющими тектонически деформированные контактовые зоны гранитоидных (гранито-гнейсовых) массивов.** Это месторождения Грасс-Валли (США), Глоб-Феникс (Зимбабве), Чартерс-Тауэрс (Австралия), Чармитанское (Узбекистан), Зул-Холбинское (Россия) и др. Пучки сближенных непротяженных и часто ветвящихся разрывов, вмещающих золоторудные тела, как правило, располагаются вдоль локальных рудоконтролирующих разломов, осложняющих контакты гранитоидных или гранито-гнейсовых массивов. Последние граничат обычно с более пластичными серпентинитами, рассланцеванными ультрамафическими породами и различными сланцами, включая их углеродсодержащие разновидности, изредка – с рассланцеванными порфирами. В подобной обстановке контактовые зоны сопровождаются пучками рудных тел чаще жильной формы (рис. 5). Среди последних преобладают массивные плитообразные жилы, местами ветвящиеся на флангах и вверх по восстанию. При рядовой протяженности большинства жильных тел в плане (сотни метров) они прослеживаются вблизи контактовых зон и в пределах их на глубину более 1 км. На фоне рядовых своими параметрами обычно выделяются две-четыре ведущие жилы-лидеры, например, Эмпайр и Мэриленд в Грасс-Валли, Феникс, Глоб и Гейка в Глоб-Фениксе и т.д. Такие жилы проникают на максимально установленные глубины – до 1,7–2 км от современной поверхности (см. рис. 5). Большой вертикальный размах оруденения и развитие нескольких пучков рудных тел вдоль нарушенных контактовых зон массивов обеспечивают крупные запасы золота. Мощность рудных зон достигает многих десятков метров.

## Заключение

В заключение можно отметить следующее:

1. Анализ и обобщение геолого-структурного материала более 100 крупных и крупнейших золоторудных месторождений эндогенного класса показывают, что все они принадлежат к шести структурным типам. Это месторождения, приуроченные:

- к рудоносным разломам;
- к протяженным и широким рудоносным системам многочисленных разрывов-кулис, сменяющих друг друга в плане и разрезе;
- к сериям протяженных разрывных нарушений одного направления;
- к пересекающимся пучкам оруденелых трещин;
- к малым жерловым телам и телам взрывных брекчий, даек и интрузивных штоков, нарушенных пучками рудоносных разрывов;
- к контактовым зонам гранитоидных (гранито-гнейсовых) массивов, тектонически деформированных пучками рудовмещающих трещинных нарушений.

2. Крупные золоторудные месторождения отличаются от однотипных рядовых следующим:

- развитием масштабных рудовмещающих нарушений трех типов (рудоносных разломов, оруденелых на большом протяжении; протяженных и широких систем многочисленных рудоносных разрывов-кулис; пучков выдержанных разрывов, вмещающих золоторудные тела, прослеживающиеся на большое расстояние);

- выдержанностью строения и морфологии рудоносных нарушений при переходе их из одной рудовмещающей среды в другую;
- скоплением основной массы руд в пределах одного компактного участка (сосредоточенный тип оруденения);
- преимущественно большим вертикальным размахом оруденения, превышающим 1–1,5 км для глубокосформированных и составляющим максимально 0,7–0,9 км для близповерхностных месторождений;
- незначительным изменением минерального состава руд с глубиной (отсутствие минеральной зональности).

3. Масштабность рудовмещающих трещинных структур и в связи с этим масштабность оруденения обуславливаются ранним заложением и длительным дорудным периодом их последующего развития (длительным периодом их дорудной подготовки). Это фиксируется:

- нередкой приуроченностью к рудовмещающим дизъюнктивам трещинных субвулканических тел вулканотектонических построек, штоков и даек интрузивных пород, а также использованием нарушений контактовых поверхностей различных геологических образований;
- унаследованностью рудовмещающими нарушениями ранней трещиноватости нескольких направлений, определяющей сложную морфологию нарушений;
- в результате многократного подновления рудоносных разломов образуются тектонические глинистые швы, брекчированные и рассланцеванные в различной степени полосы, линзы и блоки пород, отделяющие их друг от друга, а также более поздние пересекающие разновременные разрывы, проявляющиеся только внутри зон;
- проявлением либо систем трещинных нарушений сложного строения, состоящих из разновозрастных (по заложению), а иногда и разнотипных рудовмещающих разрывов нескольких направлений, либо протяженных серий, пучков субпараллельных дизъюнктивов, оперяющихся боковыми и диагональными соединяющимися трещинами двух-трех направлений, сформированных одновременно и позднее главных рудовмещающих нарушений.

4. Крупные запасы золота обеспечиваются для месторождений рассмотренных структурных типов сочетанием следующих особенностей и параметров:

- большой непрерывной (или почти непрерывной) протяженностью золоторудных тел (обычно более 1–1,5 км) и распространением их на глубину 1 км и более на глубокосформированных и не менее 0,7 км – на близповерхностных месторождениях;
- большого количества рудных тел рядового масштаба и вертикального размаха оруденения, превышающего 1–1,5 км;
- выдержанных рудных тел в протяженных разрывах трещинных пучков или в серии, и очень высоких содержаниях золота в рудах (десятки граммов на одну тонну);
- единичных (или нескольких), но очень мощных (многие десятки – первые сотни метров) золоторудных тел линзо-, трубо- и штокообразной формы с рядовым содержанием золота и распространением их на глубину в сотни метров.

## Литература

1. Лардж Р. Месторождение золота Джуно-Майн /Полезные ископаемые Австралии и Папуа-Новой Гвинеи. М., 1980. Т. 1.
2. Некрасов Е.М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. – М.: Недра, 1988.
3. Barr D.A. Gold in the Canadian Cordillera // CIM Bui. 1980. Vol. 73. № 818.
4. Burrows D.R., Spooner E.T.C., Wood P.C, Jemiellta R.A. Structural controls of formation of the Hollinger – Mcintyre Au quartz vein system in the Hollinger shear zone, Timmins, Southern Abitibi greenstone belt, Ontario // Econ. Geology. 1993. Vol. 88. № 6.
5. Fleming A. W., Hanley G.A., Williams K.L. a.o. The Porgera gold deposit, Papua New Guinea // Econ. Geology. 1986. Vol. 81. № 3.
6. Jannas R.R., Beane R.E., Ahler B.A. a. o. Gold and copper mineralization at the El Indio deposit, Chile // J.Geochem. Explor. 1990. Vol. 36. № 1–3.
7. Jebrak M. Les gisements d'or du Colorado. Un essai de presentation geodynamique // Chton. rech. miniere. 1986. Vol. 54. № 484.
8. McKee E.H., Dreler J.E., Noble D.C. Early miocene Hhydrothermal activity at Pachuca – Real del Monte, Mexico: an example of space-time association of volcanism and epithermal Ag-Au vein mineralization // Econ. Geology. 1992. Vol. 87. № 6.
9. Mutter A.G., Harris L.B., Lungan A. Structural control of greenstone-hosted gold mineralization by transcurrent shearing: A new interpretation of the Kalgoorlie mining district, Western Australia // Ore Geol. Rev. 1988. Vol. 3. № 4.
10. Sander M.V., Einaudi M.T. Epithermal deposition of gold during transition from propylitic to potassic alteration at Round Mountain, Nevada // Econ. Geology. 1990. Vol. 85. № 2.
11. Roberts R.J. The Carlin story // Repl. nev. Bur. mines and geol. 1986. № 40.
12. Thompson T.B., Trippl A.D., Dwelley P.C. Mineralized veins and breccias of the Cripple Creek district, Colorado // Econ. Geology. 1985. Vol. 80. № 6.
13. Vennemann T.W., Muntean J.L., Kesler S.E. a.o. Stable isotope evidence for magmatic fluids in the Pueblo Viejo epithermal acid sulfate Au-Ag deposit, Dominican Republic // Econ. Geology. 1993. Vol. 88. № 1.
14. Wilton D.H.C., Strong D.F. Granite-related gold mineralization in the Cape Ray fault zone of Southwestern Newfoundland // Econ. Geology. 1986. Vol. 81. № 2.

## КРУПНЕЙШИЕ И КРУПНЫЕ ЭНДОГЕННЫЕ ЗОЛОТОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ЛОКАЛИЗУЮЩИЕСЯ В СВЯЗИ С РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИМИ РАЗЛОМАМИ ВЫСОКИХ ПОРЯДКОВ

*Показано, что из 66 крупнейших в мире месторождений золота эндогенного класса (с суммой запасов, ресурсов и добытого металла более 300 т) две трети пространственно связаны со сравнительно непротяженными рудоконтролирующими разломами третьего–пятого порядков. Определена последовательность проведения поисковых работ, направленных на обнаружение подобных месторождений.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* рудоконтролирующие разломы; золоторудные месторождения; рудные тела.

*(Известия вузов. Геология и разведка. 2010. № 4. С. 30–37).*

В настоящее время в золотодобывающей промышленности главный интерес приобрели крупные и крупнейшие эндогенные месторождения. В мировом балансе добычи золота им принадлежит почти половина извлекаемого благородного металла. Поэтому понятен интерес геологов к поискам таких месторождений и их разведке.

Как правило, крупные (с суммой запасов и ресурсов золота, достигающей 100 т и более) и крупнейшие (300 т и более) месторождения характеризуются невысокими содержаниями металла (от нескольких десятых долей до 2–3 г/т). Из-за этой особенности крупнейшие месторождения нередко называют крупнообъемными.

Большая часть крупнейших и крупных золоторудных месторождений отличается проявлением так называемых золотосеребропорфировых руд. Обычно они представляют сеть или протяженную полосу мелких прожилков (изредка с маломощными жилами), между которыми в метасоматитах, в «межжильном» пространстве заключена вкрапленность золотосодержащих сульфидов, в меньшей степени сульфосолей. Реже месторождения представлены вкрапленными, преимущественно золотосульфидными (иногда золототеллуридными) рудами. Будучи оконтурены по низкому и очень низкому бортовому содержанию золота (несколько долей грамма на тонну), в месторождениях золотосеребропорфировых и золотопорфировых руд удается выделить трубо-, штоко-, а также лентообразные рудные тела мощностью в несколько десятков и сотен метров. Чаше тела круто погружаются на несколько сотен метров на глубину, где после обеднения оруденения могут смениться другими рудными телами, кулисообразно заходящими за «корни» тел верхнего яруса. Так, на месторождении Мурунтау в Западном Узбекистане золоторудные тела, сменяясь одно другим, распространяются на глубину 1,5–2 км от поверхности [4, 8]. Указанный пример не единичен. На глубину более 2–2,5 км развивается оруденение на месторождениях

Поркьюпайн и Керкленд-Лейк в Канаде. На месторождениях Морроу-Велью в Бразилии, Ашанти в Гане и других оно установлено на глубинах, превышающих 2 км.

Как и рядовые месторождения эндогенного класса, крупные и крупнейшие золоторудные объекты порфириновых руд и руд прочих типов контролируются трещинами [2], пространственно тяготеющими к рудоконтролирующим разломам, закладывающимся нередко задолго до оруденения. Образование месторождений золота трещинного типа сравнительно специфично и зависит от многих геологических факторов, что недавно наглядно показал М.М. Константинов [3]. Автор здесь рассмотрел только пространственную связь месторождений с рудоконтролирующими разломами. Напомним, что выдающийся российский геолог Ф.И. Вольфсон [2] одним из первых выдвинул и разработал представление о том, что рудоконтролирующие разломы нижнекорового и верхнемантийного заложения служат *протяженными* каналами для поднимающихся в деформированную зону пород рудоносных растворов и флюидов и поэтому могут контролировать размещение оруденения в рудных провинциях, поясах и районах.

Среди рудоконтролирующих принято различать разломы регионального и локального типов. Если первые протягиваются на несколько сотен и даже тысяч километров (например, разломы Сьерра-Мадре в Мексике, Главный Филиппинский разлом на Филиппинах, система прибортовых нарушений в архейских поясах блока Йилгарн в Западной Австралии и др.) с шириной зоны деформированных пород между своими главными швами несколько километров, то локальные рудоконтролирующие нарушения в несколько и даже в десятки раз менее протяженные и менее мощные. Соответственно, сравнительно выдержанные из них (любым образом сопрягающиеся с региональными разломами) могут рассматриваться как разломы второго порядка. С такими разломами сочленяются еще менее выдержанные и менее мощные нарушения – третьего, четвертого и даже пятого порядков. Такие разломы детально прослежены, например, в золотоносном поясе Абитибби в Канаде [6, 13, 15]. В случае пространственного тяготения к ним месторождений и проявлений золота разломы могут рассматриваться в качестве рудоконтролирующих нарушений высоких порядков.

Среди рудоконтролирующих разломов второго порядка различают три разновидности (три серии нарушений).

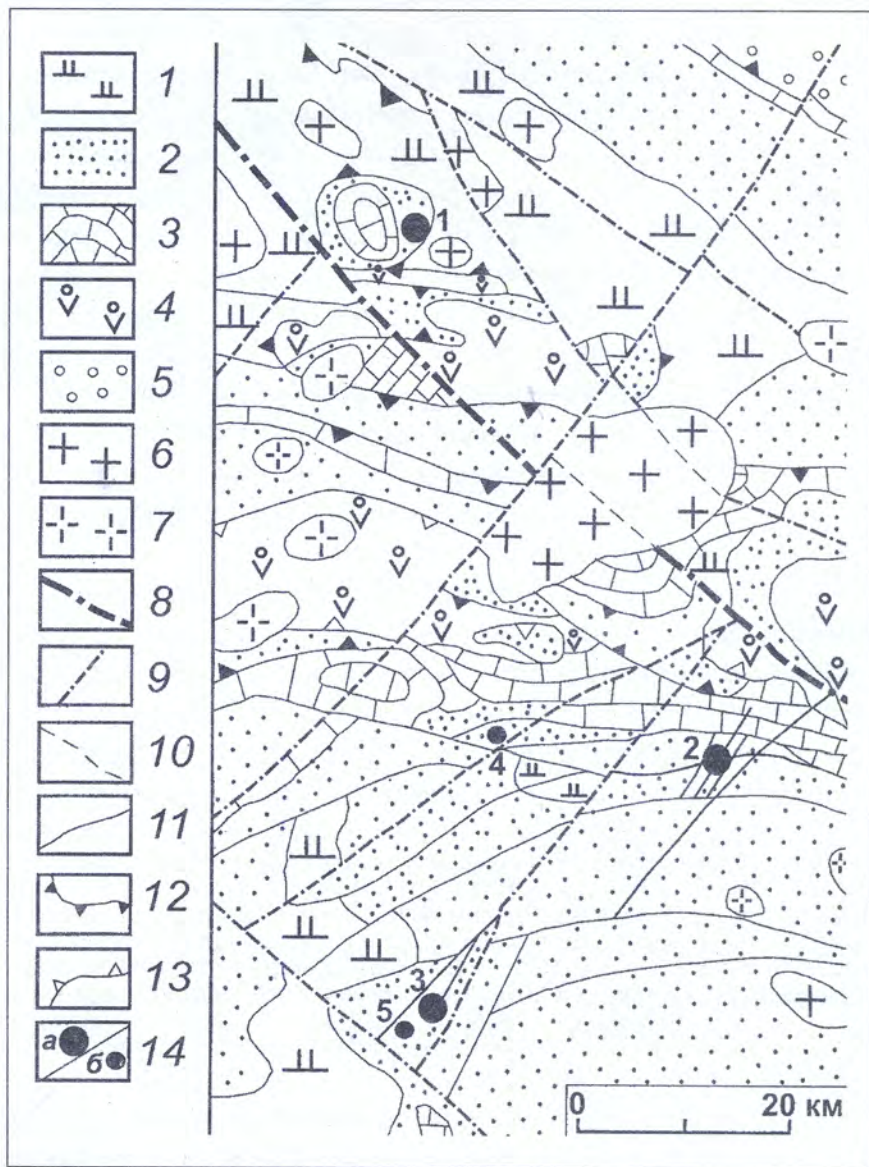
Разломы первой серии обычно проявляются в пределах активной приразломной зоны [7] региональных рудоконтролирующих нарушений, на расстоянии 5–10 (редко 15–20) км в обе стороны от главных швов разломов. Это разрывы, параллельные и субпараллельные главной региональной зоне, т. е. как бы сателлиты, сопровождающие ее с одного или обоих боков (висячего и лежачего), но существенно менее протяженные и выдержанные, менее мощные.

Ко второй серии рудоконтролирующих разломов второго порядка относят боковые ветви, отделяющиеся наподобие оперяющих боковых нарушений от швов главной региональной зоны и «уходящие» далеко в сторону от нее. На примере Главного Филиппинского разлома, прибортовых разломов архейских поясов в блоке Йилгарн в Австралии и других установлено, что подобные ветви (ориентированные под углом по отношению к главному региональному разлому) прослеживаются на многие десятки километров от зоны регионального нарушения.

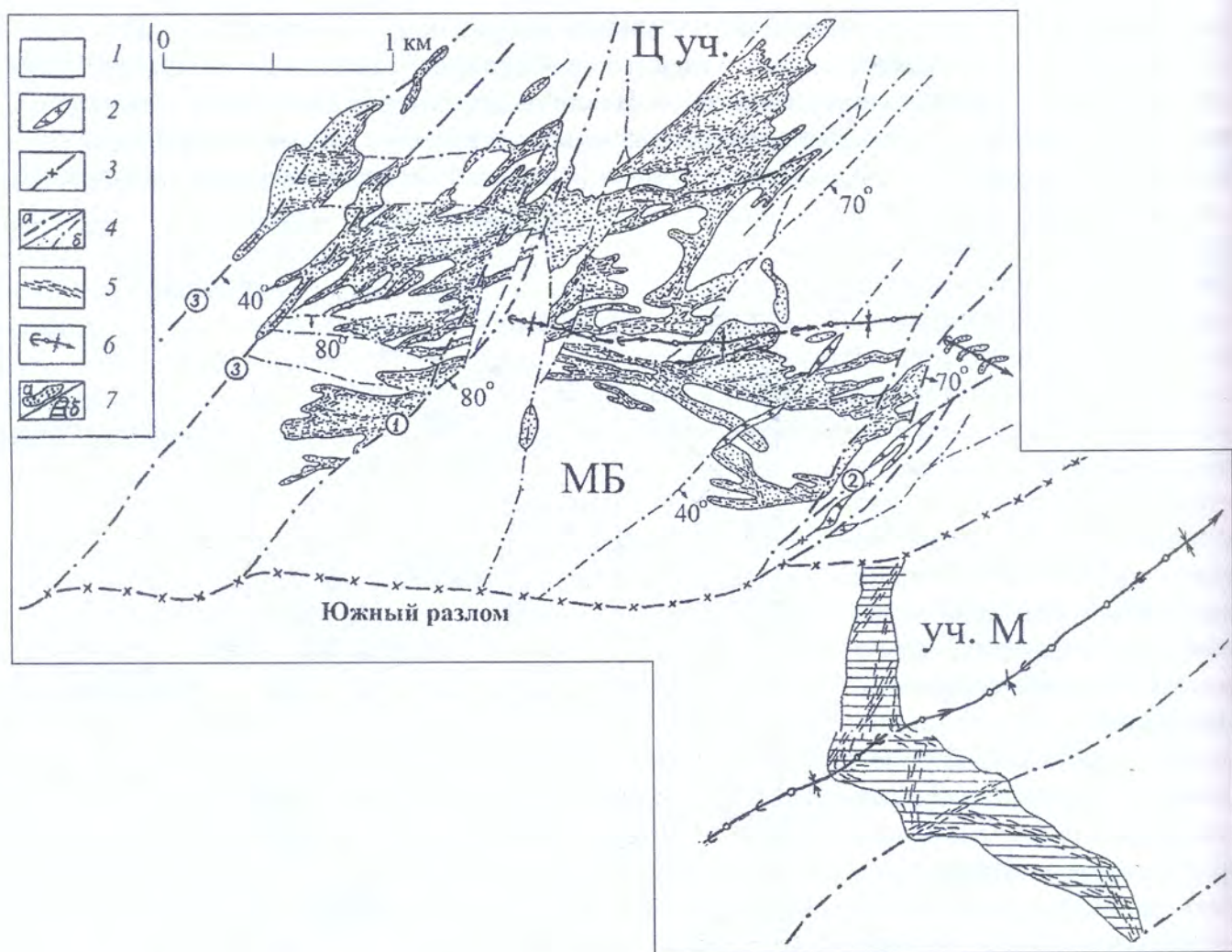
Наконец, третьей серией рудоконтролирующих разломов второго порядка выступают нарушения, расположенные по отношению к протяженным региональным зонам в поперечном (или близком к нему) направлении. Чаще подобные локальные разломы вто-

рого порядка «упираются» в зоны региональных нарушений, где и затухают. Однако некоторые нарушения описываемой группы, развивающиеся или подновляющиеся, видимо, позже, пересекают региональные зоны. В период оруденения как ограничивающиеся, так и пересекающие локальные разломы выступают в качестве второй системы нарушений, сопряженной с региональным разломом [2]. При этом месторождения и проявления золота пространственно тяготеют как к активной деформированной зоне регионального разлома, так и к поперечным локальным нарушениям второго порядка. Это наглядно проявилось в Центрально-Кызылкумской золотоносной провинции [1, 3, 8]. Здесь, наряду с месторождениями, локализованными вдоль главного регионального разлома, крупнейшие и крупные месторождения золота (например, Мурунтау, Даугыз в Западном Узбекистане) размещаются вблизи поперечных разломов второго порядка (рис. 1).

Рассмотренные нарушения сопровождаются рудоконтролирующими разломами третьего, а последние – четвертого и даже пятого порядков. Так, Мурунтау, лидирующее среди крупнейших золоторудных месторождений мира, локализуется севернее Южного разлома, который является нарушением третьего (или даже четвертого) порядка. Северный тектонический блок, примыкающий к Южному разлому, мобильный, наиболее подвижный и деформированный. Развившееся в нем наиболее масштабное оруденение Центрального участка месторождения размещается в зоне



**Рис. 1. Фрагмент Центрально-Кызылкумской золотоносной провинции со снятыми породами мезозойско-кайнозойского осадочно-чехла (по [1]): 1–5 – толщи пород: 1 – вулканогенно-карбонатно-сланцевая (PZ<sub>1</sub>); 2 – терригенная песчанико-сланцевая (O-S); 3 – карбонатная (доломиты и известняки) и вулканогенно-кремнисто-карбонатная (D-C<sub>1</sub>); 4 – вулканогенно-олистостромово-флишоидная (C<sub>2,3</sub>); 5 – молассоидная (C<sub>3</sub>-P); 6 – интрузивы габбро-диорит-гранодиоритовой формации и формации биотитовых гранитов (PZ<sub>2</sub>); 7 – интрузивы тех же формаций, перекрытые молодым осадочным чехлом; 8–11 – рудоконтролирующие разломы различных порядков: 8 – региональный Центрально-Кызылкумский, 9 – разломы-сателлиты регионального нарушения и разломы поперечного направления второго порядка, 10 – продолжения подновленных разломов в сравнительно молодых гранитоидах, 11 – разломы высоких (третьего–пятого) порядков; 12 – межформационные сбросы, 13 – надвиги; 14 – золоторудные месторождения: а – крупные и крупнейшие: (1 – Кокпатас, 2 – Мурунтау, 3 – Даугыз), б – рядовые: 4 – Косманачи, 5 – Высоковольное**



**Рис. 2. Геолого-структурная схема месторождения Мурунтау:** МБ – мобильный тектонический блок, примыкающий к Южному разлому третьего порядка; цифры в кружках – локальные рудоконтролирующие зоны расланцевания высоких (четвертого–пятого) порядков: 1 – главный Северо-Восточный разлом, 2 – пучки Восточных и 3 – Западных разломов; 1 – породы бесапанской песчаниково-сланцевой толщи (О-С); 2 – дорудные дайки сиенито-диоритовых и диоритовых порфиров (PZ.); 3 – Южный рудоконтролирующий разлом; 4 – мелкие рудоконтролирующие разломы четвертого–пятого порядков (а), прочие разрывы (б); 5 – основные рудовмещающие зоны расланцевания, в том числе согласные со слоистостью; б – кили пологих синклиналей и направление погружения их; 7 – золоторудные тела прожилково-вкрапленных руд: а – Центрального участка месторождения (Ц. уч.); б – «слепого» участка Мютенбай (уч. М)

секущих рудоконтролирующих разрывов еще более высоких порядков. Это серия разломов четвертого–пятого порядков северо-восточного простирания. На участке Мютенбай локализовалось слепое вкрапленное оруденение, отличающееся умеренными ресурсами. Оно развилось южнее, в инертном, малоподвижном и слабо деформированном тектоническом блоке месторождения, между Южным разломом и мелким разрывом северо-восточного простирания, как бы оперяющим Южный разлом (рис. 2). Оруденение обоих рудоносных участков развилось в песчанико-глинистосланцевой толще ордовик-силурийского возраста. Представлено оно системой крутопогружающихся рудных штоков, труб и лент, местами с отходящими от них ярусами пологих и непротяженных послынных апофиз. Руды прожилково-вкрапленные, кварц-сульфидные [8]. Именно в пределах тектонического блока, заключенного между нарушениями северо-восточного простирания (Северо-Восточный, Западный и Восточный разломы, скорее всего, 5-го порядка), прослеживается главное оруденение Центрального участка месторождения (рис. 2), который эксплуатируется с 1967 г.

Оруденение проникает до глубины 2 км. В северной и южной частях карьера наряду с прожилково-вкрапленными сульфидно-кварцевыми рудами были также отработаны единичные жилы сульфидно-кварцевого состава с рядовой мощностью 2–3 м [8]. Глубина карьера около 560 м. Из руд с содержанием золота примерно 2 г/т ежегодно извлекают от 35 до 45 т благородного металла.

Непротяжённые рудоконтролирующие разломы высоких порядков (третьего, четвертого и пятого), особенно нарушения, сочленяющиеся с разломами второго порядка, нередко обладают ориентировкой, повторяющей направление последних нарушений и региональных зон. Возникая в мобильных, наиболее тектонически деформированных и подвижных блоках, разломы третьего порядка повторяют ориентировку региональных, а нарушения четвертого порядка – разломов второго порядка [7].

В ряде золоторудных поясов и провинций отмечается, что фланговые, выклинивающиеся участки разломов высоких порядков не только контролируют размещение, но и сами вмещают оруденение [4–7, 9]. Иногда на флангах таких разломов локализуются руды крупнейших и крупных месторождений. Примером их могут служить: в России – Олимпиадинское месторождение, приуроченное к флангу Широкого разлома 4–5 порядков, Керкленд-Лейк в Канаде, развившееся на фланге одноименного разлома, Поргера в Папуа-Новая Гвинея, где оруденение размещается вдоль нарушений, отделяющихся от фланга разлома Роамен, Багио на Филиппинах и т.д. Скорее всего, в период оруденения эти затухающие в плане и сомкнутые вверх по восстанию фланги разломов высоких порядков служили своеобразным экраном для поднимающихся рудоносных растворов и флюидов. Последние как бы «застаивались» в этих «полупроницаемых» для них условиях, охлаждались и «разгружались» в расположенных глубже многочисленных полостях, пустотах и порах сопутствующих околорудных метасоматитов [4, 9, 12]. В благоприятной геологической обстановке возникали крупные скопления руд. Правда, несравненно чаще крупнейшие и крупные золоторудные месторождения и в целом золотое оруденение трещинного типа локализовано в сравнительно непротяженных *рудовмещающих* разрывах. Последние в период оруденения или непосредственно сочленяются с рудоконтролирующими разломами высоких порядков или размещаются вблизи них, в активной деформирующейся зоне пород. В целом, система региональных и локальных разломов, особенно разломов поперечного направления (по отношению к региональным рудоконтролирующим нарушениям), в сочетании с рудовмещающими разрывами, существенно раздвигает и осложняет границы золотоносных поясов и провинций [7, 9]. Например, ширина Центрально-Кызылкумской провинции увеличивается местами (чаще в полосе поперечных разломов второго порядка) до 100–150 км. При этом серия поперечных рудоконтролирующих разломов в сочетании с более многочисленными разломами высоких порядков приводит к изменению сравнительно выдержанных границ провинции и появлению далеко проникающих «выступов», а также заливов и «сужений» [1]. Такая особенность присуща многим другим золотоносным поясам и провинциям: на Северо-Востоке России – золотоносному Охотско-Чукотскому вулканогенному поясу [10], Аляскинскому сегменту Американских Кордильер, центральному мегаблоку о. Новая Гвинея (Папуа-Новая Гвинея) и др. [3, 11]. Изогнутые границы свойственны многим золотоносным поясам метатерригенно-вулканогенных пород архейского возраста: поясам в пределах Канадского и Бразильского щитов (кратонов), Центрально-Африканского щита – в золотоносной провинции о. Виктория (Танзания), поясу Кило-Мото в ДРК (бывшем Заире) и др.

Золоторудные месторождения, пространственно тяготеющие к региональным и локальным рудоконтролирующим разломам, размещаются вблизи этих нарушений неравномерно и крайне неравномерно [3, 11, 12]. Так, вдоль Главного Филиппинского разлома (пересекающего на протяжении 1400 км с север–северо-запада на юг–юго-восток крупные острова Филиппинского архипелага: Лусон, Буриас, Сибуян, Санар и Минданао) установлены только три крупных и крупнейших золоторудных объекта. В частности, западнее и юго-западнее г. Лагаве (о. Лусон) разрабатываются месторождения Виктория-1 и Виктория-2 с запасами и ресурсами золота, в сумме превышающими 150 т. В 60–70 км южнее, в районе г. Багио, продолжается эксплуатация некоторых месторождений одноименного рудного поля, из недр которых добыто более 350 т золота. И только в 750 км юг–юго-восточнее, на севере о. Минданао, вблизи г. Суригао, разведутся месторождение Байонган с запасами и ресурсами золота, превышающими в сумме 160 т. Между названными объектами известны такие сравнительно многочисленные рядовые месторождения золота (некоторые разрабатываемые), как Масбате, Маркоппер, Параколе, Унгай и др. Нет сомнения, что все они разновозрастные (позднеэоценовые) [11]. При перепадах высот, на которых установлено золотое оруденение, с абсолютными отметками рельефа от уровня моря до  $\approx 3$  км и при развитии однотипного оруденения на протяжении 1400 км [11] геологические данные позволяют заключить, что золотосеребряное и золототеллуридное оруденение вдоль Главного Филиппинского разлома проявилось в вертикальном интервале, превышающем 3 км.

Втрое больший вертикальный интервал золотого оруденения установлен в Перуанских Андах (Южно-Американского субконтинента). В проявленных здесь кулисообразно сменяющихся золоторудных поясах субмеридионального направления оруденение локализуется на протяжении 2500 км [14] – от северного крупнейшего месторождения золота Янакоча (на южной широте  $6,5^\circ$ ) до рядового золоторудного месторождения Арунтани на юге (Aruntani, около  $16^\circ$  южной широты). При перепадах высот в Перуанских Андах от уровня моря до  $\approx 7$  км, общий вертикальный интервал золотого оруденения в поясах (с учетом уничтоженной эрозией части и прогнозом на глубину до 1 км от современной поверхности) оценивается в 8–10 км.

Неравномерность размещения золотого оруденения, в том числе крупных и крупнейших месторождений, связана, в первую очередь, с проявлением мобильных блоков, примыкающих к рудоконтролирующим разломам второго и, главным образом, высоких порядков [7]. Эти месторождения в подавляющем большинстве случаев используют рудовмещающие нарушения, возникающие или подновляющиеся в период оруденения в активной деформирующейся зоне мобильных тектонических блоков. В настоящее время к крупнейшим золоторудным месторождениям мира, включая Россию (а также к месторождениям, приближающимся к ним по сумме запасов и ресурсов), можно отнести до 66 таких объектов. Более две трети их разрабатываются.

Автор попытался связать известные крупнейшие месторождения золота с рудоконтролирующими разломами различного порядка. В табл. 1, 2 примерно для половины учтенных месторождений достаточно надежно установлена связь оруденения с рудоконтролирующими разломами. Для всех месторождений в таблицах приведена также сумма добытого и оставшегося в недрах золота (запасы и ресурсы).

**Крупнейшие месторождения золота, пространственно связанные с рудоконтролирующими региональными разломами и разломами второго порядка**

Номер	В связи с региональными нарушениями		Номер	В связи с разломами второго порядка	
	месторождения, страна (разломы) <sup>1</sup>	золото, т <sup>2</sup>		месторождения, страна (разломы) <sup>1</sup>	золото, т <sup>2</sup>
<i>Африка</i>			<i>Азия</i>		
1	Ашанти, Гана (зона Ашанти-Престеа) <sup>1</sup>	1200	1	Васильковское, Казахстан (зона северо-восточных разломов)	380
2	Престеа-Богосу, Гана (зона Ашанти-Престеа)	280-430	2	Бакырчик, Казахстан (сателлиты регионального надвига)	540
<i>Северная Америка</i>			<i>Африка</i>		
3	Доум, Канада (Кадиллак)	430	3	Агафо, Гана (Ямфо-Сефи)	380
4	Керр-Эдисон, Канада (Кадиллак)	330	<i>Австралия</i>		
5	Кон-Джиант – Йеллоунайф, Канада (Вест-Бей)	260	4	Калгурли, Австралия (сателлиты Боулдер, Голден-Мейл и др.)	1950
6	Голдстрайк, США (Пост)	1150	<i>Америка</i>		
7	Голд-Кворри, США (Пост)	> 350	5	Донлин-Крик, США, Аляска (сателлиты Идитару!)	800-900
8	Мейкл, США (Пост)	310	6	Твин-Крикс, США (сателлит Гетчелл)	> 330
9	Мазер-Лод, США (Чикаго)	> 420	7	Поркьюпайн, Канада (сателлиты Дестор-Поркьюпайн и Кадиллак)	970
	в том числе м-ния округа Амадор (Чикаго)	240	8	Керкленд-Лейк, Канада (Керкленд-Лейк)	750
Примечание. <sup>1</sup> Названия достаточно надежно установленных рудоконтролирующих разломов или их ориентировка, <sup>2</sup> сумма запасов, ресурсов и добытого металла.			9	Сигма-Ламак, Канада (р. Хайгвей)	300-320
			10	Голден-Джиант – Хэмло, Канада (Муз-Лейк)	> 600
			11	Гуанахуато, Мексика (Вета-Мадре – Сьерра)	300
			12	Янакоча, Перу	1450

Оказалось, что вдоль протяженных региональных рудоконтролирующих разломов в их активной деформированной зоне размещается всего около 14% крупнейших месторождений. Причем меньшая часть их использует рудовмещающие нарушения, непосредственно соединяющие главные, обычно сближенные, швы региональных разломов. Наиболее впечатляющим примером является месторождение Ашанти (Гана). Здесь основные жилы Ашанти, Обуаси, Кот-де-Ор и Нью-Мейк локализовались в мощных и протяженных зонах расланцевания, которые диагонально, под углом всего 10–15° в плане, соединяют отдельные швы главного рудоконтролирующего нарушения регионального значения (региональная зона расланцевания Ашанти-Престеа). Жилы на месторождении Ашанти продолжают разрабатываться на глубине около 1,6–2 км от современной поверхности [6]. Аналогичную

**Крупнейшие месторождения золота, пространственно связанные с рудоконтролирующими разломами третьего и более высоких порядков**

Номер	Месторождения, страна (разломы) <sup>1</sup>	Золото <sup>2</sup> , т	Номер	Месторождения, страна (разломы) <sup>1</sup>	Золото <sup>2</sup> , т
<i>Евразия и Океания</i>			<i>Северная и Южная Америка</i>		
1	Наталкинское, Россия (сателлиты Тенькинского)	> 1000	23	Пого, Аляска, США (сателлиты Идитару)	200
2	Сухой Лог, Россия (северо-западный)	850–1100	24	Аляска-Джуно, Аляска, США (Тредвел-Джуно)	180–200
3	Олимпиадинское, Россия (Широтный)	700–800	25	Кемпбелл-Дикенсон, Канада (северо-западные, оперяющие субширотный разлом)	270
4	Нежданинское, Россия (ветви Сунгарского)	500	26	Ред-Лейк, Канада (северо-западный)	300
5	Балей-Тасеевское, Россия (сателлиты Дарасун-Балейского)	470	27	Хомстейк, США (серия северо-западных)	1280
6	Купол, Россия (субширотные и северо-восточные)	220–250	28	Джеррит-Каньон, США (сателлиты разлома Пост)	300
7	Березовское, Россия (серия субмеридиональных)	250–300	29	Пайплайн–Южный Пайплайн, США	400
8	Мурунтау, Узбекистан (северо-восточные, оперяющие Южный)	3300 + 1400 ресурсы	30	Карлин, США (Лидвилл и ветви разлома Пост)	> 700
9	Кумтор, Киргизия (система северо-западных)	510	31	Слепое месторождение Кортес-Хилл, США (Кортес – Батл-Маунтин)	230 (+345)
10	Бока, Китай	500	32	Гетчелл или Гетчелл-Ридж, США (Гетчелл)	> 250
11	Линлун, Китай (разломы системы Лошань–Линлун-Фушань)	250	33	Крипл-Крик, США (узел пересечения северо-западных и северо-восточных разломов)	850
12	Тайшан, Китай	>200	34	Раунд-Маунтин, США	410
13	Рошиа-Монтане, Румыния (узел пересечения субширотных и северо-западных)	460	35	Грасс-Валли – Невада-Сити, США	324–392
14	Лихир, Папуа-Новая Гвинея	1200	36	Пенаскьюто или Пенаско, Мексика	550
15	Поргера, Папуа-Новая Гвинея (Роамен)	510	37	Пуэбло-Вьехо, Доминиканская Республика (серия север-северо-западных разломов)	630 в первичных и 170 в добытых окисленных рудах
16	Багио, Филиппины (мелкие северо-западные ветви Главного Филиппинского)	360	38	Ангостура, Колумбия	420
<i>Африка</i>			39	Лас-Кристинас, Венесуэла (серия северо-западных разломов)	700

Номер	Месторождения, страна (разломы) <sup>1</sup>	Золото <sup>2</sup> , т	Номер	Месторождения, страна (разломы) <sup>1</sup>	Золото <sup>2</sup> , т
17	Сукари, Египет (система север-северо-восточных)	>300	40	Паракату, Бразилия	470
18	Акайем, Гана (сателлит зоны Ашанти-Престеа)	> 200	41	Альто-Чикама или Лагуна-Норте, Перу	345–420
19	Садиола, Мали (Сенегало-Малийская зона расщепления)	350	42	Пьерина, Перу	250
20	Морила, Мали	220–250	43	Паскуа-Лама-Веладеро, Чили – Аргентина (запад-северо-западный)	820
21	Гейта, Танзания (серия восток-северо-восточных разломов)	370	44	Фруга-дел-Норте, Эквадор (серия север-северо-восточных)	430
22	Буланхулу, Танзания (прибортовой север-северо-западный)	330	45	Кьюимсакоча, Эквадор	200–250

Примечания. <sup>1</sup> Названия достаточно надежно установленных рудоконтролирующих разломов или их ориентировка, <sup>2</sup> сумма запасов, ресурсов и добытого металла.

позицию занимают также мощные рудные тела архейских месторождений Доум и Керр-Эдисон (Канада) в зоне регионального разлома Кадиллак. На месторождениях Голдстрайк (иногда называемым также Бетц-Пост) и Мейкл (США) мощные рудные тела вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд примыкают к швам главного регионального разлома Пост субмеридионального направления (табл. 1). Некоторые рудные тела используют субширотные, видимо, оперяющие трещины, отделяющиеся от разлома, а другие (например, Родео) размещаются в рудовмещающих разрывах, субпараллельных главным швам разлома Пост, в нескольких сотнях метров от него.

Около 20% месторождений связано с разломами второго порядка, которые занимают поперечное положение по отношению к региональным нарушениям, либо субпараллельны им или отделяются от последних в виде боковых ветвей. Наиболее характерна для рудоконтролирующих разломов второго порядка и связанных с ними месторождений позиция месторождения Калгурли (Западная Австралия). В пределах его сеть зон вкрапленного золототеллуридного оруденения проявляется между разломами Голден-Пайк, Голден-Мейл, Лайк-Вью, Федерал и другими, захватывая и некоторые из них [6]. В Гане к разлому-сателлиту Ямфо-Сефи, субпараллельному главным региональным зонам расщепления Ашанти-Престеа и Бибиани, приурочены мощные вкрапленно-прожилковые рудные тела месторождения Агафо (табл. 1).

Наибольшая доля крупнейших и приближающихся к ним по запасам и ресурсам месторождений золота пространственно связана с рудоконтролирующими разломами третьего и преимущественно с причленяющимися к ним разломами четвертого и пятого порядков – 67% месторождений или каждые два месторождения из трех известных в мире (табл. 2). Это наглядно демонстрируется рассмотренной выше геологической позицией месторождения Мурунтау в Западном Узбекистане (рис 2). В России подобной геологической обстановкой отличается также Олимпиадинское месторождение на Енисейском кряже. За пределами России примерами на различных континентах могут служить месторождения Карлин

(США) и Паскуа-Лама-Веладеро (Чили – Аргентина), Гейта (Танзания), Поргера (Папуа-Новая Гвинея), Рошия-Монтане (Румыния).

Очевидно, что при проведении поисков в пределах установленных золотоносных поясов и провинций, главное внимание должно обращаться не столько на региональные, обычно достаточно четко выделяемые рудоконтролирующие нарушения, сколько на сравнительно непротяженные разломы. Эти нарушения проявляются в активной деформированной зоне разломов третьего и в зонах, как бы подчиненных им и отделяющихся от них, более «мелких» разломов высоких порядков.

## Выводы

1. Подавляющая часть крупнейших золоторудных месторождений (не менее двух из трех обнаруженных) размещается вблизи сравнительно непротяженных и имеющих умеренную мощность рудоконтролирующих разломов четвертого и пятого порядков, в меньшей степени – вблизи разломов третьего порядка, от которых они отделяются. Нарушения третьего порядка осложняют в свою очередь рудоконтролирующие разломы второго порядка. Последние выступают в виде субпараллельных сателлитов региональных нарушений, в виде их боковых ветвей или прослеживаются как система протяженных поперечных (либо субпоперечных) разломов.

2. Возможно, в период оруденения разломы второго порядка выступают в роли разрывов, сопряженных с региональными рудоконтролирующими нарушениями. Поэтому вдоль них с самого начала этапа деформации могли происходить энергичные крупноамплитудные перемещения. Они вели, с одной стороны, к появлению в активной деформирующейся зоне нарушений отделяющихся от них разломов-ветвей третьего, четвертого и пятого порядков, а с другой – к проявлению примыкающих к ним максимально подвижных мобильных блоков.

Именно последние вмещают наиболее многочисленные рудовмещающие нарушения, которые в условиях благоприятной геологической обстановки могут локализовать объемные скопления руд, заключающие крупнейшие запасы золота.

3. Наряду с многими другими рудообразующими факторами (не рассматриваемыми здесь), благоприятная геологическая обстановка преимущественно складывается именно вблизи рудоконтролирующих разломов высоких порядков, чаще в их мобильных, примыкающих к ним сравнительно небольших тектонических блоках.

4. Таким образом, при проведении поисков крупнейших и крупных золоторудных месторождений наиболее целесообразно в районах, оцениваемых на золото, первоначально выделять предполагаемые достаточно крупные мобильные и максимально деформированные тектонические блоки. Такие блоки примыкают к рудоконтролирующим разломам второго порядка. В пределах подобных мобильных блоков особое внимание затем следует уделять активно деформированным зонам (чаще шириной не более 5 км) предполагаемых рудоконтролирующих разломов третьего, четвертого и пятого порядков. При изучении этих разломов следует намечать примыкающие к ним небольшие мобильные блоки. С последними может быть пространственно связана основная часть рудовмещающих нарушений, в том числе крупнообъемных и протяженных, заключающих запасы золота, превышающие рядовые.

5. При проведении поисковых работ необходимо оценивать общий вертикальный размах золотого и золотосеребряного оруденения. Так, в сравнительно молодых мезозойских

и кайнозойских (а также в достаточно редких верхнепалеозойских) золотоносных поясах и провинциях (особенно терригенно-вулканогенного облика) общий вертикальный размах его может достигать 3 км. В поясах и провинциях более древних (вплоть до архейского) возраста общий вертикальный размах золотого оруденения возрастает до 8–10 км. Поэтому первоначально обнаруженные сравнительно незначительные (по масштабам выявленного оруденения) рудопроявления золота могут оказаться слабо эродированной «кровлей» крупных рудных тел. Подобные рудные образования могут распространяться на большую глубину (до 3 км и более на конкретном месторождении) и заключать в совокупности с другими слепыми рудными телами крупные ресурсы золота. Очевидно, что обнаруженные проявления золота, пространственно связанные с рудоконтролирующими разломами высоких порядков, должны заверяться бурением веера скважин до глубины 200–400 м от современной поверхности.

## Литература

1. Вихтер Б.Я. Главные факторы локализации основных геолого-промышленных типов месторождений благородных металлов в западной части Южного Тянь-Шаня // Тр. ЦНИГРИ. 1991. В. 236. С. 110–115.
2. Вольфсон Ф.И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 305 с.
3. Константинов М.М. Золоторудные провинции мира. М.: Научный мир, 2006. 335 с.
4. Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров АА, Стружков С.Ф. Золоторудные гиганты России и мира. М.: Научный мир, 2000. 270 с.
5. Месторождения золота Урала / В.Н. Сазонов, В.Н. Огородников, В.А. Коротеев и др. Екатеринбург, 2001. 560 с.
6. Некрасов Е.М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. М.: Недра, 1988. 286 с.
7. Некрасов Е.М. Рудоконтролирующие разломы и золотое оруденение. // Изв. вузов. Геология и разведка. 2009. № 4. С. 32–38.
8. Рудные месторождения Узбекистана / Отв. ред. И.М. Голованова. Ташкент, 2001. 660 с.
9. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1976. 688 с.
10. Стружков С.Ф., Константинов М.М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Научный мир, 2005. 320 с.
11. Шер С.Д. Металлогения золота. Т. 2. М.: Недра, 1972, 295 с.
12. Щербаков Ю.Г. Распределение и условия концентрации золота в рудных провинциях. М.: Наука, 1967. 268 с.
13. Neumayr P., Hagemann S.G. Hydrothermal fluid evolution within the Cadillac tectonic zone, Abitibi Greenstone Belt, Canada: relationship to auriferous fluids in adjacent second- and third-order shear zones // Econ. Geol. 2002. 97. N 6. P. 1203–1225.
14. Noble D.C., McKee E.N. The miocene metallogenic belt of Central and Northern Peru // Geology and Ore Deposits of the Central Andes. Society of Econ. Geol. 2000. Spec. Publ. N 7. P. 155–175.
15. Wyman D.A., Groves D.I., Yun G. Province-scale controls on Abitibi lode gold deposits, Canada. / The 31st International Geological Congress. Rio de Janeiro, aug. 6–17, 2000. Congress Program. Rio de Janeiro. Geol. Surv. Brazilia, 2000. P. 594–597.

## ГЛАВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИИ, РАЗМЕЩЕНИЯ И СТРУКТУРЫ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ-ГИГАНТОВ

*Показана теснейшая пространственная связь золоторудных месторождений-гигантов (характеризующихся запасами золота >1000 т) с рудоконтролирующими разломами, главным образом, высоких порядков. Примерно половина месторождений-гигантов размещается в малообъёмных узких тектонических блоках пластинчатой и клиновидной форм, либо в более крупных блоковых образованиях, расчлененных ветвями или поперечными разрывами рудоконтролирующих нарушений. Оруденение локализуется в протяженных и широких трещинных системах, а также в пучках раскрывающихся сколов, которые оперяют рудоконтролирующие разломы, их ветви или поперечные разрывы. Месторождения, непосредственно развитые в зоне рудоконтролирующих разломов, приурочены к раздувам зон, узлам стягивания нескольких швов нарушений и к узлам пересечения разломов поперечными разрывами. Близповерхностные золоторудные месторождения-гиганты мезозойско-кайнозойского возраста образуются в малогабаритных кальдерах обрушения, используя комбинации зон вулканических брекчий с поздними зонами тектонического дробления, которые проникают в кальдеры. При проведении поисков и разведки золоторудных месторождений-гигантов рекомендуется учитывать их особенности размещения и структуры.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* золоторудные месторождения-гиганты; рудоконтролирующие нарушения; разломы; оперяющие сколы; рудные тела; руды.

*(Известия вузов. Геология и разведка. 2012. № 3. С. 33–45).*

В настоящее время в мире установлено около 70 крупнейших золоторудных месторождений, обладающих суммой запасов и добытого золота более 300 т. Среди них только на 13 месторождениях этот показатель превышает (или достигает) 1000 т металла. Такие золоторудные объекты целесообразно выделять в качестве месторождений-гигантов. Семь из них находятся в странах Американского континента (с севера на юг): Донлин-Крик на Аляске, США; Поркьюпайн в Канаде; Голдстрайк и Хомстейк в США; Пуэбло-Вьехо в Доминиканской Республике на о. Гаити; Лас-Кристинас в Венесуэле и Янакоча в Перу. Остальные расположены: Наталкинское и Сухой Лог на востоке России, Мурунтау в Узбекистане, Ашанти в Гане, в Северо-Западной Африке, Калгурли в Австралии и Лихир (или Ладолем) в Папуа-Новой Гвинее. Из перечисленных месторождений отработаны только

два: Поркьюпайн и Хомстейк, шесть эксплуатируются (Голдстрайк, Янакоча, Мурунтау, Ашанти, Калгурли и Лихир), а Донлин-Крик, Пуэбло-Вьехо, Лас-Кристинас, Сухой Лог и Наталкинское подготавливаются к отработке или начали её.

Запасы месторождений-гигантов настолько велики, что позволяют в течение многих лет извлекать из недр каждого за год от 15 до 60–70 т металла и более. Этот объём производства благородного металла при современном уровне цен на него (около 50 долл/г) оценивается от 800 млн. долл. до 3,5 млрд. долл. в год в ценах 2010–2018 гг. Гигантские запасы и ресурсы золота позволяют удерживать в течение многих лет годовой уровень добычи руд и производства металла, что стало для некоторых золотодобывающих стран одним из стабилизирующих факторов экономики.

Годовые поступления от продажи золота настолько велики, что компании-владельцы месторождений-гигантов, нисколько не опасаясь финансовых осложнений, идут на чрезвычайно высокие издержки (до 2–3 млрд. долл.) при освоении месторождений, находящихся даже в самой неблагоприятной инфраструктурной обстановке (например, при обустройстве Янакочи в высоких Андах, Лихира на островах с горячими гейзерными водами и т. д.). Действительно, все ныне эксплуатирующиеся месторождения-гиганты разрабатываются только наиболее дешёвым карьерным способом. При этом планируемая глубина карьеров достигает 700 м и более. В результате крупнейших объёмов добываемых руд себестоимость добычи 1 т руды, её переработки и извлечения золота оказались настолько малы, что позволяют рентабельно отрабатывать руды с содержанием золота иногда ниже 1 г/т (например, на Янакоче). Одним из авторов ранее было предварительно подсчитано [1], что полная окупаемость затрат на строительство рудников составляет не более 3–4 лет.

Все изложенное заставляет обратить пристальное внимание на особенности размещения, геологии и структуры золоторудных месторождений-гигантов с целью их наименее затратных поисков и разведки. Для этого авторы составили таблицу, в которой впервые для всех известных ныне золоторудных месторождений-гигантов отразили и обобщили как их приуроченность к рудоконтролирующим разломам и комплексам рудовмещающих пород, так и главные геологические черты месторождений и особенности структуры, а также строение и морфологию рудных тел.

### **Геологические и некоторые структурные характеристики золоторудных месторождений-гигантов**

Золоторудные месторождения-гиганты установлены для всех известных пяти экономически важных геолого-промышленных типов месторождений золота [3, 6], относящихся к эндогенному классу гидротермальных объектов. При этом характерно сравнительно равномерное распределение месторождений по типам. Так, три гигантских золоторудных объекта принадлежат к типу месторождений глубинного происхождения, локализованных в регионально-метаморфизованных терригенных породах и вулканитах архейских зеленосланцевых поясов (Поркьюпайн, Калгурли, Лас-Кристинас). Пять относятся к типу месторождений, размещающихся в песчанико-глинистосланцевых и песчанико-кварцито-филлитовых толщах (Наталкинское, Мурунтау, Ашанти, Сухой Лог и Хомстейк). Лишь тип месторождений, развитых в сравнительно хрупких геологических образованиях (малых штоках, дайках) сейчас может быть охарактеризован только одним примером – недавно разведанным на Аляске месторождением-гигантом Донлин-Крик. Но и здесь оруденелые дайки

Но- мер	Название месторождения, страна	Размещение месторож- дения относительно рудоконтролирующего разлома	Породы, развитые на месторождении	
			рудовмещающие	прочие
<i>Месторождения глубинного происхождения</i>				
1	Наталкинское (Россия)	Развито в зоне разлома	Песчанико-глинистослан- цевая толща	Дайки диоритовых порфиринов, кварцевых альбитофинов и порфиров
2	Поркьюпайн (Канада)	Между субпараллель- ными разломами (парой разломов)	Коматиитовые базальты и их туфобрекчии	Штоки кварц-полевошпа- товых порфиров
3	Калгурли (Австралия)	Между «расходящимися» разломами	Рассланцованные доле- риты и базальты	Дайки альбитофинов
4	Мурунтау (Узбекистан)	Между ветвями разлома	Песчанико-глинистослан- цевая толща	Редкие дайки сиенито- диоритовых порфиринов и гранодиоритпорфиров
5	Донлин-Крик (Аляска, США)	Между поперечными нарушениями разлома, в 0–2 км от него	Песчанико-глинистослан- цево-аргиллитовая толща, пояс даек риолитов	
6	Ашанти (Гана)	В раздуде регионального разлома	Песчанико-сланцисто- сланцево-филлитовая толща	Редкие дайки габбро-диа- базов
7	Лас-Кристинас и Брисас (Венесуэлла)	Между зонами рассланце- вания	Толща базальтовых туфов и лав	
8	Сухой Лог (Россия)	Прослеживается в обе стороны от секущего нарушения, видимо, унаследует разлом фундамента	Песчанико-алевролитово- глинистосланцевые породы	Перекрывающие извест- няки
9	Хомстейк (США)	В участке стягивания и концентрации зон рассланцевания	Горизонт кварц-карбо- натных и куммингтони- товых сланцев	Филлиты, кварциты и кристаллические сланцы, дайки и штоки риолитов
<i>Месторождения близповерхностного происхождения</i>				
10	Голдстрайк (США)	Примыкает флангом к разлому	Терригенно-карбонатная толща	Шток монцонитовых пор- фиров
11	Янакоча (Перу)	В горсте вулканических пород, на пересечении разломов поперечными разрывами	Андезитовые и дацито- вые лавы и туфы	Мелкие трещинные што- ки дацитов
12	Пуэбло-Вьехо (Домини- канская Республика)	В оруденелой кальдере обрушения, с рудами на перегибах протяженных разрывов	Спилитовые брекчии, туфы и лавы	Лавобрекчии кварцевых порфиринов, штоки андези- тов и дацитов, прорываю- щие алевролиты и конгломераты
13	Лихир (Папуа-Новая Гвинея)	В оруденелой кальдере обрушения, в неясной связи с рудоконтролиру- ющими нарушениями	Брекчии и агломераты трахибазальтов, мелкие штоки монцонитов и си- енитов	

Но- мер	Параметры рудо- носных участков: длина x ширина/ глубина распро- странения руд, км	Тип масштабных рудовмещающих нарушений	Форма рудных тел		Состав руд
			преобладающая	подчиненная	
<i>Месторождения глубинного происхождения</i>					
1	4 x 0,2–0,7/до 0,8	Система рудонос- ных трещин	Рудные штоки и залежи вкрапленно- прожилковых РУД	Маломощные жилы	Золото-сульфидно- кварцевые
2	3–4 x 0,2–0,8/до 2,4	Система рудонос- ных трещин	Многочисленные зоны прожилковых и прожилково-вкра- пленных руд	Маломощные жилы	Золото-кварцевые и золото-турмалин- кварцевые
3	4 x 0,7–1/ до 1,6	То же	Многочисленные залежи вкрапленных руд	Трубообразные тела, редкие жилы	Теллуридно-суль- фидные
4	3,5 x 1/до 1–2	"–"	Система рудных штоков и залежей прожилково-вкра- пленных руд	Единичные кварце- вые жилы	Золото-сульфид- но-кварцевые
5	7–8 x 1, 2/ до 0,7	"–"	То же, а также про- жилковых руд		Золото-сульфидно- кварцевые
6	0,5–0,8/до 2,2	Мощные зоны брек- чирования	Жилы, местами про- жилковые и шток- верковые зоны	Залежи прожилково- вкрапленных руд	Золото-кварцевые и золото-турмалин- кварцевые
7	4–5,5 x 0,5–1/0,5	Рудоносные тре- щинные пучки	Зоны и залежи про- жилково-вкраплен- ных руд		Золото-сульфидные и золото-кварцевые
8	3 x 0,05–0,2/0,6	Единый рудонос- ный трещинный пучок	Единая залежь про- жилково-вкраплен- ных руд		Золото-сульфидно- кварцевые
9	5,5–6 x 1,5–1,7/2,4	Пучки рудоносных зон расланцевана- ния, заключающие складки волочения	Умеренно и поло- госклоняющиеся на юго-восток залежи и столбообразные тела прожилковых руд	Линзо- и четковид- ные тела прожилко- вых и вкрапленно- прожилковых руд	То же
<i>Месторождения близповерхностного происхождения</i>					
10	2,5 x 0,05–0,3/до 0,9	Единый рудонос- ный трещинный пучок	Крупные сбли- женные линейные залежи и штоки вкрапленных руд	Линзообразные тела	"–"
11	8–10 x 2,5–3,5/0,3–0,5	Мощные зоны и участки брекчирова- ния на пересечени- ях разрывов	Крупные разобщен- ные крутопадающие штоки вкрапленных руд	Плащеобразные залежи, венчающие рудные штоки	Золотосеребряно- энаргитовые, суль- фидно-кварцевые
12	2–2,5 x 4/0,3–0,6	Несколько рудо- носных трещинных пучков	Серия рудных што- ков и залежей непра- вильной формы		То же
13	3 x 4–5/0,2–0,4	Зоны субвулкани- ческих брекчий в комбинации с секу- щими разрывами	Разобщенные круп- ные залежи, рудные штоки вкрапленных руд	Штокверки	Золотосеребряные, сульфидные

риолитов развиты в песчанико-аргиллитово-сланцевой толще, также вмещающей золоторудные тела.

Также три гигантских объекта принадлежат к типу близповерхностных эпипермальных месторождений золотосеребряных и золототеллуридных руд в породах вулканотектонических построек: Янакоча, Пуэбло-Вьехо и Лихир (или Ладолем). Пока только один гигантский золоторудный объект характеризует другой тип близповерхностных месторождений золота. Это Голдстрайк – месторождение с джаспероидными рудами тонкого золота в терригенно-карбонатных толщах. Все золоторудные месторождения-гиганты (может быть, за исключением Лихира) являются вытянутыми в одном направлении линейными образованиями (см. табл. 1). Золоторудные тела приурочены, как правило, к секущим разрывным нарушениям. Лишь на Хомстейке оруденение использует приоткрывшиеся послонные полости в мощных раздувах, возникших в шарнирах мелких дополнительных складок волочения. Но и эти складки осложняют пласты кварц-карбонатно-сланцевых пород, окруженных мощными зонами рассланцевания. При «выходе» из пластов зоны приобретают секущее положение.

В базальтоидных, в меньшей степени в андезитовых, вулканитах предпочтительнее размещаются позднеархейские и молодые поздненеогеновые близповерхностные месторождения. Выяснилось также, что месторождения-гиганты предпочитают формироваться в геотектонических зонах, отличающихся редуцированным интрузивным магматизмом. Месторождения-гиганты образуются на значительном удалении от крупных интрузивов, вслед за гипабиссальными или субвулканическими малыми штоками и дайками диоритовых, диорит-сиенитовых, монцонитовых, риолитовых и кварц-полевошпатовых порфиров и альбитофиров.

Следует отметить три возрастных максимума образования золоторудных месторождений-гигантов: позднеархейский (Калгурли, Поркьюпайн и Лас-Кристинас), позднепалеозойский (Мурунтау, Наталкинское и Сухой Лог) и на границе верхнемелового и палеогенового (третичного) времени (Донлин-Крик, Хомстейк, Голдстрайк и Пуэбло-Вьехо, см. табл. 1).

Почти все примеры месторождений-гигантов в разное время приведены в отечественной геологической литературе [2, 4, 5, 7–9].

### **Особенности размещения и структуры золоторудных месторождений-гигантов**

Главной закономерностью в размещении золоторудных месторождений-гигантов является их теснейшая пространственная связь с рудоконтролирующими разломами различных порядков (особенно высоких), формирование в мобильных тектонических блоках масштабных рудовмещающих нарушений и локализация в них гигантских ресурсов золота. Оказалось, что большинство (9 из 13) месторождений-гигантов размещаются, непосредственно примыкая флангами к разломам, а некоторые почти целиком в их зонах.

Наиболее часто (в шести случаях из 13) золоторудные месторождения-гиганты локализируются в мобильных тектонических блоках. Установлено, что оруденению подверглись блоки двух типов. К одному из них можно отнести узкие блоки пластинчатой или клиновидной формы. Первые могут быть представлены в виде вертикально поставленной книги. Они как бы «зажаты» между двумя близко расположенными и субпараллельными рудоконтролирующими

разломами, как правило, крутого падения. Отношение длины такого блока, подвергающегося оруденению, к его ширине обычно превышает 5–6 : 1 и более.

При некотором отклонении простираения одного из разломов от направления другого мобильный блок приобретает клиновидную форму (в плане, иногда и в разрезе), расширяется в одном из продольных направлений и отношение его длины к ширине снижается до 3–4 : 1 и менее. Ширина блоков той и другой форм колеблется от 200 до 500–800 м при протяженности до 3–4 км.

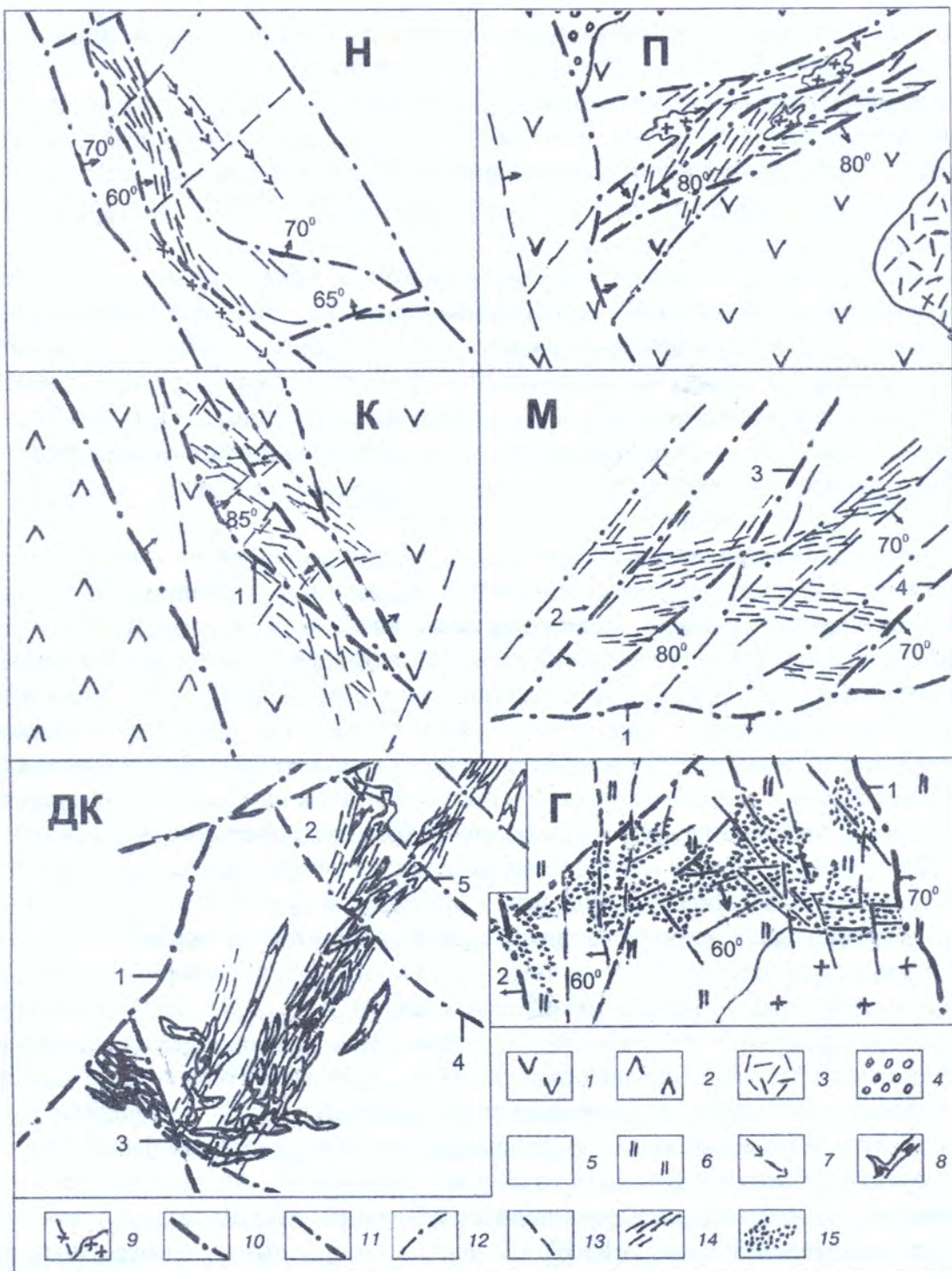
В изложенной геолого-структурной обстановке были сформированы руды следующих месторождений-гигантов: Наталкинского, Поркьюпайн и Калгурли. На золотоносных участках этих объектов оруденение распространилось вдоль системы оперяющих сколов, непрерывно отделяющихся от поверхности одного или обоих рудоконтролирующих разломов, выступающих основными трещинообразующими нарушениями (рис. 1, Н, П, К). В результате сформировались масштабные и протяженные рудоносные трещинные системы разрывов. При этом наиболее примечательной чертой месторождений является развитие оруденения почти исключительно внутри образовавшихся узких блоков.

При раннем заложении сколов рудовмещающего направления и их многократном дорудном подновлении к периоду оруденения нередко оказываются сформированными несколько систем сколовых разрывов. Так, в оруденелом мобильном тектоническом блоке месторождения Поркьюпайн (сложенном позднеархейскими базальтоидными метапородами) мощные золоторудные прожилковые залежи и жилы на юго-восточном фланге имеют субмеридиональное и север – северо-восточное простираение (участок Монета [2, 7]), а северо-восточнее, на участке Мак-Интайр, – восток – северо-восточное и широтное направления (рис. 1, П). При этом в разрезе почти все рудоносные сколы и приуроченные к ним залежи прожилков и жилы отделяются субвертикально вверх по восстанию от рудоконтролирующих слабо оруденелых разломов. Последние, в свою очередь, погружаются на юго-восток под углами 60–75° [7]. Очевидно, такие взаимоотношения разломов и оруденелых сколов свидетельствуют, что образование руд происходило в процессе преобладающих взбросовых перемещений.

На месторождении Калгурли в различных клиновидных блоках сформировались крутопадающие оперяющие сколы четырёх направлений: с простираением 315–330°, 300–305°, субширотного и северо-восточного простираений. При этом вдоль локализующего основные запасы золота оруденевшего разлома рудоконтролирующего направления Голден-Мейл (рис. 1, К) образовались преимущественно зоны вкрапленных золототеллуридно-сульфидных руд запад-северо-западного и северо-западного простираений. На северо-западном фланге месторождения вдоль других рудоконтролирующих разломов – Лайк-Вью и Австралиен-Ист преобладающими оказались зоны запад – северо-западного и подчиненные им зоны широтного и северо-восточного направлений (рис. 1, К) [7, 12]. Кроме того, вблизи и на перегибах разломов возникли сравнительно редкие жилы золототеллуридных и сульфидно-кварцевых руд.

Три месторождения-гиганта локализовались в мобильных тектонических блоках другого типа – в сравнительно крупных плитовидных образованиях, примыкающих длинной стороной к протяженным рудоконтролирующим разломам второго – третьего или даже более высоких порядков.

Блоки, заключающие месторождения Мурунтау и Донлин-Крик, оказались расчлененными ветвями основных рудоконтролирующих разломов или серией поперечных разрывов. Это нарушения более высокого порядка. Они проявлены исключительно в каком-либо одном боку разломов (очевидно, подвижном – висячем или лежащем). Ветви и поперечные разрывы возникают в случае преобладания сдвиговых дорудных перемещений по основным разломам.



**Рис. 1. Принципиальные схемы размещения и структуры золоторудных месторождений-гигантов:**

Н – Наталкинское; П – Поркьюпайн (Холлинджер и Мак-Интайр); К – Калгурли, 1 – оруденелый рудоконтролирующий разлом Голден-Мейл; М – Мурунтау, рудоконтролирующие разломы: 1 – основной Южный и его ветви: 2 – Западный, 3 – Северо-Восточный, 4 – Восточный разломы; ДК – Донлин-Крик, основные рудоконтролирующие разломы: 1 – Крукед-Крик и 2 – Донлин-Крик и Фаулт 070, поперечные разрывы: 3 – Аврора, 4 – Сноу-Галч и 5 – Фар-Сайд; Г – Голдстрайк, основные рудоконтролирующие разломы: 1 – Пост, 2 – Баззард; 1 – базальты, долериты и андезит-базальты; 2 – лавы и пирокласты андезитов, дацитов и подчиненных фельзитов; 3 – агломераты и туфобрекчии фельзитов; 4 – туфоконгломераты, туфопесчаники и алевролитовые сланцы; 5 – толщи песчанико-сланцевого состава; 6 – толщи терригенно-карбонатных и карбонатных пород; 7 – дайки диоритовых порфириров; 8 – дайки риодацитов и подчиненных базальтовых порфириров; 9 – дайки и штоки монцитонитовых, кварцевых и кварц-полевошпатовых порфириров; 10 – рудоконтролирующие разломы 2-го, возможно, 3-го порядка; 11 – рудоконтролирующие разломы 3–4-го порядков; 12 – рудоконтролирующие разломы 4–5-го и более высоких порядков; 13 – прочие разрывы; 14 – полосы и зоны оруденелых оперяющих сколов; 15 – золоторудные тела прожилково-вкрапленных и вкрапленных руд

Рудоносный участок лидера среди золоторудных месторождений-гигантов – Мурунтау (рис. 1, М) размещается в сравнительно однородной нижнепалеозойской толще песчанико-глинистосланцевых пород. Оруденение развилось почти исключительно севернее основного рудоконтролирующего разлома – Южного (третьего или четвертого порядков). Блок интенсивно нарушен отделяющейся от разлома серией северо-восточных ветвей и выступает мобильным образованием [5]. Именно ветви разлома приняли на себя роль трещинообразующих нарушений. Между этими чередующимися разрывами в дорудное время сформировались сравнительно широкие (до нескольких сотен метров) полосы, видимо, оперяющих субширотных сколов крутого, почти вертикального падения. В целом возникла протяженная (3,5–4 км) и широкая (несколько сотен метров) трещинная система разрывов, кулисообразно сменяющих друг друга. Предполагается, что она унаследовала зону разлома в допротерозойском фундаменте. В наиболее приоткрытых сколах, развившихся вблизи некоторых, как бы главных северо-восточных ветвей, обособились единичные, мощные (от 2 до 5–6 м), существенно золото-кварцевые жилы с брекчиевой текстурой руд. Наряду с сопровождающими их многочисленными мелкими оруденелыми сколами они могли оказаться наиболее «раскрытыми» и подвергнуться оруденению только в процессе внутрирудных сбрососдвиговых перемещений вдоль северо-восточных разломов. В процесс рудообразования оказались также вовлеченными сопутствующие им сравнительно мелкие разрывы северо-восточного направления (рис 1, М), а также послонные пологие трещины в кляях некоторых синклинальных складок – полосы трещинок «кливажа слоистости» или складок волочения вдоль разрывов.

В результате во внутрирудный этап сформировалась протяженная субширотная система сменяющих один другого крутопадающих рудных штоков и залежей. Они сложены прожилково-вкрапленными и штокверковыми золото-сульфидно-кварцевыми рудами, единичными жилами и сопровождающей те и другие «межпрожилковой» рудной вкрапленностью. Рудные тела осложнены отделяющимися от них достаточно протяженными крутопадающими северо-восточными и пологими послонными апофизами (см. табл. 1).

Некоторые черты размещения оруденения на Мурунтау повторяются на другом золоторудном месторождении-гиганте – Лас-Кристинас в Юго-Восточной Венесуэле. К сожалению, это недавно разведанное месторождение ещё недостаточно изучено. Здесь в позднеархейских метавулканитах (главным образом, туфах и других пирокластах преимущественно базальтоидного состава) установлена серия достаточно равномерно проявленных крутопадающих зон рассланцевания. Зоны прослеживаются в северо-западном направлении. Они отстоят на несколько сотен метров одна от другой. Серия этих зон может быть сопоставлена с рудоконтролирующими и трещинообразующими ветвями месторождения Мурунтау.

Действительно, как и на Мурунтау, исключительно между зонами рассланцевания образовалось несколько широких пучков (каждый мощностью до 150 м и более) оруденелых сколовых трещин север – северо-восточного простирания. Серия их под углами 45–50° погружается на запад – северо-запад. С ними увязывается протяженная (более 5,5 км) полоса разобщенных и сменяющих одна другую рудных залежей убогих прожилковых и прожилково-вкрапленных золото-пирит-халькопирит-кварцевых руд (со средним содержанием золота 1,13 г/т). Нередко в залежах прослеживаются маломощные золото-сульфидно-кварцевые жилы. Преимущественно они примыкают к рудоконтролирующим зонам рассланцевания северо-западного направления. Ширина оруденелой полосы в целом местами превышает 1 км. К сожалению, до сих пор не выявлено ведущее рудоконтролирующее нарушение, от которого, по-видимому, и могла отделяться полоса обнаруженных субпараллельных рудоконтролирующих зон рассланцевания северо-западного направления.

В южной части месторождения на участке Брисас в горизонтах лапиллиевых и стекловатых туфов локализованы субпластовые залежи вкрапленно-сульфидных золотомеднопорфировых руд (со средним содержанием благородного металла около 0,7 г/т).

Еще более сходна с Мурунтау геологическая позиция другого золоторудного месторождения-гиганта – Донлин-Крик (Аляска, США). Действительно, здесь оруденение также приурочено к протяженному, вытянутому с юго-запада на северо-восток, крупному мобильному блоку плитообразной формы. Он примыкает к «связке» двух северо-восточных рудоконтролирующих разломов – Крукед-Крик и Донлин-Крик – Фаулт 070 (рис. 1, ДК). В дорудное – додайковое время блок был расчленен, однако не ветвями разломов (как это произошло на Мурунтау), а серией поперечных разрывов додайкового заложения [11]. Они протягиваются от «связки» основных разломов только на юго-восток. В тектоническом блоке на юго-западном фланге месторождения – это поперечные нарушения Аврора и Сноу-Галч, а на северо-восточном – Фар-Сайт и безымянное, являющееся юго-восточной границей рудоносного участка Офир (рис. 1, ДК). Указанные нарушения сформировались в мощной толще чередующихся песчаников, аргиллитов и глинистых сланцев позднемелового возраста (формация Кусковим). В этих породах между названными поперечными нарушениями сформировался протяженный (8 км) пояс мощных даек риодацитовых порфиров и подчиненных базальтовых порфиритов [11]. Он имеет северо-восточное направление и совпадает с ориентировкой «связки» основных рудоконтролирующих разломов. В узлах пересечения додайковых разрывов северо-восточного и северо-западного простираний возникли риодацитовые штоки. Мощность их местами превышает 200 м, верхние части кое-где трансформировались в непротяженные пологие силлы, а вдоль поперечных разрывов прослеживаются крутопадающие апофизы, вытягивающиеся на несколько сотен метров. При этом в узлах пересечения ширина пояса возрастает с обычных 1,2–1,5 км до 2,0–2,5 км.

В предрудный период пояс даек избирательно подвергся хрупкой деформации. Дайки сравнительно равномерно оказались пересеченными сколовыми трещинами северо-восточного, а вблизи поперечных разрывов, кроме того, подчиненного северо-западного простирания. Разрывы из даек проникли во вмещающие терригенные породы, которые затем, наряду с дайками, подверглись прожилковому и вкраплено-прожилковому оруденению. В результате сформировалась протяженная рудная система сближенных трещин с прожилками кварц-кальцитового состава и золотосодержащим арсенопиритом и другими сульфидами.

При оконтуривании по сравнительно высокому бортовому содержанию золота оруденелая полоса расчленилась на серию чередующихся крутопадающих рудных штоков и залежей. При этом в узлах пересечения разрывов обособились наиболее мощные рудные тела сравнительно богатых руд и оказалось возможным выделить разобщенные рудоносные участки (Аврора, Льюис, Куин, Офир и др.).

На описанных месторождениях (Наталкинское, Поркьюпайн, Калгурли, Мурунтау, Донлин-Крик и др.) образование руд в зонах масштабных рудовмещающих нарушений происходило в процессе амплитудных движений мобильных блоков вдоль рудоконтролирующих разрывов. В период оруденения движущиеся породы в виде единого образования как бы «скользили» вдоль швов рудоконтролирующих разломов, вдоль их ветвей или поперечных разрывов, в то время как противоположные бока нарушений оставались неподвижными (или слабо подвижными). При указанном типе перемещений образуется гинка трения в «притирающихся» отрезках рудоконтролирующих нарушений. Наоборот, в отделяющихся от них опережающих сколах происходило «отодвигание» одной стенки трещины от противоположной в результате сдвига-раздвиговых движений (рис. 2, а). В период оруденения такие сколы (в от-

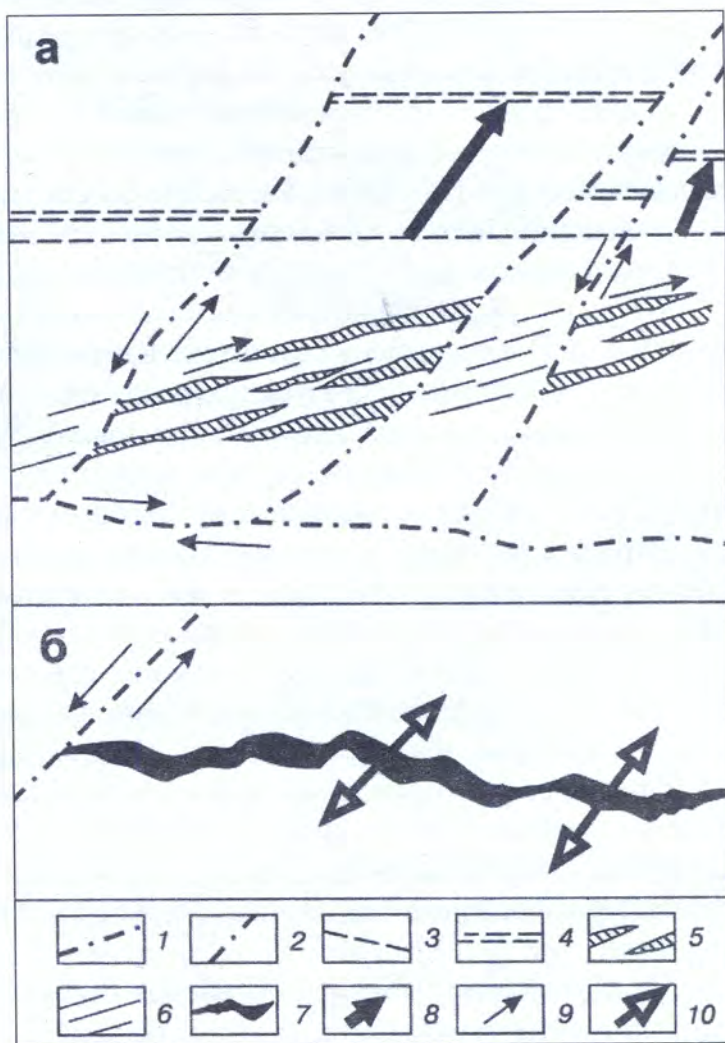
личие от швов рудоконтролирующих нарушений, заполненных глиной трения) становились проницаемыми, доступными для поступающих рудоносных растворов и сопровождающих флюидов, и подвергались оруденению.

В случае изменения плана деформации в этап оруденения оперяющие сколы вообще оказывались в положении трещин отрыва и приоткрывались подобно им. Это достаточно убедительно подтверждается конфигурацией некоторых обнаруженных жил на месторождениях Мурунтау, Наталкинском и др. Так, на Мурунтау противоположные резко, коленообразно изогнутые зальбанды жил всяческого бока при их воображаемом смыкании почти все как бы входят в «пазы» на перегибах противоположных зальбанд лежащего бока (рис. 2, б). Очевидно, в период оруденения по сколовым трещинам рудовмещающего направления происходили не сдвиговые перемещения, а раздвигание трещин, что характерно для трещин отрыва или сдвигораздвигов.

Только на примере одного близповерхностного месторождения-гиганта Голдстрайк пока можно продемонстрировать пространственную связь оруденения со сравнительно крупным мобильным тектоническим блоком. Этот блок оказался нерасчлененным в дорудное время дополнительными рудоконтролирующими разрывами – ни ветвями, ни поперечными нарушениями.

Месторождение примыкает к рудоконтролирующему разлому Пост (рис. 1, Г). Это одно из изолированных фланговых нарушений, входящих в региональную зону так называемого карлинского тренда в штате Невада, США. С последним связано формирование протяженного пояса золоторудных месторождений, залегающих преимущественно в терригенно-карбонатных породах палеозойского возраста. Подавляющее большинство месторождений, как и Голдстрайк, принадлежит к экономически важному геолого-промышленному типу золоторудных месторождений джаспероидных руд тонкого золота в терригенно-карбонатных толщах.

Сравнительно крупный тектонический блок, примыкающий к разлому



**Рис. 2.** Возможная схема перемещения блоков пород, объясняющая раскрытие и оруденение сколов, оперяющих рудоконтролирующие разломы; а – фрагмент месторождения Мурунтау: золото-кварцевая жила, образовавшаяся в связи с раздвиговыми внутрирудными перемещениями (б): 1 – рудоконтролирующее нарушение; 2 – ветви рудоконтролирующего нарушения; 3 – условная первоначальная граница тектонических образований к началу оруденения; 4 – условная граница тектонических образований к концу оруденения; 5 – оперяющие сколы, значительно раскрывшиеся в связи с масштабными перемещениями блоков пород, двигавшихся наподобие единой массы; 6 – оперяющие сколы, слабо раскрывшиеся в связи с малоамплитудными перемещениями блоков пород; 7 – золото-кварцевая жила; 8 – направление масштабного перемещения тектонического блока, двигавшегося наподобие единой массы; 9 – направления относительных перемещений пород; 10 – направления внутрирудных раздвиговых перемещений

Пост с юг – юго-запада, обладает типичной плитообразной формой (аналогичной блокам на месторождениях Мурунтау и Донлин-Крик). В этом сравнительно крупном блоке развиты почти все разрывы рудовмещающего направления, он оказался наиболее деформированным, мобильным и на границе палеоген-поздне мелового времени подвергся интенсивному оруденению [4].

На рудоносном участке месторождения Голдстрайк непосредственно от лежачего бока рудоконтролирующего разлома Пост отделились два, смыкающихся западнее, широких (до 150 м и более) рудных пучка оперяющих сколов широтного и запад – северо-западного простирания (рис. 1, Г). Это типично секущие разрывы, причем южные, «граничные» из них, протягиваются по контакту штока поздне меловых монцонитов.

Далее на запад прослеживается только один, но наиболее протяженный (более 1,2 км) субширотный отрезок описываемого масштабного трещинного нарушения (шириной, превышающей местами 120–130 м). Рассмотренные рудные пучки сколов почти целиком заключают джаспероидные прожилково-вкрапленные руды золота с сульфидами. Они слагают несколько мощных рудных залежей, продолжающих одна другую по простиранию и на глубину до 900 м.

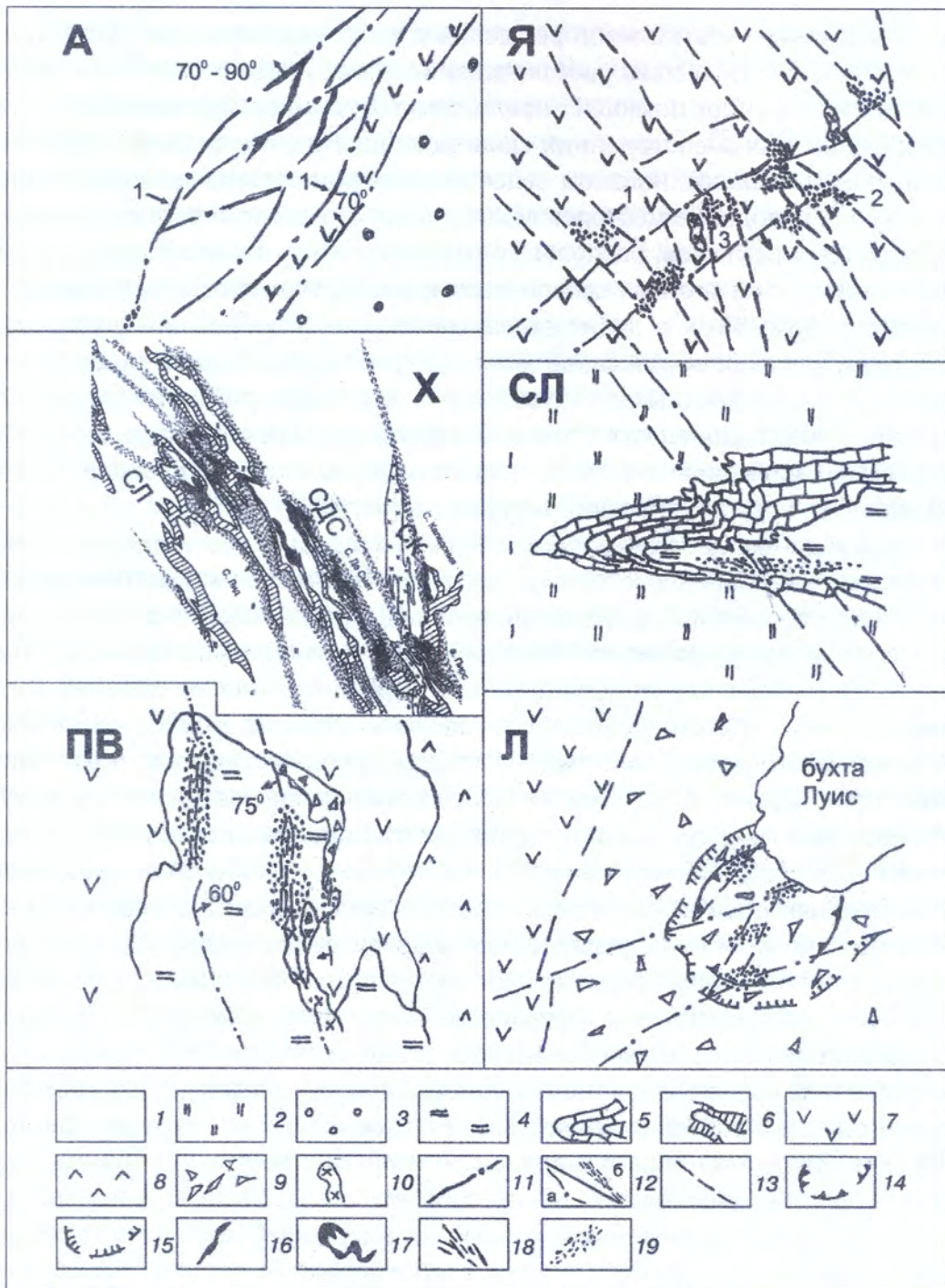
Нетрудно убедиться, что на месторождении Голдстрайк основной рудоконтролирующий разлом (Пост) «вынужден» был играть в период подготовки трещинной структуры и её оруденения также трещинообразующую роль подобно тому, как это происходило на двух других месторождениях-гигантах – Мурунтау и Донлин-Крик. Как было показано, на этих месторождениях трещинообразование осуществлялось за счёт движений вдоль ветвей либо поперечных разрывов, отделяющихся от основных рудоконтролирующих нарушений.

Наряду с рассмотренными месторождениями-гигантами, теснейшим образом пространственно связанными с мобильными тектоническими блоками, выявлена группа аналогичных по масштабу объектов, которые почти полностью обособились непосредственно в зонах рудоконтролирующих нарушений. Среди них установлены разломы регионального плана и нарушения, сопутствующие их ветвям – разрывы третьего–четвертого и, возможно, даже более высоких порядков. Это месторождения Ашанти, Янакоча и Хомстейк.

Глубинное месторождение Ашанти приурочено к протяженному раздуву зоны расщепления – мощному региональному разлому, контролирующему в Гане протяженный пояс золоторудных месторождений. Пояс, проявленный в мощной песчанико-сланцево-филлитовой толще (PR<sub>1</sub>), вытягивается, начинаясь от берегов Атлантики, в северо-восточном направлении на протяжении более 170 км [10].

Месторождение Ашанти (и особенно основной по запасам одноименный участок, иногда также называемый Обуаси) может быть представлено как серия примыкающих один к другому небольших оруденелых линзообразных блоков. Они чередуются, будучи заключены в мощном раздуве вмещающей их региональной зоны расщепления (рис. 3, А). При этом оруденение использовало глубоко-погружающиеся непротяженные (от 300 до 800 м) мощные зоны брекчирования, соединяющие флангами соседние швы зоны. По отношению к ним они ориентированы диагонально и прослеживаются с более северо-восточным простиранием [2, 4].

Сравнительно короткие диагональные зоны брекчирования залечены мощными (обычно от 5 до 17 м в раздувах) золото-турмалин-кварцевыми жилами плитообразной формы с четкой брекчиевой текстурой руд. Как правило, жилы окаймлены (на расстояние до 5–8 м) также отрабатываемыми золото-кварцевыми метасоматитами. Жильные тела, соединяясь между собой и образуя в совокупности как бы крутопогружающуюся оруденелую колонну, проникают на глубину 2200 м и более от современной поверхности [10].



**Рис. 3. Принципиальные схемы размещения и структуры золоторудных месторождений-гигантов:**

А – Ашанти, 1 – главные тектонические швы региональной зоны расщепления; Я – Янакоча, цифрами обозначены поперечные залежи вкрапленных руд золота: 1 – Серро-Негро, 2 – Карачуго и 3 – Ла-Кинуа; X – Хомстейк, буквой «С» обозначены рудовмещающие синклинали: СК – Каледония, СДС – Де-Смет, СЛ – Лид; С – Сухой Лог (или Сухоложское); ПВ – Пуэбло-Вьехо; Л – Лихир (или Ладолем). 1 – песчанико-сланцевофиллитовые толщи; 2 – филлиты, кварциты, кварц-хлоритовые и кварц-серицитовые сланцы; 3 – конгломераты и подчиненные кварциты; 4 – аргиллиты, алевролиты и подчиненные песчаники; 5 – известняки и известняково-глинистые сланцы; 6 – рудовмещающий горизонт кварц-карбонатных и кварц-куммингтонитовых сланцев; 7 – преобладающие лавы андезитов и дацитов; 8 – преобладающие лавы спилитов; 9 – субвулканические брекчии и агломераты базальтов; 10 – субвулканические и гипабиссальные штоки андезитовых, дацитовых и риолитовых порфиров; 11 – региональные рудоконтролирующие нарушения; 12 – рудоконтролирующие разломы (а), зоны расщепления преимущественно 3–4-го порядков (б); 13 – прочие разрывы; 14 – дуговые зоны вулканических и субвулканических брекчий; 15 – границы кальдеры обрушения; 16 – золоторудные сульфидно-кварцевые и кварц-турмалиновые жилы (мощность для наглядности увеличена); 17 – залежи жильно-прожилковых золото-сульфидно-кварцевых руд; 18 – оруденелые сколы; 19 – тела вкраплено-прожилковых и вкрапленных руд

Прочие рудоносные участки месторождения с запасами золота, меньшими на порядок, приурочены к отрезкам швов зоны рассланцевания, изогнутым почти в субмеридиональном направлении. Все изложенное позволяет предположить, что формирование руд происходило в процессе преобладающих левосторонних сдвигов вдоль региональной зоны рассланцевания.

Оруденение на близповерхностном золотосеребряном месторождении-гиганте Янакоча в Перу приурочено (наподобие месторождения Ашанти) к тектоническим зонам двух субпараллельных дорудных разломов, расположенных один от другого на расстоянии около 2 км. Разломы протягиваются на восток – северо-восток и характеризуются крутым падением. Они развиты в толще андезитовых и дацит-андезитовых лав, туфобрекчий, подчиненных туфов и других пирокластических образований миоцена (рис. 3, Я). Задолго до оруденения разломы были пересечены поперечными нарушениями, что подтверждается обособлением в таких узлах мелких субвулканических штоков более кислого состава (скорее всего, близкого к дацитовому). Здесь сформировались небольшие вулканокупольные постройки, венчавшиеся пологопадающими слоями туфобрекчий и туфов (lithic tuff).

Возобновившиеся деформации привели к значительному увеличению мощности брекчированных участков в узлах пересечения разломов. Именно такие участки, возникшие в результате длительной предрудной подготовки, позднее, в рудоносный этап, подверглись оруденению. Вдоль разломов, в узлах пересечения их поперечными нарушениями, сформировалась цепочка разобщенных, достаточно крупных (в поперечнике – до нескольких сотен метров) рудных штоков, видимо, крутого падения. Сложены они убогими, в основном золото-сульфидно-вкрапленными рудами, развившимися в широких ореолах окварцеванных туфобрекчий и подчиненных туфов. Кроме того, в других менее мощных зонах поперечных нарушений, на удалении от северо-восточных разломов, обособились крутопадающие рудные залежи линейного типа (например, Серро-Негро, Карачуго, Ла-Кинуа, рис. 2, Я), но существенно уступающие по запасам рудным штокам, развитым в мощных брекчиях северо-восточных нарушений.

Первичные преимущественно вкрапленные руды содержат золото (около 1 г/т или более), а также пирит и энаргит. Однако верхние части рудных тел окислены до глубин 120–130 м и представляют собой плащеобразные караваеобразные залежи. Они обогащены благородным металлом, в 1,5 раза и больше, и энергично разрабатываются.

С некоторой долей условности к полосе сближающихся, стягивающихся зон рассланцевания северо-западного направления приурочено золотое оруденение другого месторождения-гиганта Хомстейк. Зоны, при общей ширине полосы их примерно 1,5–1,7 км, расположены на рудоносном участке на расстоянии 200–400 м и менее одна от другой. Каждая из них сравнительно непротяженная (около 5–7 км) и обладает умеренной мощностью. Эти нарушения, выполнявшие рудоконтролирующие функции, скорее всего, являются разрывами высоких порядков. Они рассекают толщу кварцитов, кристаллических сланцев и филлитов позднего протерозоя. Толща смята в серию сильно сжатых складок, несколько опрокинутых на юго-запад. Среди них наиболее сжатыми и деформированными являются складки синклинального типа с клиновидными киями, но и своды антиклиналей также отличаются узкими гребнями [7]. В полосе сосредоточения и концентрации зон рассланцевания оказались расположенными синклинали (с юго-запада на северо-восток): Лид, Де-Смет и Каледония (рис. 3, X). Оруденению в них подвергся горизонт мощностью от 30 до 50 м. Он сложен кварц-карбонатными, сидеритовыми и кварц-куммингтонитовыми сланцами. Там, где сближенные зоны рассланцевания проникли в горизонт или обтекают его, произошло гофрирование и смятие пород в многочисленные, как бы «наползающие» один на другой фестоны и складки волочения. Кили их склоняются на юго-восток [4]. Такое расположение «наползающих» шарниров свидетель-

ствуется (рис. 3, X) о формировании складок волочения в процессе преобладавшего погружения пород вдоль рудоконтролирующих зон рассланцевания. Эти перемещения могут быть представлены как вздымание блоков «северо-восточных» пород с юго-востока на северо-запад (с одновременным левосторонним перемещением их в плане). При этом мощность карбонатсодержащих слоев в шарнирах дополнительных складок увеличилась в несколько раз (до 120 м) за счёт пластичности слагающих пород и «нагнетания» их в шарниры.

В полосе складок волочения, обычно приурочиваясь к шарнирам, перегибам, ядрам и особенно к осевым частям этих элементов, развилась полоса изогнутых ленто-, линзо-, а также столбообразных рудных тел. Тела сложены изогнутыми полосчатыми золото-сульфидно-кварцевыми образованиями. Они окаймлены также обрабатывавшимися кварцевыми метасоматитами с вкрапленностью некоторых золотосодержащих сульфидов. Установлено также проникновение рудных тел на несколько десятков метров в подстилающие филлиты. Таким образом, локализация оруденения на Хомстейке подчинена сочетанию благоприятных для оруденения литологических и структурных факторов: залеганию в узле стягивания, концентрации рудоконтролирующих зон рассланцевания в пределах горизонта благоприятных для оруденения карбонатсодержащих пород. Горизонт сминался в складки волочения с образованием в их шарнирах полостей отслаивания, доступных для рудоносных растворов и флюидов.

До сих пор остается достаточно загадочной геологическая позиция отечественного золоторудного месторождения-гиганта Сухой Лог в Ленском золотоносном районе. Представлено оно мощной (от 20 до 140 м) линейной залежью прожилково-вкрапленных руд. Залежь локализуется в широтной зоне рассланцевания и протягивается на 3 км. Зона использует широкую полосу кливажных трещинок осевой плоскости в опрокинутой на юг, сжатой и почти лежащей антиклинальной складке [2]. Напрашивается представление об унаследовании рудоносной зоной разлома допротерозойского фундамента. Складка сложена оруденевшими углеродсодержащими алевролитами, глинистыми сланцами и менее минерализованными пачками (видимо, глинистых) песчаников и известняков. Рудная залежь полого, под углом около 30°, погружается на север – северо-восток и прослеживается по падению местами на 1500 м. Здесь она расщепляется на три выклинивающиеся ветви умеренной мощности.

Размещение залежи подчиняется двум субпараллельным секущим нарушениям северо-западного простирания. По косвенным признакам одно из них может быть намечено в средней части рудной залежи, а другое – на её восточном фланге. Действительно, секущие нарушения (правильнее – их верхние звенья), заложенные в породах кристаллического фундамента задолго до оруденения, фиксируются в перекрывающих рудовмещающих породах пластичных известняках, известковистых филлитах и сланцах. Они обрамляют складку с севера. В этих пластичных породах секущие нарушения как бы «просвечиваются» трассирующей полосой флексур и перегибов слоев с «плечами», ориентированными субмеридионально (рис. 3, СЛ). Полоса флексур прослеживается с северо-запада на юго-восток [2]. Кроме того, следы верхних звеньев нарушений отражаются в строении рудной залежи. В частности, в средней её части широко развиты обнаруживающиеся только здесь запад – северо-западные жилы золото-сульфидно-кварцевого состава (мощностью до 1–1,5 м) и скопления рудных гнездышек и прожилков северо-западного простирания. При этом локально возрастает общий объём минеральных образований – жил, гнездышек, прожилков, золотосодержащей вкрапленности сульфидов, в основном пирита. Содержания золота в этой части залежи почти на порядок превышают рядовые значения его. Можно не сомневаться, что протяженная полоса многочисленных кливажных трещинок «работала» в период оруденения в избирательно оруденелых углеродсодержащих алевролитах и сланцах наподобие широкой зоны мелких сколов, оперяю-

щих верхние (скрытые в перекрывающих пластичных известняках) звенья секущих рудоконтролирующих нарушений. Таким образом, залежь оказалась приуроченной к протяжённому рудному пучку сколовых трещин, развившемуся в избирательно оруденевавших углеродистоглинистых породах.

Месторождения близповерхностного генезиса Лихир и отчасти Пуэбло-Вьехо демонстрируют преобладающее влияние в период оруденения вулканотектонических структур над трещинными.

Эпитермальное золотосеребряное месторождение-гигант Пуэбло-Вьехо (Доминиканская Республика) расположено в центральной части о. Гаити. С 1975 по 1999 гг. на месторождении добывались окисленные руды. Всего из них была извлечена 171 т золота.

Локализовано месторождение в небольшой (2 x 4 км) кальдерной вулканической постройке. Постройка эллиптической формы, вытянута с север – северо-запада на юг – юго-восток и полого погружается в этом направлении. Она расположена в 3–4 км северо-восточнее взброса Гатилло и в 7–8 км от региональной зоны расланцевания Озама, которые вытягиваются в северо-западном направлении. С этими нарушениями пространственно связано образование пояса позднемеловых эпитермальных золотосеребряных, а также меднопорфировых, скарновых и других рудных проявлений [14], что вполне обоснованно позволяет рассматривать названные разломы в качестве рудоконтролирующих элементов структуры.

Кальдерная постройка месторождения сложена нижнемеловыми туфобрекчиями, туфами, в меньшей мере пиллоу-базальтами, базальто-андезитами и подчиненными дацитами. Они погружаются под углами 20–30° к её центру. Формирование кальдеры завершилось обрушением главным образом её восточного борта, что зафиксировано узкой полосой лаво- и туфобрекчий риолит-порфиров (рис. 3, ПВ). Кроме того, кальдера была осложнена здесь вулканическим гребнем, жерловое тело которого сложено протяженным субмеридиональным штоком дацитов (восточный участок Мур). В северо-западной части кальдерной постройки возник другой менее масштабный вулканокупол. В жерловой части его обособилась субмеридиональная дайка андезитов (западный участок Монте-Негро).

После значительного перерыва, в позднемеловое время (абсолютный возраст оруденения 62–68 млн. лет), возобновились перемещения по рудоконтролирующим разломам Гатилло и Озама. В результате образовались два протяженных оперяющих разрыва, которые унаследовали наиболее нарушенные субмеридиональные участки кальдеры вдоль восточного и западного бортов. Эти нарушения прослеживаются по азимуту 0–345°, но только протяженные (более 1,5 км) их меридиональные отрезки вмещают на месторождении основные запасы руд и золота. Как показано в [14], рудоносные отрезки нарушений сложены субпараллельными стволовыми зонами тектонических брекчий. Они сопровождаются полосами многочисленных сопутствующих мелких рудоносных разрывов. Таким образом, описанные нарушения могут быть классифицированы как пучки рудоносных трещин. К их меридиональным участкам приурочены мощные (от 250 до 400 м) залежи первичных прожилково-вкрапленных сульфидно-кварцевых руд золота (в основном электрум), серебра (аргентит) и теллуридов благородных металлов. Местами среди залежей проявлены жильные образования богатых кварц-энаргитовых руд.

По свидетельству геологов компании Barrick Gold Corp. [14], разведующих месторождение, на западном, выдержанном рудоносном участке Монте-Негро оруденение погружается глубже 300 м. При этом в рудах сохраняется содержание золота, а рудная залежь контролируется выдержанным падением стволовых зон брекчий под углами 55–60° на запад. Иная картина наблюдается на восточном участке Мур. Здесь при резком увеличении угла падения

ведущих зон тектонических брекчий (в восточном направлении) в рудной залежи глубже 300 м установлено резкое уменьшение содержания золота ( $<1$  г/т).

Изложенное свидетельствует, что поведение оруденения на месторождении контролируется трещинными нарушениями, возникшими значительно позже завершения формирования рудовмещающей вулканической постройки.

Более четкие признаки использования образующимися рудами субвулканических дуговых нарушений выявлены на месторождении-гиганте Лихир (остров Лихир, Папуа-Новая Гвинея).

Месторождение Лихир размещается в 2–3 км восточнее субмеридионального разлома, которому можно приписать основную рудоконтролирующую роль. Однако главенствующим фактором здесь, вероятнее, выступает умеренно-масштабная вулканическая кальдера (3 x 4 км) и дуговые зоны субвулканического брекчирования в обоих её бортах (рис. 3, Л). Кальдера заполнена базальтоидными брекчиями и другими пирокластами (абсолютный возраст 0,3–0,7 млн. лет). Дуговые зоны вулканобрекчий, возможно, возникли в процессе обрушения пирокластов в бортах кальдеры [13]. Здесь пирокласты, кроме того, были пронизаны мелкими субвулканическими штоками монцититового и сиенитового составов. Сформировавшееся на месторождении вкрапленно-сульфидное оруденение оказалось подчинено комбинации дуговых и проникающих в зоны трахибазальтовых брекчий разрывов восток – северо-восточного простирания, и, возможно, также проявлению благоприятных для оруденения субвулканических штоков. На участках Капит, Лиенец, Минифай и Береговая зона образовалось несколько крупнейших (в поперечнике до нескольких сотен метров), видимо, погружающихся на глубину рудных штоков (рис. 3, Л) с вкрапленными умеренно-золото-сульфидными рудами.

## Заключение

1. Золоторудное глубокосформированное месторождение-гигант – масштабное, преимущественно линейное рудное образование большой протяженности (до нескольких километров) и ширины (от нескольких сотен метров до 1,5 км), заключающее обычно серию сменяющихся (по простиранию и на глубину) сближенных рудных штоков и линейных залежей убогих и бедных руд золота (содержание обычно от  $\leq 1,0$  до 3 г/т). Распределение оруденения в рудных телах сравнительно равномерное, чему способствует проявление «межпрожилковой» вкрапленности золотосодержащих минералов. Руды в большинстве случаев прожилково-вкрапленные, местами включающие скопления рудных прожилков, гнезд, а также единичные жилы мощностью от 1 до 8 м в раздувах.

2. Большинство золоторудных месторождений-гигантов (7 из 13) образуется в породах песчанико-глинистосланцевых, в меньшей мере терригенно-сланцево-карбонатных толщ фанерозойского возраста или в протерозойских песчанико (кварцито)-сланцево-филлитовых толщах. Близповерхностные месторождения-гиганты, локализующиеся в вулканиках, «предпочитают» породы основного состава. При этом позднеархейские сравнительно близповерхностные месторождения формируются в базальтовых (долеритовых) лавах. Мезозойско-кайнозойские объекты близповерхностного генезиса образуются в маломасштабных (2–3 x 4–5 км), близких к изометричным кальдерах обрушения, выполненных базальтоидными брекчиями и туфобрекчиями, а иногда диабазовыми (спилитовыми) лавобрекчиями и лавами.

Формированию оруденения предшествует длительная дорудная подготовка трещинной структуры рудоносных участков. Это подтверждается сравнительно умеренным образо-

ванием гипабиссальных и субвулканических мелких трещинных штоков (с апофизами) и достаточно широким проявлением даек габбро- и диабазовых порфиритов, монцонитовых, сиенитовых, диоритовых и андезито-дацитовых порфиритов, в меньшей мере – риодацитовых, риолитовых и кварц-полевошпатовых и альбитофириновых пород.

3. Специфика образования всех месторождений-гигантов – формирование масштабных рудовмещающих нарушений, способных вмещать крупнейшие объёмы руды: протяженных и широких трещинных систем оруденелых разрывов, рудоносных пучков сближенных трещин и мощных участков зон брекчирования и рассланцевания. Разрывы в масштабных нарушениях представлены широкими полосами и зонами мелких сколов.

4. Общим для рудоносных участков всех золоторудных месторождений-гигантов как глубинного, так и близповерхностного генезиса является теснейшая пространственная связь с рудоконтролирующими разломами различных порядков. За исключением золото-серебряных близповерхностных месторождений, образовавшихся в 1–3 км от рудоконтролирующих нарушений, все остальные примыкают к ним, а в ряде случаев локализируются в их зонах.

Подавляющее большинство месторождений-гигантов глубинного генезиса и некоторые близповерхностные месторождения развиты в узких или более объёмных мобильных тектонических блоках, расчлененных серией отделяющихся от них косоориентированных ветвей или поперечных разрывов. Роль трещинообразующих рудовмещающих нарушений в узких блоках принадлежит оконтуривающим их рудоконтролирующим разломам, а в более объёмных блоках – расчленяющим их ветвям разломов или поперечным разрывам. В результате масштабные рудовмещающие нарушения формируются исключительно между «парой» сближенных рудоконтролирующих разломов (в узких мобильных блоках) или образуются в расчлененных более объёмных блоках в виде продолжающихся звеньев трещин, возникающих между чередующимися сравнительно сближенными и сменяющими одна другую ветвями или поперечными разрывами.

5. Руды в зонах масштабных рудовмещающих нарушений формируются в процессе амплитудных движений мобильных блоков, примыкающих к рудоконтролирующим разломам, т. е. в процессе «скольжения» пород вдоль швов, вдоль ветвей или поперечных разрывов. Указанный тип внутрирудных перемещений вызывает в масштабных рудовмещающих нарушениях «раздвигание» стенок мелких сколовых трещин, «работающих» как сдвиго-раздвиги или отрывы. В отличие от рудоконтролирующих нарушений, заполненных глиной трения, приоткрывшиеся рудовмещающие сколы оказываются проницаемыми, доступными для поступающих рудоносных растворов и флюидов, и подвергаются оруденению.

6. Некоторые глубинные и близповерхностные месторождения-гиганты размещаются непосредственно в рудоконтролирующих разломах – в мощных раздувах зон, в узлах пересечения поперечными разрывами, а также в участках стягивания рудоконтролирующих зон рассланцевания. Такие участки зон обычно сочетаются с деформированными породами, литологически благоприятными для оруденения.

7. Теснейшая пространственная связь месторождений-гигантов с рудоконтролирующими разломами диктует необходимость проведения поисков их непосредственно вдоль тектонически активных зон таких предполагаемых нарушений. При этом рудоносные участки могут фиксироваться непрерывными протяженными или ограниченно прерывистыми полосами минеральных образований, зонками прожилков, гнёзд и амёбовидных скоплений жильного вещества, единичными жилами и особенно развитой между ними окисленной вкрапленностью рудных минералов («межпрожилковой» рудной вкрапленностью). Необ-

ходимо учитывать также состав вмещающих пород, предпочтительный для образования месторождений глубинного и близповерхностного происхождения.

При проведении разведки месторождений-гигантов глубинного генезиса бурением необходимо учитывать возможность распространения оруденения не только на большую глубину (до 2 км и более от современной поверхности), но и преобладающую протяженность рудных тел по падению сравнительно с распространением их по латерали. Разведка близповерхностных месторождений может столкнуться с преимущественной приуроченностью руд к мелким субвулканическим или гипабиссальным телам среднекислого состава и дуговым разрывам субвулканическо-брекчиевой природы.

## Литература

1. Кочетков А.Я., Некрасов Е.М., Ставский А.П., Чупров А. И. Геолого-экономические критерии выбора объектов инвестирования золотодобывающей промышленности // Драгоценные металлы, драгоценные камни. 2001. № 4 (88). С. 92-99.
2. Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. Золоторудные гиганты России и мира. М.: Научный мир, 2000. 270 с.
3. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 332 с.
4. Некрасов Е.М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. М.: Недра, 1988. 286 с.
5. Некрасов Е.М. Ещё раз о значении учения В.М. Крейтера о геолого-промышленных типах рудных месторождений // Изв. вузов. Геология и разведка. 2006. № 3. С. 32-35.
6. Некрасов Е.М. Крупнейшие и крупные эндогенные золоторудные месторождения, локализующиеся в связи с рудоконтролирующими разломами высоких порядков // Изв. вузов. Геология и разведка. 2010. № 4. С. 30-37.
7. Некрасов Е.М. Рудовмещающие элементы трещинной структуры крупнейших эндогенных месторождений золота // Изв. вузов. Геология и разведка. 2011. № 3. С. 41-54.
8. Шер С.Д. Металлогения золота (Северная Америка, Австралия и Океания). М.: Недра, 1972. Т. 1. 295 с.
9. Яновский В.М. Рудоконтролирующие структуры терригенных миогеосинклиналей. М.: Недра, 1990. 246 с.
10. Blenkinsop T.O., Mumm A.S., Kumi., Sang M. Structural geology of the Ashanti gold mine, Obuasi, Ghana. Metallogensis of selected gold deposits in Africa // Geol. Jahrb. Deposits. 1994. N 100. 679 p.
11. Goldfarb R.J., Robert Agosto. The late cretaceous Donlin Creek gold deposit, Southeastern Alaska: control on epizonal ore formation // Econ. Geol. 2004. V. 99, N 4. P. 643-673.
12. Mueller A.G., Harris L.B., Lungan A. Structural control of greenstone-hosted gold mineralization by transcurrent shearing: «A new interpretation of the Kalgoorlie mining district, Western Australia» // Ore Geol. Review. 1988. V. 3. N 4. P. 359-387.
13. Muller D., Kaminski K., Uhlig S. et. al. The transition from porphyro epithermal-style gold mineralization at Ladolam, Lihir island, Papua New Guinea: a reconnaissance study // Miner. Deposita. 2002. V. 37. P. 61-74.
14. Nelson C.E. Volcanic domes and gold mineralization in the Pueblo Viejo district, Dominican Republic // Miner. Deposita. 2000. V. 35. P. 511-525.

ФГУНПП «Аэрогеология», ИАЦ «Минерал»  
(117485, г. Москва, ул. Академика Волгина, д. 8, стр. 2;  
e-mail: necrasov@mineral.ru, dudkin@mineral.ru)  
Рецензент – Г.Н. Пилипенко

## СТРУКТУРЫ КРУПНЕЙШИХ ЗАРУБЕЖНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА В АРХЕЙСКИХ ЗЕЛЕНОСЛАНЦЕВЫХ ПОЯСАХ

*(Известия АН СССР, серия геологическая. 1989. № 3. С. 89–102).*

Архейские пояса зеленосланцевых пород, прослеживающиеся в пределах щитов, входящих на территории зарубежных государств, включают сравнительно крупные запасы эндогенного золота. Основная его часть приходится на наиболее широко проявленные месторождения, залегающие в зеленокаменно-измененных или амфиболизированных терригенно-вулканогенных породах. К этому типу принадлежит и наибольшее количество крупнейших<sup>1</sup> рудных объектов, в частности Холлинджер и Мак-Интайр (рудное поле Поркьюпайн), Доум и Керр-Эдисон (Канада), а также Калгурли (Австралия), Морроу-Велью (Бразилия) и Колар (Индия).

Все эти крупнейшие месторождения залегают в метапородах андезит-базальтовой и дацит-андезит-базальтовой формаций, характеризующихся существенным преобладанием андезитовой составляющей. Лишь Морроу-Велью сформировалось в породах карбонатно-вулканогенно-терригенной формации, в которой слюдистые и карбонатные сланцы, филлиты и подчиненные кварциты сочетаются, видимо, с менее проявленными андезитами. Рудовмещающие породы смяты в сильно сжатые и опрокинутые складки. Рудные тела предпочтительнее сосредоточиваются в тех участках складок, которые отличаются наиболее сложным строением – в волнообразно изогнутых частях сводов и килей, на отрезках крыльев, осложненных перегибами, флексурами, мелкими продольными складчатыми постройками и вдающимися киями других косоориентированных складок.

Исходя из особенностей элементов разрывной структуры рудоносных участков, могут быть намечены два основных подтипа месторождений. К первому из них принадлежат объекты, характеризующиеся проявлением вытягивающихся на несколько километров широких систем многочисленных сменяющих друг друга рудоносных разрывов небольшой протяженности и приуроченных к ним рудных тел (жил, прожилковых зон и зон вкрапленного оруденения). Это месторождения Холлинджер и Мак-Интайр, Калгурли и Доум. На этих месторождениях отношение длины к ширине рудоносных систем составляет 2–5 : 1, а количество эксплуатирующихся рудных тел колеблется от многих десятков до 300. Очевидно, что каждое рудное тело включает запасы золота, составляющие в подавляющем большинстве случаев 2–6 т металла. Ко второму подтипу должны быть отнесены месторождения линейного облика, приуроченные к сравнительно узким (обычно до 70–200 м) зонам рудоносных разломов. Отношение длины оруденелой части этих нарушений к шири-

<sup>1</sup> Под крупнейшими понимаются золоторудные объекты, обладающие запасами золота (считая и извлеченное) в количестве, превышающем 300 т, под мелкими, средними и крупными – соответственно <10–15, от 15 до 80–100 >100 т [3].

не зоны не ниже 10–30 : 1. В таких зонах развиты сменяющие друг друга рудные тела (зоны штокверкового и прожилково-вкрапленного оруденения, жилы), которые, как правило, размещаются в трещинах скалывания и пучках таких трещин, оперяющих рудоносный разлом. Трещины и рудные тела прослеживаются между граничными тектоническими швами разломов, а иногда и между продольными нарушениями, проявленными внутри зоны. Оруденелые сколы под очень острым углом отделяются от этих нарушений. Примером подобного месторождения служит Керр-Эдисон. Здесь количество рудных тел, залегающих в зоне разлома, достигает нескольких десятков. Очевидно, запасы каждого из них, как и в первом случае, укладываются в те же пределы: 1–10 т металла. Рудные тела меньшей протяженности и масштаба примыкают к граничным швам разлома в висячем и лежащем боках его, т. е. за пределами зоны. Количество их невелико.

Для крупнейших золоторудных месторождений обоих подтипов, таким образом, наиболее характерна концентрация запасов металла на ограниченном участке, т. е. проявление оруденения сосредоточенного типа. Это отражается и высокой плотностью оруденения<sup>2</sup> в пределах того локального участка месторождения, в котором сосредоточивается 90% и более рудных тел и запасов золота. Так, в частности, плотность оруденения на месторождении Керр-Эдисон равна 850 т/км<sup>2</sup>, Доум – 430, Калгурли – 310, Холлинджер и Мак-Интайр – 240, Колар – 110 и Морроу-Велью – 105 т/км<sup>2</sup>. Наряду с высокой плотностью все крупнейшие месторождения анализируемого типа обладают вертикальным размахом, оруденения, превышающим 1–2 км и более, и, таким образом, относятся к группе глубокопроникающих месторождений. Очевидно, за счет этого также достигается сосредоточение на ограниченном участке крупнейших запасов золота. В частности, оруденение на месторождении Калгурли прослежено на глубину до 1500 м, Керр-Эдисон – 1500, Доум – 1650, Холлинджер и Мак-Интайр – 2400 м.

На месторождении Морроу-Велью, как бы несколько «выбивающемся» из приведенных типоморфных характеристик, крупнейшие запасы металла обеспечиваются непрерывным развитием оруденения в сравнительно непротяженной в плане (оруденелая часть 500–700 м) и мощной (до 25–30 м) зоне рассланцевания, подчиняющейся погружению (склонению) на большую глубину шарнира приразломной складки волочения. Руды в настоящее время эксплуатируются на глубине 2550–2600 м. Главное рудное тело, вытягивающееся в виде ленты, полого склоняющейся на восток, непрерывно протягивается по склонению более чем на 5000 м. Она включает свыше 80% запасов золота на месторождении. Следовательно, крупнейший масштаб оруденения обуславливается, аналогично другим глубокопроникающим месторождениям, чрезвычайно большой величиной такого параметра, как непрерывность оруденения. Значения его на Морроу-Велью не только сопоставимы с вертикальным размахом оруденения для других рассматриваемых в статье крутопадающих рудных объектов, но в 2–3 раза превышают его. По отношению же к рядовым месторождениям, непрерывность оруденения на Морроу-Велью превышает этот параметр на порядок, так же как на порядок и более на крупнейших месторождениях превышает плотность оруденения по отношению к рядовым золоторудным объектам.

При сопоставлении анализируемых месторождений с рядовыми объектами аналогичного типа выясняется, что рудные тела последних как бы многократно повторяются на крупнейших месторождениях. Это проявляется не только морфологически, т. е. в виде

<sup>2</sup> Под плотностью оруденения, следуя С. Д. Шеру [4] и ряду других исследователей, понимаем количество добытого и оставшегося в недрах золота, приходящегося на единицу площади оруденелой территории, в данном случае на 1 км<sup>2</sup>.

многократного повтора формы и строения рудного тела без существенного увеличения мощности и протяженности его в плане<sup>3</sup>, но и в виде повтора рудовмещающего элемента разрывной структуры и геологической обстановки его размещения, т. е. чаще всего в виде проявления множества подобных друг другу оруденелых сколов и рудных тел, аналогичных единичным разрывам и телам, проявленным на мелких месторождениях. Такие сколы предстают: 1) в качестве повторяющихся по ориентировке и строению оперяющих нарушений, последовательно отделяющихся от изогнутого интервала шва разлома, в шаге размещения одно от другого; 2) в виде системы, пучка разрывов (иногда двух-трех пересекающихся направлений), заключенных между рядом локальных рудоконтролирующих разломов; 3) в виде серии оруденелых нарушений, заключенных в сравнительно неширокой (десятки – первые сотни метров) зоне дробления разлома. В двух первых случаях рудоносные разрывы принадлежат к системе рудовмещающих нарушений, в третьем – к единичному рудоносному разлому.

Чтобы убедиться в повторяемости рудовмещающих разрывов и рудных тел и геологической обстановки их размещения, достаточно сопоставить мелкое месторождение Хенненс Норт, расположенное в 7 км на северо-запад от центра золоторудного месторождения Калгурли, с этим крупнейшим объектом. Рудные тела обоих месторождений локализованы в одних и тех же породах, смяты в одни и те же складки, нарушенные разрывами сходного типа и направления. Месторождение Хенненс Норт, таким образом, рассматривается в качестве своеобразной «ячейки», многократно повторенной на участке месторождения Калгурли.

### Месторождение Хенненс Норт

Это месторождение разрабатывалось с 1935 по 1952 г. За это время было добыто 591,4 тыс. т руды с содержанием золота 14,5 г/т, из которой было получено 8,55 т золота. Согласно сведениям Э. П. Аттинга [14], месторождение размещается в толще зеленосланцевых пород AR<sub>2</sub>, слагающих рассланцованный и метаморфизованный силл кварцевых долеритов Голден-Мейл. Эти породы образуют ядро сильно сжатой синклинали Калгурли, протягивающейся в 7 км юго-восточнее через западную часть одноименного месторождения. Подстилаются зеленосланцевые породы метабазами Паринга, выходящими к северо-востоку и юго-западу от главной жилы Хенненс Норт (рис. 1). При этом «северные» базальты вмещают серию согласных даек альбит-порфиров мощностью от первых метров до 100 м и более. Напомним, что и на Калгурли аналогичные образования локализируются в породах формации Боулдер, а также и в других частях оруденелой площади.

Участок месторождения Хенненс Норт располагается в шарнире синклинали Калгурли между двумя падающими на запад – юго-запад субпараллельными разломами («С» и «Е»), отстоящими один от другого на 600–650 м. Разломы наискось пересекают шарнир складки. Кроме того, исходя из данных Г. Н. Филлипса [10], разломы «С» и «Е» по ориентировке, строению зоны и составу развитых в них минеральных скоплений полностью идентичны локальным рудоконтролирующим разломам, прослеживающимся всего в 2 км юг – юго-восточнее через рудник Маунт-Шарлотт, эксплуатирующий рудные тела северного фланга, рудного поля Калгурли.

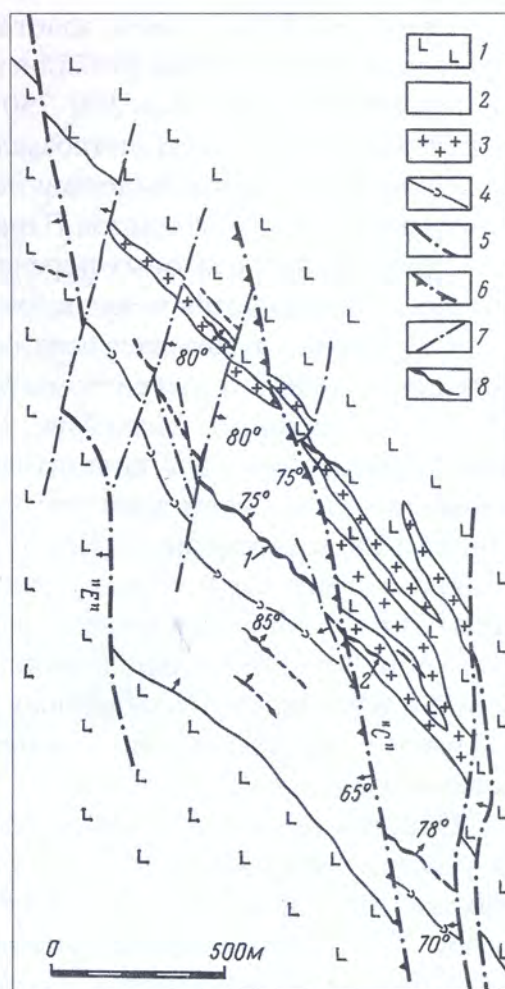
<sup>3</sup> Предварительное сравнение убеждает, что средние мощность и протяженность рудных тел на мелких месторождениях преимущественно составляют 2–4 и 200–300 м, а на крупнейших – 5–7 и 200–500 м.

На месторождении Хенненс Норт выявлено восемь жил, из которых разрабатывались по меньшей мере три. Жилы пространственно тяготеют к разлому «С», вдоль которого произошло дорудное правостороннее (в плане) перемещение на амплитуду до 700 м. «Дожильный» возраст разлома подтверждается тем, что, несмотря на большую сдвиговую амплитуду, жила Голден Дрим (рис. 1) и вмещающее ее нарушение начинаются от разлома почти на продолжении жилы Хенненс Норт. Кроме указанных с зоной разлома сочленяются и другие жилы. Они выполняют оперяющие его сколовые трещины северо-западного простирания. Жилы золото-пирит-кварцевые, метасоматического облика, с широкими оторочками окварцованных, хлоритизированных и карбонатизированных пород. Наиболее протяженная жила (около 900 м) была прослежена на глубину 525 м от поверхности и обладала мощностью до 7 м. Остальные семь жил вытягиваются на 100–200 м и имеют мощность 1–2 м. Все они по своим параметрам, ориентировке, генетической природе и взаимоотношениям с локальными рудоконтролирующими разломами полностью аналогичны золоторудным зонам теллуридно-сульфидной вкрапленности, принадлежащим к так называемой главной серии рудных тел и трещин месторождения Калгурли. Однако плотность оруденения на участке месторождения Хенненс Норт (9,4 т/км<sup>2</sup>) в 33 раза меньше месторождения Калгурли (310 т/км<sup>2</sup>).

### Крупнейшее месторождение-гигант Калгурли

С 1893 по начало 1987 г. из руд месторождения получено около 1205 т благородного металла<sup>4</sup>. Ниже приводится авторское обобщение материалов по геологии и структуре месторождения, составленное, исходя из публикаций Н. Г. Филлипса [10], С. А. Томича [12], Г. А. Трэвиса и др. [13], К. Дж. Финакейна [7], Дж. Д. Кемпбелла [5] и других геологов.

Наиболее насыщена золотом сравнительно локальная территория, площадью 3,8–4,0 x 1 км. Она располагается в том участке рудного поля, где происходит изменение сравнительно монотонной геологической среды и существенно усложняется комплекс пород, вмещающих оруденение, где изменяется конфигурация складок, образованных рудовмещающими породами, а единичные разломы, контролирующие оруденение, трансформируются в пучок расщепляющихся нарушений. Кратко проанализируем специфическое строение и геологическую обстановку в пределах рудоносного участка.



**Рис. 1.** Геологическая схема месторождения Хенненс Норт, по Э.П. Аттингу [5, 14] «С», «Е» – основные локальные рудоконтролирующие разломы; 1, 2 – жилы, соответственно Хенненс Норт и Голден Дрим, 1 – metabазальты Паринга; 2 – зеленые сланцы (метадолериты) Голден-Мейл; 3 – альбит-порфиры; 4 – ось синклинали; 5 – локальные разломы; 6 – то же, рудоконтролирующие; 7 – прочие разрывы; 8 – золоторудные жилы

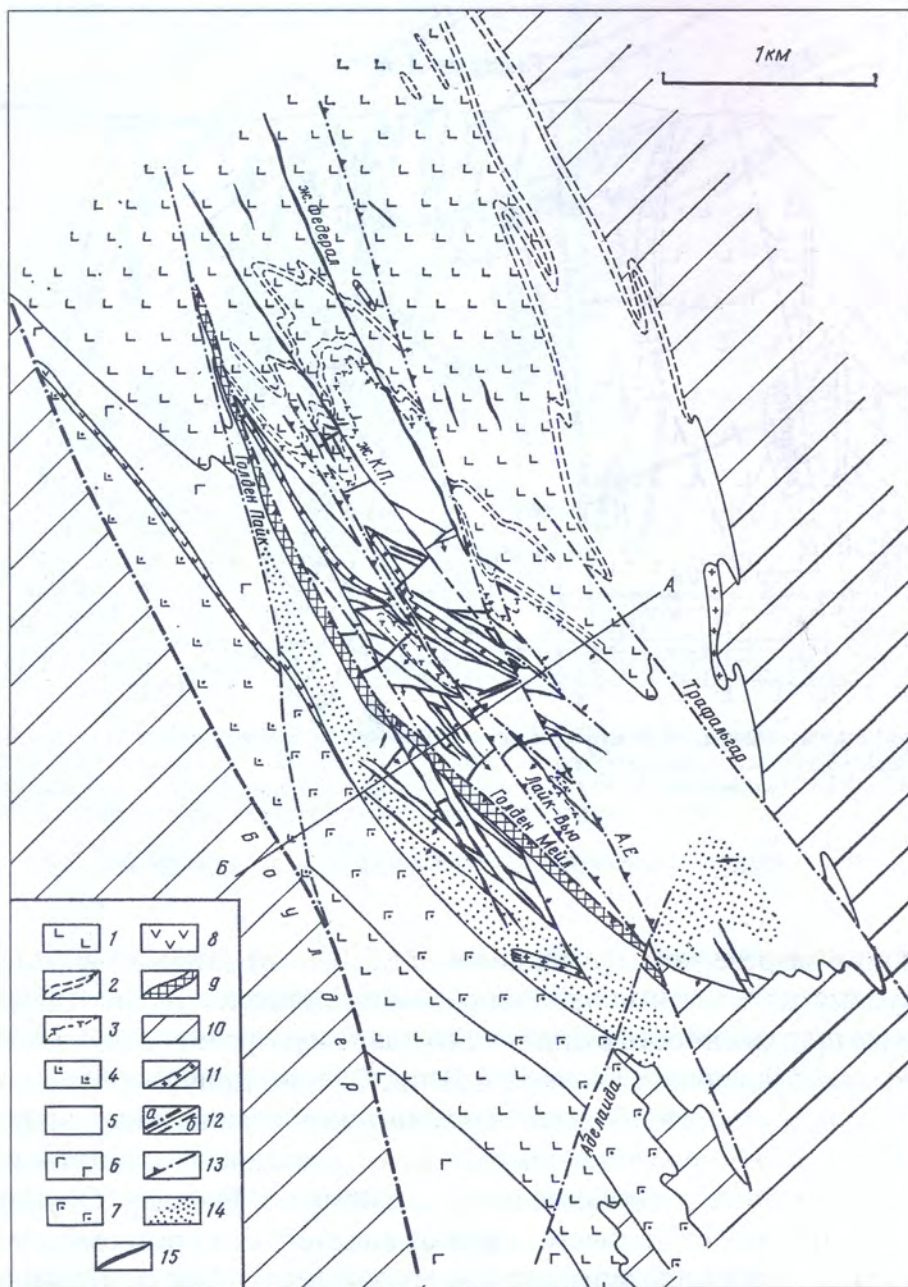
<sup>4</sup> Некрасов Е.М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. - М.: Недра, 1988. - 286 с.: ил. ISBN 5-247-00119-2

Примерно 80% запасов золота заключено в рудных телах, локализованных в зеленосланцевых породах. Они развились по кварцевым долеритам стратифицированного силла Голден-Мейл мощностью 300–750 м. Остальная часть золота проявлена в подстилающей толще рассланцованных метабазальтов Паринга (>1000 м) и в графитизированных сланцах, слагающих в ней выдержанные прослой. Исходя из установленного стратиграфического разреза, ниже базальтов Паринга должны залегать метабазальты Бэррен (венчающиеся слоем метаандезитовых порфиринов), однако почти повсеместно между базальтовыми толщами размещаются метадолериты другого мощного силла – Вильямстоун (150–300 м).

Оруденение охватывает верхнюю часть базальтовой толщи Паринга и протягивается в виде широкой (0,8–1 км) системы рудных тел на юг – юго-восток в зеленокаменноизмененные долериты Голден-Мейл (рис. 2), достигая подошвы наиболее молодой формации Блэк Флег (туфы, агломераты, андезитовые, отчасти кислые лавы с прослоями сланцев, граувакк и кварцитов). На всем этом протяжении в продольном разрезе оруденение не проникает глубже 1200 м (возможно, 1500 м) от современной поверхности и, таким образом, не подчиняется стратиграфическому контролю. Вместе с тем, рудовмещающая среда (метадолериты) на рудоносном участке осложняется проявлением узкой (50–80 м) полосы пород формации Боулдер (сильно измененные сланцы, насыщенные дайками альбитовых порфиринов), а также дайками альбитовых порфиринов северо-западного и широтного простирания, а севернее – рассланцованными метабазальтами и развитыми в них прослоями графитизированных сланцев и туффинов.

Система рудных тел прослеживается вдоль волнообразно, но слабо перегибающегося участка кия сжатой синклинали Калгурли и достигает его резкого перегиба. В этом участке, где шарнир складки более круто, под углом около 30–40° начинает погружаться на юг – юго-восток, оруденение прекращается. Борта синклинали постройки осложнены продольными дополнительными складками, часть из которых носит собственные наименования (антиклинали Калгурли и Паринга). По мнению автора, четко проявляется и контроль оруденения локальными разломами. Действительно, с юг – юго-востока в метадолериты Голден-Мейл проникает один разлом – «А. Е». Здесь, на протяжении 2 км он последовательно расщепляется на целую серию частью оруденелых ветвей: свое продолжение, на разломы жил Федерал и КП, Лайк-Вью, Голден-Мейл и некоторые безымянные нарушения. В целом они образуют своеобразный пучок рудоконтролирующих разломов. Именно в пределах этого пучка между сближенными ветвями, располагающимися в 100–300 м одна от другой, размещается оруденение (рис. 2). Характерно, что почти в любом участке, отличающемся сочленением ветвей, исследователи Калгурли прогнозировали и обнаруживали новые рудные тела.

Рудоносная система (шириной около 1 км) наиболее насыщена рудными телами на протяжении 4 км. Ориентировка ее север – северо-западная и определяется направлением пучка локальных рудоконтролирующих разломов. В пределах рудоносной системы установлены рудные тела, принадлежащие к четырем сериям различно ориентированных разрывов: 1 – Главной, с простиранием 315–330° и крутым падением (80–90°) на восток и запад; 2 – Второй, с простиранием 300–305° и падением на юго-запад под углом 65–75°; 3 – субширотной серии Каунти (с падением 55–70° на юг) и 4 – Секущей северо-восточного простирания. Рудные тела всех серий представлены зонами золотоносной вкрапленности пирита (5–10% от массы руды) и резко подчиненных ему других сульфидов и в меньшей степени теллуридов. Тела развиты в анкерит-кварцевых и альбит-анкерит-сидерит-кварцевых метасоматитах, содержащих также флюорит и зеленый



**Рис. 2. Геологическая схема месторождения Калгурли.** Составлена по материалам Н. Г. Филлипса, С. А. Томича, Г. А. Трэвиса, Р. Вудола, Г. Д. Бартрема, С. Д. Голдинга и А. Ф. Вилсона [2, 5, 7, 10, 12, 13]:

1 – метабазальты Паринга; 2 – графитизированные сланцы; 3 – туффиты; 4 – метабазальты Бэррен; 5 – зеленые сланцы (метадолериты) Голден-Мейл; 6 – силл метадолеритов Вильямстоун; 7 – амфиболиты и метадолериты; 8 – метаандезитовые тюрфириты; 9 – сланцы, насыщенные дайками альбитофирфов (формация Боулдер); 10 – лавы и пирокласты андезитов и кислых вулканитов, сланцы, граувакки и кварциты (формация Блэк Флег); 11 – дайки порфиритов; 12 – разломы: а – региональные, б – локальные; 13 – то же, рудоконтролирующие; 14 – карбонатизированные породы; 15 – золоторудные зоны вкрапленной минерализации

роскоэлит. Метасоматиты и рудные тела приурочены к зонам дробления зеленых сланцев и метабазальтов и к сопровождающим их продольным тектоническим швам и плоскостям скольжения. Раздувы зон контролируются участками наиболее интенсивного дробления рудовмещающих пород на перегибах и в узлах сочленения со швами зон боковых оперяющих трещин. Мощность рудных тел колеблется от 0,6 до 25 м, протяженность в плане – от 50 м до многих сотен метров.

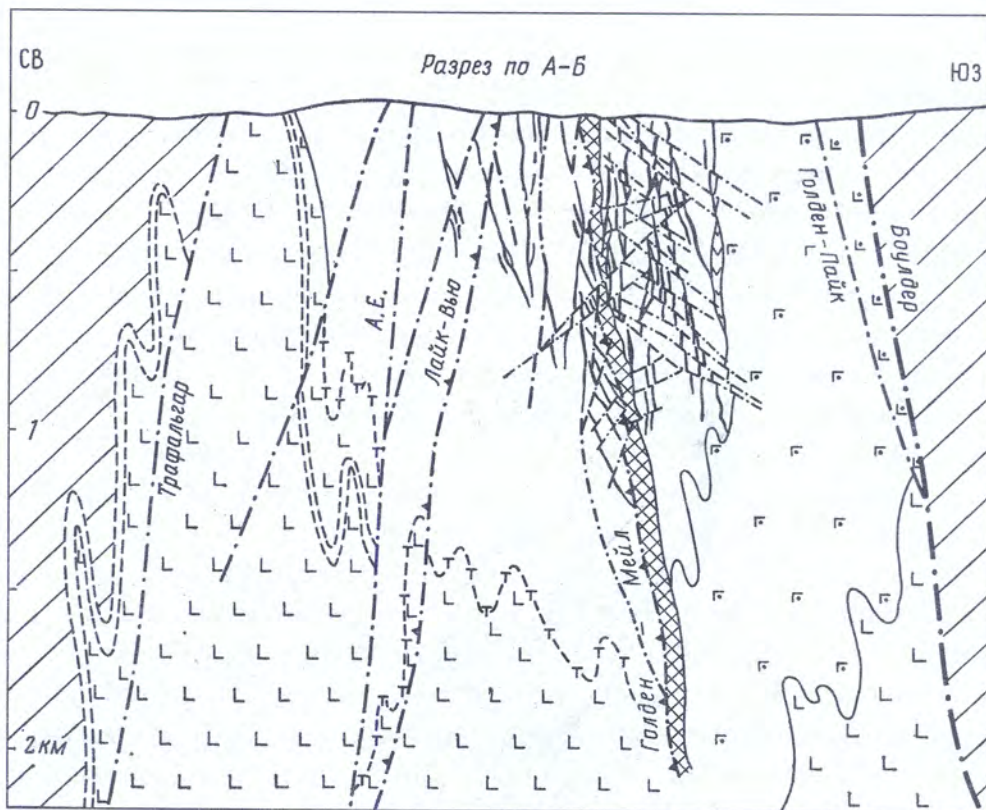


Рис. 3. Разрез через месторождение Калгурли. Усл. обозн. см. рис. 2.

В вертикальном разрезе четко устанавливается, что отдельные рудные тела прослеживаются на глубину до 1 км и более, непрерывно смещаясь послерудными надвигами (рис. 3). Обычно же протяженность рудных тел в плане и разрезе соизмерима. Значительная часть рудных тел преобладающих Главной и Второй серий приурочивается к сколам, опирающимся локальные разломы. Наиболее отчетливо таким главным нарушением выступает разлом Голден-Мейл, вдоль висячего бока которого оказались «затянутыми» на глубину в зону нарушения сланцевые и дайковые породы формации Боулдер. Оруденелые сколы и рудные тела начинаются как от лежащего, так и от висячего бока разлома и устанавливаются вдоль него на самых глубоких горизонтах месторождения. Рудные тела и сколы Главной и Второй серий преобладают в рудоносной системе. Однако наиболее ранними являются нарушения серий Секущей и Каунти. Некоторые из них прослеживаются непрерывно между соседними рудоконтролирующими разломами. В этом случае от поверхности разрывов, принадлежащих к вышеназванным сериям, также начинаются рудные тела Главной и Второй серий. Таким образом, рудные тела располагаются либо между соседними рудоконтролирующими разломами, либо между разломом и оруденелым разрывом Секущей серии или серии Каунти, которые как бы приобретают рудоконтролирующее значение. В таких участках разрывы и рудные тела Главной и Второй серий образуют пучки, в которых каждая из золотоносных зон располагается субпараллельно в 15–60 м от другой. В пределах пучка устанавливается от 2–3 до 7–8 зон. Периодически, через 200–400 м, пучки повторяются. Например, пучок золотоносных зон, развитых в висячем боку разлома Голден-Мейл (южная часть месторождения), затем дважды повторяется в лежащем боку этого разлома, в центральной части рудоносного участка и север – северо-западнее (рис. 2). Очевидно, на этом участке наглядно проявился «шаг размещения» разрывов, залечивающихся рудами.

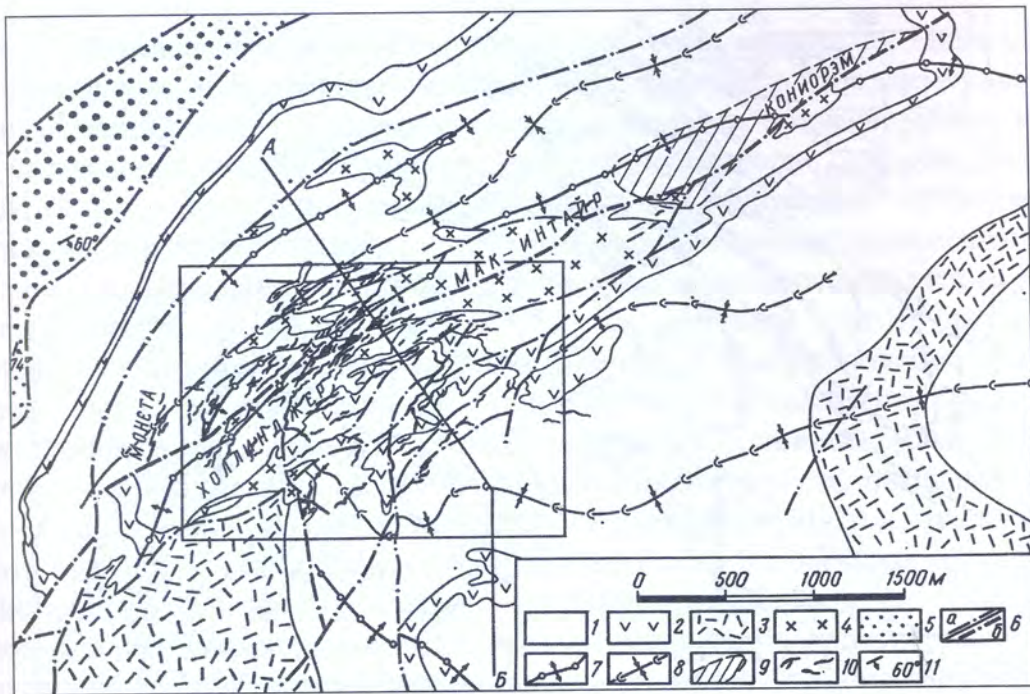


Рис. 4. Геолого-структурная схема золоторудного поля Поркьюпайн. Составлена по материалам Т. Д. Смита и др., Р. В. Бойля, В. О. Карвинена, В. А. Джонса [8, 11]. 1 – андезиты, коматиитовые базальты и их туфобрекчии; 2 – диабазы; 3 – агломераты и туфобрекчии фельзитов и риолитов; 4 – субвулканические кварц-полевошпатовые порфиры; 5 – конгломераты, песчаники, алевролитовые сланцы; 6 – разломы: а – локальные, б – в том числе рудоконтролирующие; 7 – оси антиклиналей; 8 – оси синклиналей; 9 – поле развития «слепых» золоторудных тел; 10 – золотоносные прожилковые и прожилково-вкрапленные зоны; 11 – направление и угол падения пород

Нетрудно убедиться, что каждый рудный пучок на Калгурли в свою очередь является как бы до 3–8 раз и более повторенной жилой Хенненс Норт. Действительно, как и на Калгурли, эта жила использовала сколовое нарушение, под острым углом сочленяющееся с локальным рудоконтролирующим разломом. Она имеет аналогичную ориентировку и внутреннее строение. Такие рудоносные сколы на Хенненс Норт отделяются как от висячего, так и лежащего бока разлома «С», что также идентично разлому Голден-Мейл месторождения Калгурли. Изложенное позволяет прогнозировать новые жилы на расстоянии «шага размещения» их.

Сходен также и состав руд, отличаясь тем, что на Калгурли в зонах рудной вкрапленности сравнительно широко проявились теллуриды. Здесь среди сульфидов главное значение принадлежит пириту. Остальные, подчиненные ему рудные минералы, представлены халькопиритом, сфалеритом, галенитом, энаргитом, леллингитом, пираргиритом. Теллуриды разнообразны – это калаверит, петцит, сильванит, нагиагит, колорадоит, гессит, алтаит, мелонит. Основная часть золота (до 80%) размером 0,5–20 мкм заключена в пирите, при этом, около 5–10% наблюдаются в свободной форме и 10–15% связаны с теллуридами.

### Крупнейшие месторождения рудного поля Поркьюпайн – Холлинджер и Мак-Интайр

Рассматриваемые месторождения иллюстрируют другой подтип протяженной и широкой рудоносной системы, сложенной резко преобладающими рудными телами одного направления. Начиная с 1910 г. из месторождений этого поля получено 974 т золота. Месторождения сильно истощены. Далее предлагается авторское обобщение материалов

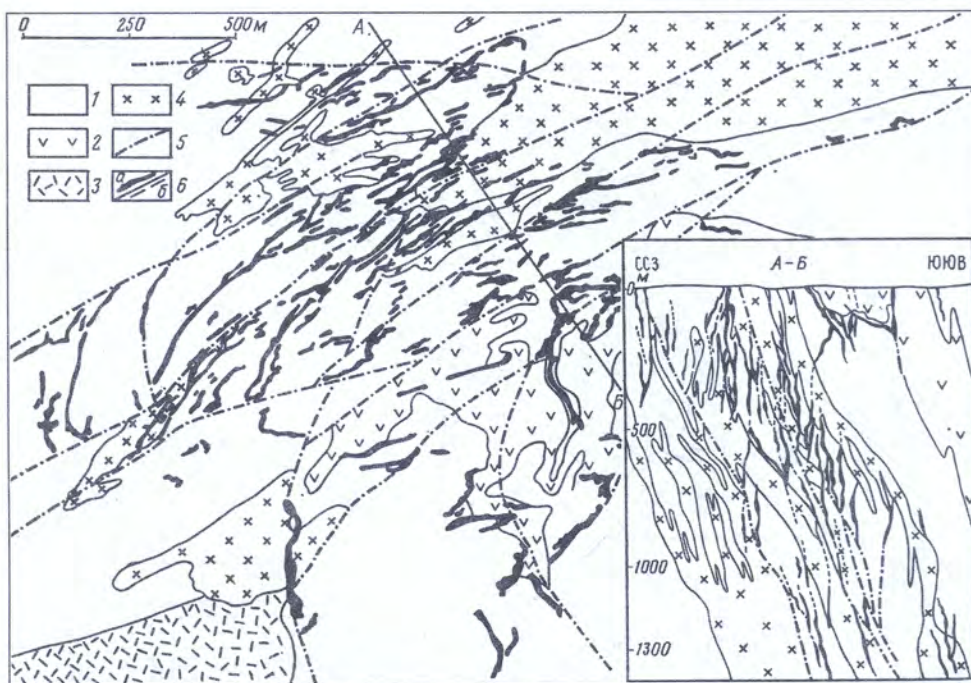


Рис. 5. Схема строения месторождения Холлинджер и разрез через него по линии А-Б. Составлено по материалам В. А. Джонса, Г. Д. Фарса, А. Т. Гриффиса, Р. В. Бойля [8, 9]. 1-4 – см. усл. обозн. к рис. 4; 5 – локальные рудоконтролирующие зоны рассланцевания; 6 – золотоносные прожилковые и прожилково-вкрапленные зоны; а – прослеженные, б – бедных руд и предполагаемые

по геологии месторождений, составленное по статьям Т. Дж. Смита и С. Е. Кеслера [11], И. Ф. Дэвиса [6], А. Т. Гриффиса [8], В. А. Джонса [9] и другим публикациям.

Локализованы месторождения в мощной верхнеархейской толще зеленокаменно-измененных и слабо рассланцованных вулканитов – тальк-карбонатсодержащих андезитах, дацитах, вариолитовых и подушечных коматиитовых базальтах и пирокластах этих пород (рис. 4). Толща принадлежит к группе Киватин. Последняя, включая рудовмещающие горизонты, смята в чередующиеся сильно сжатые и опрокинутые на северо-запад складки. Главными из них выступают антиклиналь и синклинали Поркьюпайн восток – северо-восточного простирания. Южное крыло антиклинали на участке месторождения осложнено центриклинальным замыканием (с круто вздымающимися киями северо-западного направления) двух других складок. В связи с этим крылья антиклинали Поркьюпайн представляют волнообразно перегибающуюся поверхность. В ее ядерной части среди метавулканитов располагаются несколько значительных и совсем небольших прорывающих их штоков субвулканических кварц-полевошпатовых порфиров. В плане это эллипсоидальные тела размером от нескольких сотен метров до 1,5 км. Их вытянутые западные и восточные контакты, а также нависающие участки штоков сопровождаются маломощными дайками-апофизами, четко рассекающими смятые в складки слои метавулканитов. Кварц-полевошпатовые порфиры содержат жильные рудные тела, однозначно свидетельствующие о постскладчатом и постметаморфическом возрасте оруденения.

Через все рудоносные участки протягивается несколько субпараллельных разломов, частью совпадающих, а частью под очень острым углом пересекающих сводовую часть и юго-восточное крыло основной антиклинали. Между разломами, расположенными на расстоянии 150–250 м друг от друга, проявилась система рудовмещающих разрывов. Это крутопадающие зоны рассланцевания северо-восточного и восток – северо-восточного простирания. В разрезе наиболее четко видно, что они представляют боковые разрывы-сколы, оперяющие

разломы и сочленяющиеся с ними. Разломы на некоторых интервалах также сопровождаются рудными телами и, таким образом, выполняют роль рудоконтролирующих и рудовмещающих нарушений (рис. 5). Система зон рассланцевания и приуроченных к ним рудных тел пространственно совпадает с шарнирной частью антиклинали, с серией продольных рудоконтролирующих разломов и цепью штоков кварц-полевошпатовых порфиоров, которые в совокупности служат геологическими элементами, осложняющими рудовмещающую среду.

В средней части рудного поля зоны рассланцевания и приуроченные к ним рудные тела многократно повторяются, располагаясь в «шаге размещения» друг от друга, в сланцах, исключительно между прорывающими их порфирами, в плане наподобие правосторонне эшелонированных элементов структуры. Однако оруденение лишь в некоторых зонах прослеживается непрерывно от одного до другого соседнего разлома. Большинство рудных тел заканчивается, не достигая поверхности следующего разлома, расщепляясь вверх по восстанию. При этом «шаг размещения» их составляет около 50–70 м, что позволяет прогнозировать появление новых рудных тел. Их место, как бы отступая вправо, занимают следующие зоны рассланцевания и связанные с ними рудные тела (рис. 5). Разломы, вытягивающиеся по периферии рудоносной системы, сопровождаются оперяющими нарушениями и рудными телами восток – северо-восточного и даже субширотного направления. При этом они проявляются преимущественно в висячих боках разломов и располагаются здесь наподобие левосторонне эшелонированных образований. Автор еще раз хочет напомнить, что вдоль рудоконтролирующих разломов оперяющие их сколы и залечивающие рудные тела располагаются на равном расстоянии друг от друга, демонстрируя, что они проявлены в «шаге размещения».

В целом рудоносная система, сложенная оруденелыми зонами рассланцевания, сочетающимися с субпараллельными разломами, вытягивается на 5 км с юго-запада на северо-восток, имея вначале ширину около 1,2 км и уменьшаясь к востоку до 100–150 м. Поскольку наиболее выдержанными и протяженными выступают разломы, понятно, что здесь, как и на Калгурли, они определяют направление рудоносной системы. Оруденение в пределах ее погружается на северо-восток, и на участке месторождения Кониорэм в самой узкой части системы устанавливаются только слепые рудные тела. Прослеживая систему по простиранию, канадские геологи убедились, что рудные тела распространены в ней неравномерно. Наиболее многочисленны они между значительными штоками кварц-полевошпатовых порфиоров. Здесь в каждом поперечном разрезе может быть насчитано до 15–20 субпараллельных рудных тел. В разрезе хорошо видно (рис. 5), что они развиты в полосах метавулканитов, как бы «зажатых» между погружающимися телами субвулканических штоков. Подобные слепые рудные тела были прогнозированы на основании «шага размещения» и обнаружены на месторождении Кониорэм на глубине 1600–2000 м.

Строение рудовмещающих зон рассланцевания и рудных тел своеобразно. Зоны, как правило, представляют полосу кливажных трещинок (разломного типа), прослеживающуюся вдоль четко выраженного глинистого тектонического шва. Полоса трещинок в одних зонах плавно перегибается, в других – сложно сгофрирована и изогнута в периодически повторяющиеся мелкие складки волочения Z-, S- и крюкообразной формы. Они проявлены в узлах сочленения со швами боковых оперяющих разрывов. Складки, сложенные перегибающимися кливажными трещинками, возникают, видимо, в процессе волочения интенсивно рассланцованных полос вулканитов вдоль менее деформированных по продольным тектоническим швам.

Рудные тела, использующие как плавно изогнутые зоны расланцевания, так и зоны, сопровождающиеся складками волочения, обладают сложным внутренним строением. Они представляют полосы подобных друг другу прожилков, выполняющих изогнутые полости между отслоившимися кливажными трещинками. Объем прожилков и пластинок породы, отделяющих один прожилок от другого, находится в примерном соотношении 3 : 1 – 1 : 2. Контуры прожилков согласны с окаймляющими их кливажными трещинками разломного типа. Мощность прожилковых зон изменяется от 1 до 25 м, протяженность колеблется от первых десятков до 300–500 м. Прожилковые зоны в основном развиты на средних и нижних горизонтах месторождений (где были наиболее благоприятные условия для смятия кливажных трещинок в складки волочения). На верхних горизонтах, в менее пластично деформированных зонах расланцевания, обособились прожилково-вкрапленные руды. Рудные тела третьего типа имеют подчиненное значение. Это массивные сульфидно-кварцевые жилы (от долей до 2–3 м мощности), использовавшие зоны расланцевания простого строения, рассекающие тела кварц-полевошпатовых порфиров.

Вертикальный размах оруденения в отдельно взятой зоне расланцевания не превышает первых сотен метров. Однако в центральной части рудоносной системы одно прожилковое тело многократно сменяется другими, расположенными все более глубоко, и оруденение в целом распространяется до уровня 2400 м от современной поверхности, на северо-восточном фланге рудного поля – на глубину 2000 м ниже поверхности.

Руды сульфидно- и сульфидно-турмалин-кварцевые и почти всегда содержат анкерит. Количество рудных минералов достигает 3–4%. Главное значение среди них принадлежит пириту. Ему подчинены пирротин, сульфиды меди, цинка и свинца, блеклые руды, локально проявленный арсенопирит и теллуриды – петцит, сильванит, гессит, а также тетрадимит. Среди ранних минералов установлены шеелит и молибденит. Золото выделялось в конце процесса минералообразования и образовало «нашлепки» на пирите и микропросечки в этом сульфиде. Реже золото обнаруживается в анкерите и в единичных случаях – в кварце, турмалине, альбите и арсенопирите. Золото ассоциируется с серицитом. Его проба 850. Породы, вмещающие руду, представляют собой анкерит-кварцевый метасоматит, содержащий вкрапленность пирита и халькопирита. Среднее содержание золота в руде верхних горизонтов превышало 15 г/т, постепенно оно снизилось до 8–10 г/т на средних горизонтах и до 4–6 г/т на нижних. При этом существенных изменений состава руд не наблюдалось.

### **Крупнейшее месторождение Керр-Эдисон**

Линейность крупнейших месторождений золота наиболее разительно проявляется для объектов, приуроченных к рудоносным разломам. Типоморфным примером их может служить эксплуатирующееся с 1938 г. месторождение Керр-Эдисон (к концу 1986 г. добыто около 320 т, в недрах осталось более 20 т металла с содержанием 4,6 г/т). Рудные тела Керр-Эдисона заключены в карбонатизированной брекчии почти полностью измененных вулканитов, слагающих зону разлома мощностью от 120 до 200 м [1]. Оруденение по простиранию прослеживается более чем на 2000 м (коэффициент линейности 12 : 1). Рудные тела представлены зонами штокверкового, прожилково-вкрапленного и вкрапленного оруденения. Они развились по сколам, оперяющим граничные тектонические швы разлома. Большинство оруденелых сколов проявлено внутри зоны карбонатизированной брекчии, где они в диагональном направлении прослеживаются от одного шва до другого. Одни оперяющие сколы и приуроченные к ним рудные тела заканчиваются по мере удаления от

швов и сменяются другими, субпараллельными, расположенными на более дальних флангах и глубоких уровнях разлома. Основное оруденение, таким образом, не распространяется за пределы зоны дробления главного нарушения, характеризуясь максимальной сосредоточенностью в одном структурном элементе (разломе).

В зоне штокверкового и прожилково-вкрапленного оруденения прожилки служат цементом карбонатизированной брекчии; последняя содержит вкрапленность рудных минералов. Прожилки имеют сульфидно-кварцевый, реже сульфидно-карбонатно-кварцевый состав. Рудные минералы представлены пиритом, халькопиритом, тетраэдритом, сфалеритом, миллеритом и редким арсенопиритом. Установлены зерна раннего шеелита. Золото крупное, видимое, распространено в кварце в ассоциации с тетраэдритом. Меньшая часть золота – тонкая, развита в виде микропросечек во вкрапленниках пирита.

Таблица

Увеличение запасов золота при углублении разведочных работ на 1 м

Масштаб месторождений	Месторождение	Страна	Масштаб оруденения, т	Вертикальный размах оруденения, м	Рост запасов на 1 м углубления разведочных работ, т
Крупный	Кемпбелл	Канада	200	1000	0,200
	Дикенсон	»	135	1000	0,135
	Норсмен	Австралия	120	900	0,133
	Кем-Мотор	Зимбабве	150	1950	0,077
	В среднем				0,136
Средний	Биг-Белл	Австралия	80	1200	0,066
	Вилуна	»	45,5	800	0,057
	Макасара	»	28,0	600	0,047
	Гвалья	»	82,0	1900	0,043
	Мензиес	»	22,9	600	0,038
	Сильверстак (Дойон)	Канада	51,0	600	0,085
	Боскьют	»	40,2	500	0,080
	Ист-Малартик	»	88,0	1200	0,073
	Кайена	»	27,0	400	0,067
	Мак-Леод Кокшут	»	46,0	700	0,066
	Мадсен Ред-Лейк	»	75,0	1500	0,050
	Делнайт	»	29,5	600	0,049
	Канадиэн Малартик	»	37,0	800	0,046
	Кохинор Вилланс	»	31,5	900	0,035
	Лонелли	Зимбабве	50	1500	0,033
В среднем				0,056	
Мелкий	Сандстон	Австралия	18,5	500	0,037
	Бербанкс	»	8,5	250	0,034
	Уайт-Фезер	»	7,1	250	0,028
	Лавертон	»	16,5	600	0,027
	Фрейзерс	»	9,4	400	0,024
	Палмерс-Файнд	»	4,9	200	0,024
	Барбари-Сюрпрайз	»	4,5	200	0,023
	Грейт-Истерн	»	4,1	200	0,020
	Тригон	»	7,1	350	0,020
	Кулгарди	»	8,5	500	0,017
	Маунт-Ида	»	7,5	450	0,017
	Хенненс Норт	»	8,5	550	0,013
	Комет-Вейл	»	5,7	400	0,014
	Тиндалс	»	4,0	300	0,013
	Голден-Ридж	»	4,4	350	0,013
	Бельвью	»	4,0	300	0,013
	Ора-Банда	»	4,3	400	0,011
	Марбл Бар	»	3,5	350	0,010

Повэл Роэн	Канада	11,8	300	0,040
Норбью	»	5,1	150	0,034
Мошер Лонг-Лэк	»	10,3	300	0,034
Беренс Ривер	»	4,9	200	0,025
Честервил	»	11,2	450	0,025
Сенатор Роэн	»	7,4	350	0,021
Омега	»	6,6	400	0,017
Кроун	»	4,3	250	0,017
О'Брайен	»	16,0	1000	0,016
Чэдворн	»	5,0	300	0,016
Пэндора-Эмм	»	1,0	100	0,010
Вилмэр	»	1,5	150	0,010
Вест-Малартик	»	1,0	150	0,007
Вуд-Кадиллак	»	1,0	150	0,007
Бэлморэл-Фердербел	»	0,85	150	0,006
Канадиэн-Эрроу	»	0,5	100	0,005
В среднем				0,019

### Характер распределения запасов в вертикальном разрезе

Сосредоточенность оруденения на крупнейших зарубежных месторождениях золота в протяженной и широкой системе мелких разрывов или в одном нарушении – рудоносном разломе (разрыве большой протяженности) обуславливает высокие значения запасов металла, приходящиеся на 1 м углубления разведочных выработок (таблица). Для сопоставления в таблице приведены данные по мелким, средним и крупным рудным объектам Канады и Австралии, представляющим однотипные месторождения, размещающиеся в зеленокаменно-измененных и амфиболизированных терригенно-вулканогенных породах, слагающих архейские зеленосланцевые пояса.

Четко выясняется, что для мелких месторождений запасы золота при углублении разведочных работ на 1 м увеличиваются в среднем на 0,019 т при колебании от 0,005 до 0,037 т, для средних – на 0,056 т, для крупных – на 0,136 т. На проанализированных выше семи крупнейших зарубежных месторождениях этот параметр в среднем равен 0,550 т при колебании от 0,150 до 1,0 т на отдельных объектах. Таким образом, масштаб месторождения находится в прямой зависимости от величины, характеризующей рост запасов при углублении разведочных выработок на 1 м. Очевидно, на примере зарубежных месторождений рассматриваемого типа этот параметр может иметь прогнозно-оценочное значение.

Для кратко охарактеризованных крупнейших рудных объектов, а также упоминавшихся выше месторождений аналогичного масштаба – Колар (Индия) и Морроу-Велью (Бразилия) – зарубежные геологи не отмечают существенного проявления минеральной зональности. Начиная от поверхности до самых глубоких горизонтов (на Коларе – в интервале 3,35 км) сохраняются все минеральные ассоциации, соотношения их между собой и последовательность их проявления, а также подавляющее большинство рудных минералов, включая минералы меди, висмута, теллура. Как и на верхних горизонтах, на глубине часто устанавливается ранний шеелит (иногда и молибденит). Руды становятся несколько более кварцевыми и содержат меньшее количество карбонатов железа, в качестве околорудных пород начинают преобладать кварцевые и даже калишпат-кварцевые метасоматиты. Содержание золота в интервале от поверхности до глубины 800–1000 м (иногда более) снижается постепенно на 20–30%, а затем более резко и на глубоких горизонтах концентрация благородного металла падает в 2–3, а, например, на Коларе – в 5–6 раз, однако такое снижение всегда происходит постепенно, а не скачками.

## Выводы

Кратко подытожим проведенное исследование, выделив в нем наиболее существенные черты, определяющие «образ» крупнейших зарубежных золоторудных месторождений рассматриваемого типа.

1. Крупнейшие месторождения золота, заключенные в терригенно-вулканогенных метатородах архейских зеленосланцевых поясов, приурочены к крупномасштабным нарушениям двух типов: 1) к протяженным и широким системам многочисленных сменяющих друг друга мелких разрывов, что ведет к формированию объектов удлиненной формы, характеризующихся отношением длины  $L$  к ширине  $B$ , лежащим в пределах  $L : B = 2-5 : 1$ ; 2) к зонам единичных рудоносных разломов (протяженных разрывов), следствием чего является возникновение линейных месторождений с преимущественным соотношением  $L : B = 10 : 1$ .

2. Участки крупнейших месторождений отличаются сравнительно ограниченными размерами и соответственно чрезвычайно высокой плотностью оруденения, которая на порядок и более превышает плотность на рядовых месторождениях.

3. При сравнительно умеренной протяженности отдельно взятых рудных тел оруденение в виде сменяющих и заходящих друг за друга жил, прожилковых и вкрапленных зон прослеживается непрерывно на несколько километров во всех или хотя бы в одном направлении – по простиранию, по падению или по склонению. В результате в каждом поперечном сечении месторождения может быть обнаружено оруденение с промышленными параметрами. Таким образом, линейный коэффициент рудоносности в крупнейших месторождениях рассматриваемого типа равен или приближается к 100. Повидимому, он будет близок к вычисленному параметру и для крупнейших месторождений других типов.

4. Все крупнейшие и подавляющее большинство крупных месторождений – глубокопроникающие, вертикальный размах их оруденения превышает 1 км (и может достигать 3,5 км). Запасы при углублении разведочных работ на 1 м вырастают более чем на 0,1–0,150 т, что позволяет зарубежным геологам проводить прогнозную оценку масштабов оруденения на начальных стадиях разведки. Для мелких и средних месторождений этот параметр в среднем равен 0,019 и 0,056 т. Зарубежные крупнейшие месторождения отличает удивительное постоянство минерального состава руд и окolorудных метасоматитов в пределах вертикального интервала оруденения, значительно превышающего 1 км. До глубины 800–1000 м от поверхности содержание золота в рудах снижается постепенно, не более чем на 20–30% сравнительно с верхними горизонтами и лишь на большей глубине уменьшается более резко.

5. Все крупнейшие месторождения (или подавляющее большинство их) могут рассматриваться как сближенные и многократно повторяющиеся по простиранию и на глубину участки мелких и рядовых месторождений. Таким образом, крупнейшие запасы золота на территориально ограниченных рудоносных участках обеспечиваются повторением рядовых по запасам рудных тел, располагающихся в нескольких десятках метров друг от друга в «шаге размещения».

6. Участки крупнейших месторождений рассматриваемого типа обладают либо удлиненной, либо линейной формой. Это обуславливается размещением оруденения на флангах серий и пучков разветвляющихся глубокопроникающих разломов локального рудоконтролирующего типа или размещением в зоне единого глубокопроникающего разлома. Это обстоятельство облегчает поиски новых рудных тел, которые последовательно обнаруживаются при прослеживании рудоконтролирующего элемента.

7. Поиск крупнейших и крупных месторождений в архейских зеленосланцевых поясах геологи ведут там, где сравнительно монотонное геологическое строение золоторудных узлов и полей оказывается максимально нарушенным литологическими неоднородностями, магматическими телами, складками и разрывами, не повторяющимися на остальной части территории, вмещающей рядовые месторождения. При этом на перспективных площадях пространственно совмещаются указанные литологические, магматические и структурные предпосылки обнаружения крупного оруденения.

## Литература

1. Бейкер Дж. У. Месторождение Керр-Эдисон//Структурная геология рудных месторождений Канады. М.: Мир, 1964. С. 355–364.
2. Вудолл Р. Месторождения золота. Золото в докембрийском щите Западной Австралии//Полезные ископаемые Австралии и Папуа-Новой Гвинеи. Т. 1/Ред. Найт К.М. М.: Мир. С. 541–555.
3. Некрасов Е. М., Выдрин В. П., Лебедева Н. А., Милюкова Т. Л. Типы месторождений и геолого-экономическая оценка минерально-сырьевой базы золота капиталистических и развивающихся стран. М.: ВИЭМС, 1981. 70 с.
4. Шер С. Д. Металлогения золота (Северная Америка, Австралия и Океания). М.: Недра, 1972. 295 с.
5. Campbell J. D. The structure of the Kalgoorlie goldfield//Geology of Australian ore deposits. Melbourne. 1953. P. 79–93.
6. Davis I. F. Structural interpretation of the Timmins mining area, Ontario//Canad. J. Earth. Sci. 1977. № 4. P. 1046–1053.
7. Finucane K. J. Ore distribution and lode structure in the Kalgoorlie goldfield//Geology of Australian ore deposits. Melbourne, 1965. P. 80–86.
8. Griffis A. T. A geological study of the McIntyre mine//CIM Bull. 1962. V. 55. № 598. P. 47–54.
9. Jones W. A. Hollinger mine//Structural geology of canadian ore deposits. Montreal, 1948. P. 464–481.
10. Phillips N. G. Geology and alteration in the Golden Mile, Kalgoorlie//Econ. geology. 1986. V. 81. № 4. P. 779–808.
11. Smith T. J., Kesler S. E. Relation of fluid inclusion geochemistry to wallrock alteration and lithogeochemical zonation at the Hollinger – McIntyre gold deposit, Timmins, Ontario, Canada//CIM Bull. 1986. V. 78. № 876. P. 35–46.
12. Tomich S. A. A new look at Kalgoorlie Golden Mile geology//Proceed. Austral. Inst. mining and metallurgy. 1975. № 256. P. 27–35.
13. Travis G. A., Woodall R., Bartram D. D. The geology of the Kalgoorlie goldfield//Geol. soc. Australia, spec. paper. 1971. № 3. P. 175–190.
14. Utting E. P. The Hannan's North gold mine//Geology of Australian ore deposits. Melbourne, 1953. P. 112–118.

## МЕСТОРОЖДЕНИЯ МУРУНТАУ И НАТАЛКИНСКОЕ

*(Е.М. Некрасов, Л.А. Дорожкина, Н.В. Дудкин.*

*Фрагмент книги: «Особенности геологии и структуры крупнейших золоторудных месторождений эндогенного класса». М., Астрейя-центр, 2015. С. 46–51.*

*Комментарий Е.М. Некрасова).*

Лидер типа золоторудных месторождений, локализованных в песчанико-глинистосланцевых толщах (фанерозойского возраста), месторождение Мурунтау является крупнейшим эндогенным месторождением золота в мире. За время эксплуатации, начиная с 1967 г., из его недр извлечено около 1200 т золота. Месторождение разрабатывалось до 2016–2017 гг. карьером, глубина которого достигла 560 м. С этой отметки начата также его подземная отработка. Считается, что сумма остаточных запасов и ресурсов золота достигает около 2000 т при содержании благородного металла 1,5–1,7 г/т. Планируется углубить карьер еще на 350–400 м.

Месторождение Мурунтау интересно не только своими особенностями структуры, но и позицией размещения в Кызылкумской золоторудной провинции Тяньшаньской складчатой системы. Здесь региональный рудоконтролирующий разлом протягивается вдоль северо-восточной границы провинции субпродольно её складчатым сооружениям. В пределах центральной части Кызылкумского региона в ряде районов зона разлома залечена предрудными интрузивами габбро-диорит-гранодиоритовой формации и формации биотитовых гранитов (рис. 1).

Установлено, что золоторудные месторождения провинции формировались в узлах сочленения с региональным рудоконтролирующим разломом поперечных разломов северо-восточного направления.

Нередко поперечные разломы-сателлиты, сопутствующие основным нарушениям в зонах максимальных тектонических напряжений возникают на расстояниях, равных только половине шага максимальных напряжений, то есть 25–30 км в рассматриваемом регионе. Именно с подобным локальным разломом связано месторождение Мурунтау. На юго-западном фланге этого разлома размещается крупное месторождение Даугыз и рядовое Высоковольтное (см. рис. 1).

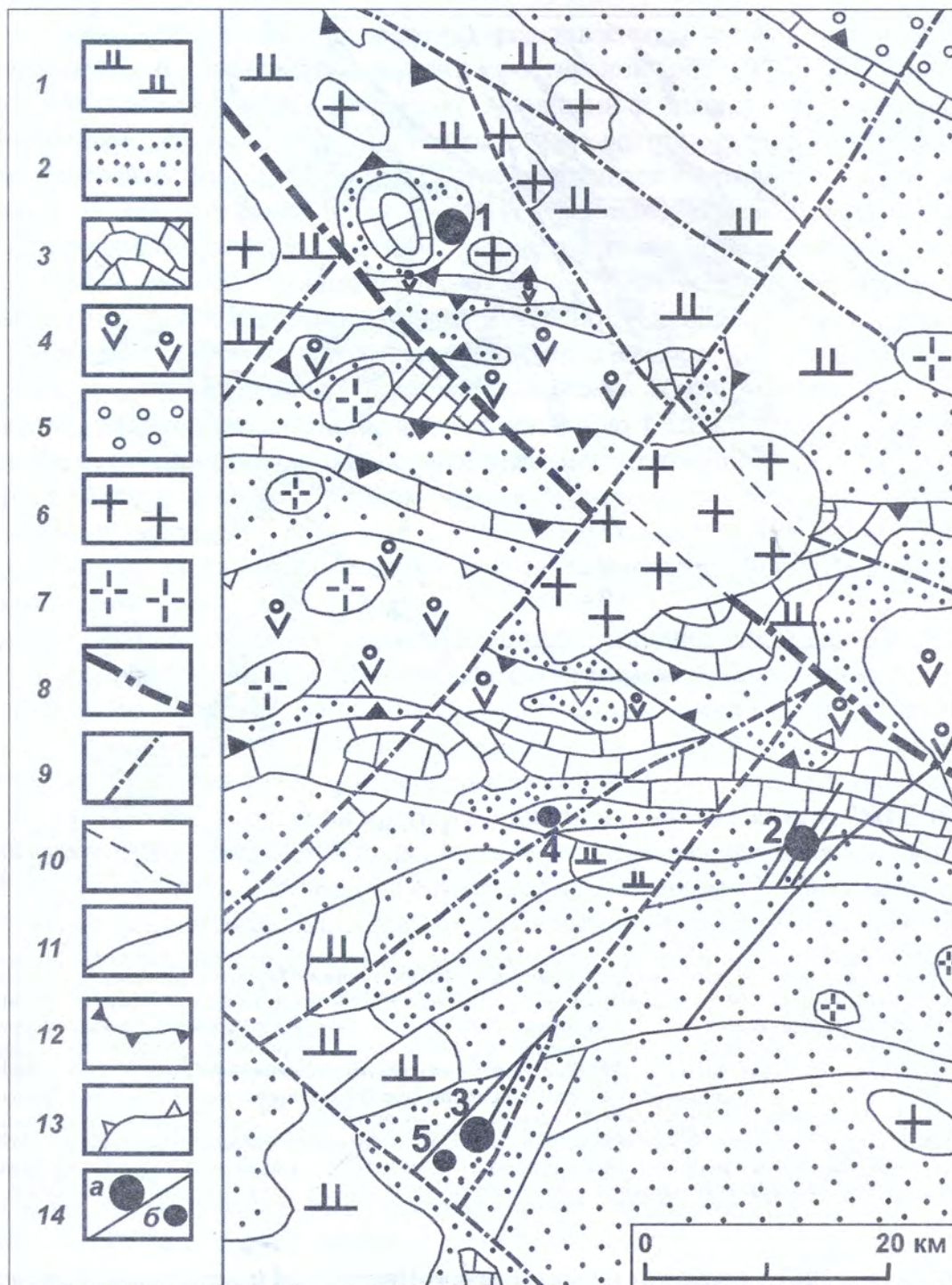
Более того, на восток от рассматриваемого рудоконтролирующего нарушения отделился оперяющий его широтный разлом, получивший название Южного. Последний, следуя на восток, изгибается, от него в северо-восточном направлении отделяется серия оперяющих ветвей (пучок Западных разломов) и главный Северо-Восточный разлом. Восточный фланг Южного разлома также изгибается и расщепляется на пучок затухающих нарушений – Восточных разломов (рис. 2). Понятно, что все перечисленные разрывы представляют трещинные нарушения 3–4-го порядка. В результате их проявления сформировались два тектонических блока пластинчатой формы. Эти блоки, примыкающие друг к другу, вытягиваются на северо-восток и как бы «опираются» на Южный разлом. В свою очередь от них отделяются пучки многочисленных субширотных рудоносных разрывов, заключа-

ющих крупнейшие запасы руд и золота. Очевидно, подобные блоки, сравнительно с «соседними», могут считаться мобильными постройками.

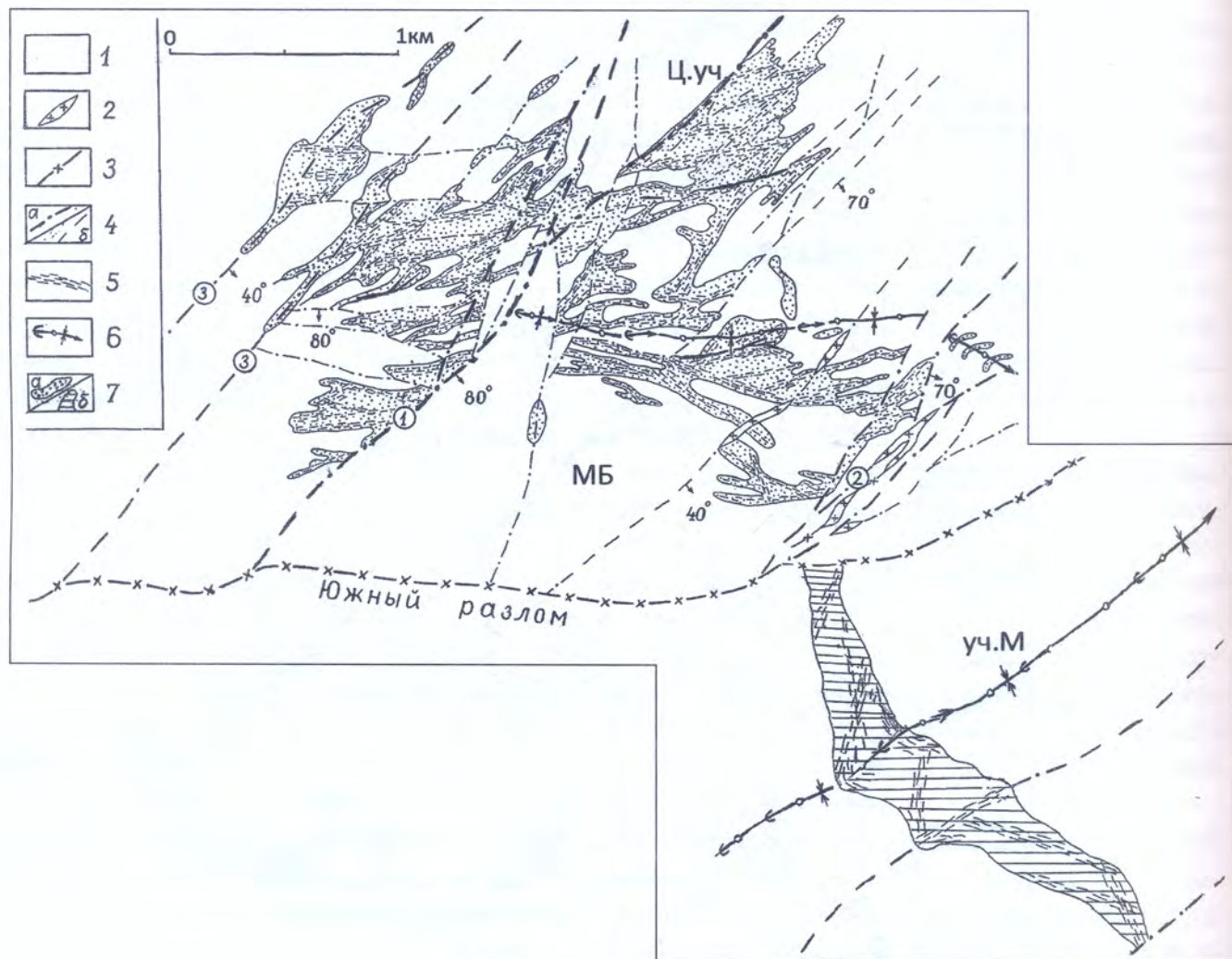
Рудоносный участок месторождения Мурунтау размещается в пределах осложненной названными разломами довольно пологой широтной синклинали. Она сложена мощной (Бесопанской) толщей алевролитовых и кварц-слюдисто-глинистых сланцев, местами углеродсодержащих. Датируются они ранним нижним палеозоем. Кое-где сланцы перемежаются с редкими прослойками тонкозернистых песчаников. Северное крыло складки погружается полого на юг под углом около  $15-25^\circ$ , южное, более крутое – на север под углом до  $35^\circ$  и более. На крыльях и в киле складки широко развиты трещинки кливажа слоистости, которые в процессе оруденения были также использованы золоторудными прожилками. В западном направлении складка центриклинально замыкается. Здесь слои алевролитов и сланцев всюду падают на юго-восток под углом от  $40$  до  $60^\circ$ .

На восточном фланге месторождения, в меньшей степени на других его участках, обнаружены сравнительно маломощные (метры – первые десятки метров) дайки сиенито-диоритовых порфиритов и единичных плагиогранит-порфиров. Последние также преимущественно имеют северо-восточное простирание. Очевидно, дайки свидетельствуют о достаточно раннем, додайковом заложении разрывов северо-восточного направления. Дайки, как и разрывные нарушения, наиболее широко развились исключительно к северу от Южного разлома. Скорее всего, они фиксируют, что северный тектонический блок представлял наиболее тектонически подвижное, мобильное образование. Золотое оруденение в этом блоке охватило участок, протяжённостью почти в 3 км, заключённый между пучком Западных разломов (на западе) и затухающими ветвями Южного разлома (на востоке).

Главное рудоконтролирующее и рудоносное значение на месторождении принадлежит расположенному в его центре Северо-Восточному разлому (рис. 2). Он круто ( $70-80^\circ$ ) падает на юго-восток. Разломы Западного пучка более пологие и погружаются на юго-восток под углом около  $35-40^\circ$ . Северо-Восточный и Западные разломы сопровождаются многочисленными попутными трещинными нарушениями-сателлитами аналогичной ориентировки (Некрасов, 1973). Сформировавшаяся структурная полоса субпараллельных разрывов, а также полосы послонных трещинок структурно «подготовили» участок к проявлению на нём оруденения. Действительно, оно сформировалось в пределах обоих мобильных тектонических блоков между серией названных разломов, вытягивающихся на северо-восток, между сопутствующих им разрывов и затухающих ветвей восточного фланга Южного разлома. Все эти нарушения оказались связанными между собой несколькими сближенными широкими полосами зон трещиноватости. Последние представлены многочисленными мелкими крутопадающими трещинами и трещинками субширотного направления (рис. 3). На протяжении примерно 3-х километров сформировалась субширотная система кулисообразно сменяющих друг друга рядовых разрывов – Центральная рудная зона. Она подчёркивается проявлением ряда четких и протяжённых (до 200–300 м), т. е. ведущих трещинных нарушений. Эти нарушения оказались залеченными золоторудно-кварцевыми жилами выполнения. Своеобразна морфология жил – они представлены субширотными раздувами, чередующимися со связывающими их воедино менее мощными перемычками восток – северо-восточного направления. Протяжённость жил (в плане и разрезе) в целом колеблется примерно от 100 до 250 м при мощности субширотных раздувов максимально до 5–6 м. Как правило, содержание золота увеличивается в зальбандах жил до десятков г/т. Возможно, они наращивались от образований одной продуктивной минеральной стадии к другой. Несомненно, что жилы в рудоносной системе трещин выполняли редкие ствольные разрывы-сколы (Бородаевский, 1960,



**Рис. 1.** Фрагмент Центрально-кызылкумского региона, иллюстрирующий пространственную связь крупнейших и крупных золоторудных месторождений исключительно с поперечными рудоконтролирующими разломами второго порядка. (Мезозойско-кайнозойские породы молодого осадочного чехла сняты). 1–5 – толщи палеозойских пород: 1 – вулканогенно-карбонатно-сланцевая (PZ<sub>1</sub><sup>1</sup>), 2 – песчанико-сланцевая (O–S), 3 – карбонатная (доломиты и известняки) и вулканогенно-кремнисто-карбонатная (D–C<sub>1</sub>), 4 – вулканогенно-олистостромово-флиш-идная (C<sub>2,3</sub>), 5 – молассоидная (C<sub>3</sub>–P<sub>1</sub>); 6 – интрузивы габбро-диорит-гранодиоритовой формации и формации биотитовых гранитов (PZ<sub>3</sub>); 7 – интрузивы тех же формаций, перекрытые чехлом молодых осадков; 8 – региональный Центрально-кызылкумский рудоконтролирующий разлом; 9 – поперечные рудоконтролирующие разломы (второго порядка); 10 – «следы» разломов в массивах гранитоидов; 11 – локальные разломы третьего–пятого порядков; 12 – межформационные сбросы; 13 – надвиги; 14 – золоторудные месторождения: а – крупные и крупнейшие: 1 – Кокпатас, 2 – гигантское Мурунтау, 3 – Даугыз, б – рядовые: 4 – Космоначи, 5 – Высоковольтное



**Рис. 2.** Схема размещения золотого оруденения на месторождении Мурунтау (поверхность и верхние горизонты). Обозначены: главный Центральный участок – Ц.уч., участок слепого оруденения Мютенбай – уч. М, мобильный тектонический блок, вмещающий главную часть запасов руд и золота – МБ. 1 – углеродсодержащие алевролиты и слюдисто-глинистые сланцы нижнего палеозоя; 2 – дорудные дайки сиенито-диоритовых и диоритовых порфиров, единичные дайки плагиогранит-порфиров позднего палеозоя; 3 – рудоконтролирующий разлом; 4 – локальные рудоконтролирующие разломы и зоны расщепления – а: главный Северо-Восточный, выделенный толстым штрих-пунктиром; в кружках: 1 – веер Северо-Восточных разломов, 2 – веер Восточных разломов, 3 – пологие Западные разломы; 4 – прочие дорудные разрывы: прослеженные – а, слабопроявленные – б; 5 – основные рудовмещающие зоны расщепления, образующие протяжённую систему многочисленных рудоносных трещин; б – килевая зона пологой синклинали и направление её погружения; 7 – рудные тела на центральном участке Мурунтау – а, то же – на участке Мютенбай – б

Петровская и др., 1961), которые оперяют Северо-Восточный разлом и его ветви-сателлиты. Предполагается, что образование рудовмещающих трещин-сколов происходило в результате проявления внутрирудных сдвиго-раздвигов правостороннего типа (Некрасов, Дудкин, 2012). Напрашивается представление, что они унаследовали зону разлома в породах допротерозойского фундамента. Ни блокообразующие разломы, ни их сателлиты или разрывы других любых направлений не сопровождаются подобными мощными золоторудными телами.

Рассматриваемая субширотная полоса разрывов заняла положение сколов, оперяющих разломы северо-восточного направления и сопутствующие им разрывы-сателлиты. Вдоль сформировавшихся субширотных зон расщепления, наряду с жилами, локализовались зоны вкрапленно-прожилкового и штокверкового золото-сульфидно-кварцевого оруденения. В результате месторождение Мурунтау представляет протяжённую (око-

до 3 км) субширотную трещинную систему, представленную множеством мелких и очень мелких рудоносных разрывов субширотного простирания (рис. 2). Таким образом, система протягивается полосой между пологими Западными и главным рудоконтролирующим Северо-Восточным разломом. Далее на восток–северо-восток она прослеживается от этого разлома до восточной фланговой полосы разветвляющихся нарушений. Скорее всего, они представляют затухающий фланг Южного рудоконтролирующего разлома (рис. 2). Образно говоря, субширотную оруденелую систему трещин можно представить наподобие раскрытой книги, «страницы» которой (трещины) наклонены в южные румбы. При этом «корешком», перегибом её выступает зона главного Северо-Восточного разлома, контролирующего размещение и одновременно вмещающего большую долю руд на месторождении. Западное (левое) «плечо» такой «книги» (рудоносной трещинной системы) между Западными и Северо-Восточным разломами обладает максимальной шириной – до 1 км и более. Здесь локализованы руды в нескольких сближенных субширотных зонах мелких трещин.

Северная часть западного отрезка рудоносной системы осложнена несколькими широкими рудными «заливами-апофизами». Они обладают шириной от десятков метров до 100 м и протягиваются на северо-восток и юго-запад вдоль полос нарушений-сателлитов Западных разломов.

Особенно интересно поведение изолированных субширотных полос мелких и мельчайших рудоносных трещин на крайнем юге рассматриваемой части рудоносной системы. Здесь, подтверждая наличие субширотных разрывов, *оперяющих* главный Северо-Восточный разлом, проявлено несколько их как бы разобщённых субширотных полос. Каждая из них отделяется от разлома и распространяется на 200–400 м от него на запад (рис. 2).

Восточное «плечо» рудоносной системы ориентировано по азимуту 280–285° и также расщеплено на несколько ветвей. Ширина их колеблется в пределах десятков метров. Лишь локально, в средней части системы, она возрастает до 200–300 м. Почти на всём своём протяжении система сопровождается боковыми пологими апофизами. Последние отчасти использовали упоминавшиеся выше трещины слоистости, которые проявились в пологом киле и южном крыле прослеживающейся здесь синклинали и подверглись оруденению (рис. 2).

Существенная, если не большая доля руд и запасов золота заключена в северной части рудоносной системы. Здесь оруденение связано с зонами трещиноватости Северо-Восточного разлома. Зоны развились вдоль висячего бока этого главного рудоконтролирующего нарушения. Протяжённость их в совокупности достигает почти 1 км при максимальной мощности до 0,5 км.

В пределах протяжённой рудоносной трещинной системы оруденение, будучи оконтурено по низким бортовым содержаниям золота (0, 8–1,0 г/т), морфологически представлено в ней несколькими скученными, сближенными, очень мощными (до нескольких сотен метров) штокообразными рудными телами широтного и северо-восточного направления. Они круто погружаются в южные и юго-восточные румбы. В среднем содержание золота в рудах штоков в вертикальном интервале около 150–350 м, считая от современной поверхности, сохраняется на уровне 2,5–3,7 г/т. Помимо достаточно редких рудных жил, доля которых в запасах золота мала, руды штокообразных тел сложены, главным образом, штокверковой сетью золото-пирит-арсенопирит-кварцевых и подчинённых шеелит-сульфидно-кварцевых прожилков. Мощность каждого из них – от волосовидных до первых миллиметров – нескольких сантиметров (рис. 3). Наряду с участками штокверкового строения наблюдаются более подчинённые зоны прожилков одного, преобладающего направления. Скученные, сближенные прожилки обычно сопровождаются «межпрожилковой» вкрапленностью



Рис. 3. Центральный участок месторождения Мурунтау.

Строение рудного штокверка (авторская зарисовка небольшого уступа карьера на горизонте около 120–150 м от поверхности, план). 1 – углеродистые слюдисто-глинистые сланцы; 2 – тектонические поверхности разрывов с глиной трения; 3 – рудные прожилки (мощностью от 0,3 до 2 см) и мелкие гнёздышки пирит-арсенопирит-кварцевого состава; 4 – участки «густой» сульфидной вкрапленности

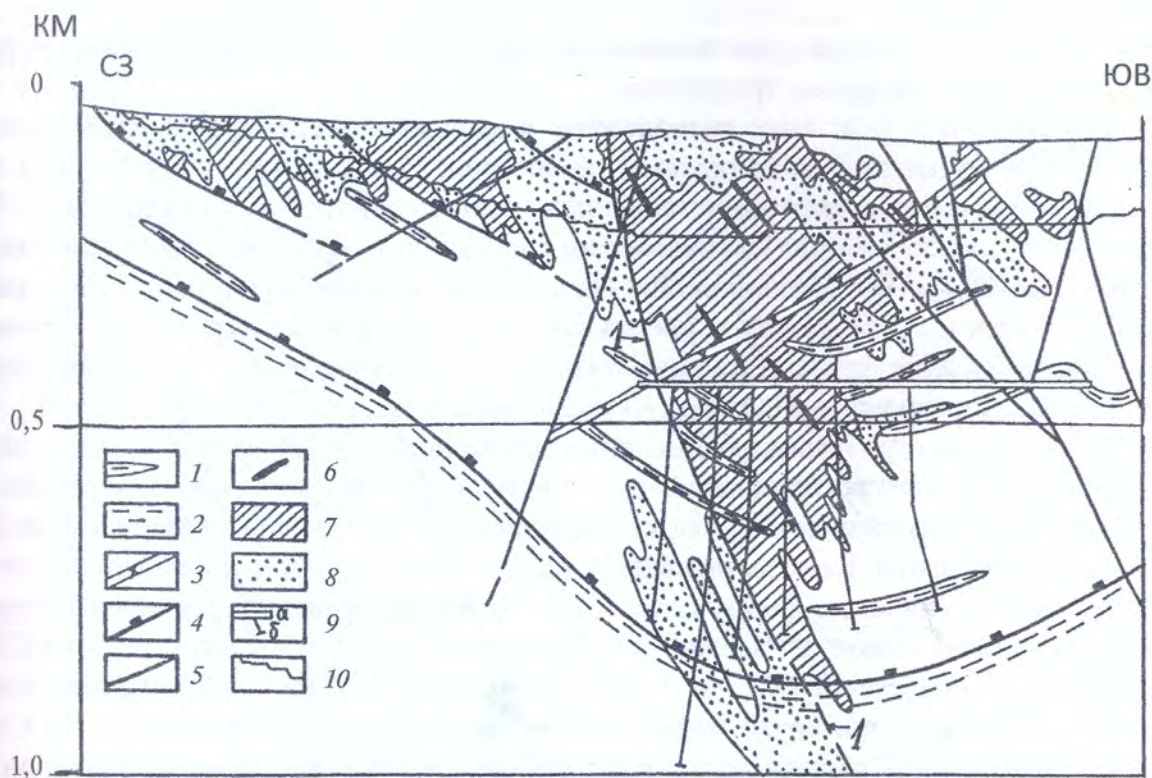
рудных минералов. В штокверковых рудах преобладают крутопадающие прожилки, ориентированные субширотно и в северо-восточном направлениях, местами проявлены прожилки, согласные со слоистостью и падающие чаще полого в северные румбы. Среди прожилков, преимущественно на пересечениях, обнаруживаются небольшие линзочки, желваки и «скрученные» прожилковые образования, видимо, залечивавшие мелкие и очень мелкие трещины в складках волочения. Они обычно примыкают к непротяженным тектоническим поверхностям и плоскостям скольжения (рис. 3). Местами среди кварц-пирит-арсенопиритовых прожилков и гнёзд встречаются полисульфидно-кварцевые с халькопиритом, блеклыми рудами, сфалеритом и другими минералами. Рудная вкрапленность, то «густая», то редкая, в основном представлена пиритом

и арсенопиритом. Золото преимущественно заключено в виде микропросечек в пирите и арсенопирите. Более крупные «видимые» комковатые включения, иногда до 1–3 мм, наблюдаются в кварце. Встречаются также более поздние кварц-серицитовые образования с диккидом, миаргиритом и электрумом. Время формирования руд  $286 \pm 2$  млн. лет.

Все описанные рудные образования распространены в пределах калишпат-кварцевых метасоматитов, постепенно сменяющихся в боковых зонах и на флангах рудных тел флогопит-калишпат-карбонатно-кварцевыми и затем флогопит-кварцевыми метасоматитами.

Чрезвычайно примечательно поведение субширотной рудоносной системы с глубиной. Оказывается, что полосы субширотных сколов, оперяющих разломы северо-восточного простирания и сопутствующие им нарушения-сателлиты, распространены лишь до глубины 300–400 м от современной поверхности. Таким образом, они возникали только в верхней части разломов и их сателлитов. Очевидно, до указанных глубин мелкие оперяющие сколы в продольном направлении образовывались только вблизи (в области «влияния») косоориентированных разломов и разрывов (северо-восточного простирания). По удалении от них нижняя граница проявления сколов, особенно в западном «плече» месторождения, всё более поднимается к его флангу, достигая уровня примерно 100 м от поверхности. Здесь, видимо, большая часть зоны оперяющих сколов возникала, протягиваясь вверх по восстанию от полого погружающихся поверхностей Западных разломов (рис. 4). На восточном «плече» месторождения, вдоль южной границы рудоносной субширотной полосы оруденелых сколов, нижний уровень проявления оперяющих трещин определяется отметками около 300 м от современной поверхности.

Штокообразные рудные тела северо-восточного направления, связанные с трещиноватыми зонами разломов и сопутствующих разрывов-сателлитов, протягиваются на большую глубину. Оруденение с глубиной как бы стягивается к зоне главного Северо-Восточного разлома, который становится основной рудовмещающей структурой (рис. 4). Здесь, вдоль со-



**Рис. 4.** Разрез через центральную часть месторождения Мурунтау (по А.И. Образцову). 1 – алевролиты с прослоями глинистых сланцев; 2 – глинистые серицит-кварцевые сланцы с реликтами обломочных пород; 3 – дайка плагиопорфиров; 4 – надвиги и внутриформационные срывы; 5 – локальные рудоконтролирующие (и рудовмещающие) разломы, в том числе – Северо-Восточный, обозначенный цифрой 1; 6 – стержневые золоторудные кварцевые жилы; 7 – сравнительно богатые руды (со средним содержанием золота 2,8–3,7 г/т); 8 – бедные руды (с содержанием золота ниже 2,6–2,8 г/т); 9 – подземные горные выработки – а и скважины – б; 10 – контуры карьера (конец 1980-х – начало 1990-х гг.)

путствующей зоны разрывов-сателлитов и трещиноватости, вдоль всякого бока разлома сравнительно богатые руды распространяются на глубину до 1 км. Однако глубже, с уровня около 350–400 м, среднее содержание золота снижается с 3,7 г/т до 2,6–2,8 г/т, а на глубинах примерно 800–900 м эти сравнительно богатые руды вообще исчезают. Оруденение сохраняется в лежащем боку Северо-Восточного разлома, где содержание золота в рудах оказалось менее 2,6 г/т (рис. 4). Скважинами оруденение обнаруживается на глубинах до 2 км.

Ещё более наглядно ведущая роль трещинных элементов структуры в строении протяженных и широких рудоносных систем многочисленных рядовых разрывов выступает на отечественном **Наталкинском** месторождении. Оно начало разрабатываться выборочно как месторождение сравнительно богатых жильных и прожилковых руд с конца 1940-х гг. прошлого века. Ежегодно извлекалось от 1 до 2 т благородного металла. Вместе с тем, было обнаружено, что жильно-прожилковые руды с содержанием золота около 10 г/т сопровождаются золото-сульфидно-кварцевыми метасоматитами с содержанием благородного металла от 1 до 3 г/т и даже выше. В 2004–2006 гг. месторождение было доразведано бурением. За счет вовлечения в контур рудных тел сопровождающих их метасоматитов запасы золота выросли во много раз, до 1840 т.

В период доразведки было пробурено несколько сотен скважин. Однако трещинный рисунок рудоносной структуры авторам удалось расшифровать, только используя геологические планы трех штольневых горизонтов, приведенных в хорошо аргументированной работе В.П. Плутешко и др. (1988). Сведения по «точечным уколам» скважин лишь в обобщенном виде показали поведение оруденения с глубиной, лишь частично отразив взаимо-

отношения серий рудовмещающих трещинных нарушений с осложняющими их дорудными разрывами и послерудными трещинами.

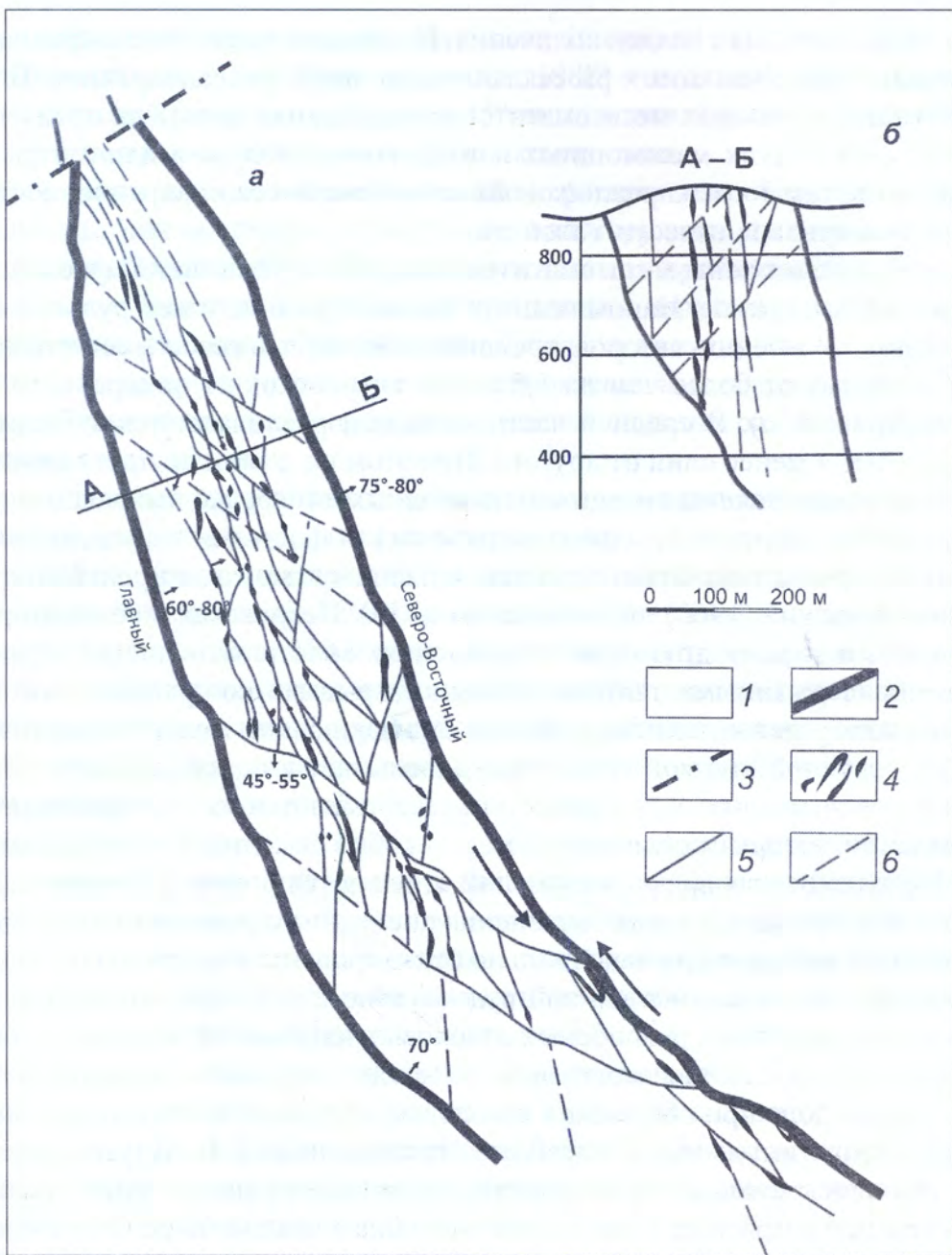
Наталкинское месторождение расположено в западной части Магаданской области, в пределах Колымо-Чукотской золоторудной провинции. Размещается оно в мощной толще углеродсодержащих песчанико-глинистосланцевых пород нижнепермского возраста. Наряду с другими геологическими образованиями они слагают юго-западное крыло протяженного (до 200 км) Аян-Юряхского антиклинория. На всем протяжении крыло осложнено продольной зоной сближенных нарушений регионального Тенькинского разлома. Они контролируют в регионе размещение не только Наталкинское, но и крупнейшего месторождения Дегдекан, а также рядовых месторождений Омчак, Игуменовское и многих золотопроявлений.

Наталкинское месторождение размещается примерно в средней части активной тектонической зоны упомянутого регионального рудоконтролирующего разлома. Приурочено оно к узкому мобильному тектоническому блоку шириной всего 0,3 км в его северной и до 0,8 км и более – в южной части. Блок вытягивается на 4–5 км с север–северо-запада на юг–юго-восток и имеет пластинчатую форму (рис. 5, а). Он заключен между двумя маломощными разломами дорудного возраста – Главным (ограничивающим блок с юго-запада) и Северо-Восточным (с северо-востока). Оба нарушения – сателлиты Тенькинской зоны разломов 3-го или даже 4-го порядка. Они круто падают на северо-восток. При выдержанности Северо-Восточного нарушения, Главный разлом в интервале глубин 300–400 м от современной поверхности довольно быстро выполаживается с  $70^\circ$  до  $45\text{--}40^\circ$ , а местами  $30^\circ$  (Золоторуд. мест. России, 2010, рис. 87, 88). Есть все основания полагать, что на глубине около 700–750 м от современной поверхности он сочленяется с Северо-Восточным разломом и, таким образом, как бы сокращает объём рудовмещающих пород на глубине (рис. 5, б). Тем самым существенно снижается перспективность продолжения оруденения на большую глубину.

Основное промышленное значение на месторождении имеет единая рудная зона. Она начинается в северной части пластинчатого мобильного блока, висячем боку Главного разлома, выступающим локальным рудоконтролирующим нарушением. Рудная зона чётко приурочена к протяженной полосе оперяющих сколов, отделяющихся пучком вверх по восстанию от поверхности Главного разлома (рис. 5, б). Зона дробления разлома и его шов не подверглись оруденению, возможно, в связи с проявлением довольно обильной хлоритизированной тектонической глинки трения дорудного возраста (Плутешко и др., 1988). Зона оруденелых сколовых нарушений прослеживается почти параллельно разлому. Это свидетельствует о формировании оруденения, скорее всего, в процессе преимущественно вертикальных, возможно, взбросовых внутрирудных перемещений вдоль разлома.

Приводимая схема рудоносной трещинной структуры Наталкинского месторождения (рис. 5, а) исходит из представлений о том, что поля и боковые зоны, полосы слабо золотоносных метасоматитов фиксируют в своей средней части трещинные каналы, в стороны от которых «разрастались», распространялись рудоносные метасоматиты. Наиболее приоткрытые интервалы этих трещинных каналов, естественно, залечивались обогащенными золотом непротяженными жилами, гнёздами, линзами и прочими скоплениями прожилковых руд, а также и другими сульфидно-кварцевыми образованиями массивного облика.

Трещинные нарушения, показанные на схеме месторождения (рис. 5), сопровождаются боковыми зонами слабозолотоносных сульфиднокварцевых метасоматитов. При сближении, сосредоточении разрывов сопровождающие их метасоматиты как бы сливаются в обширное, единое поле. Золоторудные жилы и зоны прожилков, залечивающие трещинные каналы в середине такого поля, обладают мощностью до 0,5–2 м при обычной протяжен-



**Рис. 5. Структурная схема северной и центральной части Наталкинского месторождения:** *a* – размещение стержневых золоторудных жил массивных кварцевых руд, а также линз, гнезд и прожилковых руд по В.П. Плутешко и др. (1988, рис. 49), отображенных на геологическом плане третьего штольнего горизонта месторождения (в 85–100 м от поверхности), *б* – поперечный разрез месторождения, свидетельствующий об отделении пучка оперяющих рудоносных разрывов вверх по восстанию от шва Главного разлома. 1 – рудоносная песчанико-сланцевая толща ( $P_{1,2}$ ); 2 – блокообразующие локальные рудоконтролирующие разломы; 3 – разлом Геологический; 4 – золоторудные стержневые жилы, а также гнезда и линзы, сложенные массивными и прожилковыми рудами; 5 – рудоносные трещинные нарушения и дорудные сдвиги; 6 – то же, предполагаемые

ности в несколько десятков метров (максимально – до 200 м). Жилы и прожилки имеют сульфиднокварцевый состав, с пиритом и преобладающим золотосодержащим арсенопиритом, а также редкими галенитом и сфалеритом, изредка с видимыми золотниками до 1–3 мм. Содержание золота в жилах максимально достигает первых десятков г/т. Кроме жил, повышенные концентрации золота связаны с обособлением «перекрученных», как бы «вихревых» скоплений рудных прожилков, а также линз и гнезд сульфиднокварцевого состава. Они напоминают изогнутые прожилковые образования, развивающиеся в трещинах

отслаивания приразломных складок волочения. Последние возникают в сравнительно пластичных породах, примыкающих к рассекающим их зонам расщепления. В полосах боковых существенно кварцевых метасоматитов концентрация золота не превышает 1–3 г/т, видимо, как за счет редких маломощных и тончайших (обычно миллиметры и доли их) рудных прожилков, так и «межпрожилковой» метасоматической вкрапленности золотосодержащих арсенопирита и, отчасти, галенита.

Трещинное строение зоны метасоматитов (или, как её называет Плутешко и др., 1988, «зоны тектонитов»), сложное. Напомним, что преобладающие в ней рудоносные нарушения представляют, по мнению авторов, трещинные «каналы» север – северо-западного направления. Они следуют более чем на 1,5 км на юго-восток от поперечного (Геологического) разлома (рис. 5, а). В средней части зоны они располагаются субпараллельно на расстоянии 15–30 м и менее один от другого. При этом на довольно протяженных интервалах эти разрывы представлены сравнительно мощными (нередко выходящими за пределы прослеживающих их штрековых горных выработок) стволовыми нарушениями и жилами. Напомним, что разрывы подобного типа ещё в пятидесятые годы прошлого столетия выделял Н.И. Бородаевский (1960) на Кочкарском и Н.В. Петровская и её соавторы (1961) на Балей-Тасеевском и многих других месторождениях золота. Стволовые нарушения являются наиболее выдержанными тектоническими разрывами со сравнительно мощной зоной дробления или расщепления. Обычно она заключена между тектоническими поверхностями с дорудной глиной трения или примыкает к одной из таких поверхностей. Как правило, на протяжённых интервалах они разветвляются на субпараллельные и вновь сливающиеся ветви, которые соединяются между собой дополнительными диагональными трещинами. Нередко от стволовых нарушений отделяются боковые, оперяющие их протяжённые сколы. Как правило, в узлах сочленения последних с рудоносными стволовыми нарушениями вмещающие породы максимально брекчированы и залечены богатыми рудами.

В поперечном направлении в единой рудной зоне Наталкинского месторождения насчитывается до 4–8 подобных рудоносных стволовых нарушений. Каждое из них сопровождается боковой зоной слабозолотоносных сульфиднокварцевых метасоматитов, которые сливаются в единое поле при сближении стволовых нарушений. Только на погоризонтных геологических планах штольневых выработок, приведенных В.П. Плутешко и его соавторами (1988), оказалось возможным установить, что в южном направлении число стволовых разрывов постепенно возрастает. Соответственно, общая мощность сплошного поля метасоматитов увеличивается примерно с 80 м на северном фланге месторождения до 250–400 м в его центре (Золоторуд. мест. России, 2010). Дело в том, что поле слабозолотоносных метасоматитов с расположенными в нём более богатыми жильными и прожилковыми рудными образованиями осложнено, по крайней мере, двумя наиболее протяжёнными и дорудно смещающими его полосами разрывов северо-западного простирания. Они погружаются на юго-запад под углом от 45 до 55°. Выделенные сместители также сопровождаются «своими» боковыми слабозолотоносными метасоматитами, а местами и рудными жильными проявлениями (рис. 5, а). Участки поля метасоматитов, заключенные между сместителями, сдвинуты левосторонне в плане на 20–30 м, а иногда и до 100 м, что необходимо учитывать при карьерной отработке руд. Скорее всего, эти участки были смещены в виде «сухих» неминерализованных трещин, т. е. ещё до процесса их оруденения и появления метасоматитов.

В южных отрезках поля метасоматитов, развитого между сместителями, количество стволовых нарушений (трещинных «каналов») основного север – северо-западного направления существенно возрастает. В средней части месторождения их насчитывается

10–11, чем и объясняется увеличение мощности (ширины) поля метасоматитов. Ранние исследователи месторождения (Плутешко и др., 1988) считали также, что направление погружения сместителей (преимущественно  $45^\circ$  на юго-запад) может объяснять выявленное склонение тел богатых руд жильного и прожилкового типа.

В средней части поля метасоматитов жилы редки и преобладают развитые только местами короткие линзы, гнёзда и скопления золоторудных прожилков. Жилы (напомним, чаще протяженностью 50–100 м) обнаруживаются преимущественно на периферии рудной зоны. Здесь некоторые стволые трещинные нарушения протягиваются в субмеридиональном направлении. Обычно это наблюдается между двумя дорудными сместителями. Очевидно, во время оруденения субмеридиональные разрывы оказались наиболее приоткрытыми (свидетельствуя о проявлении вдоль основных разрывов правосторонних в плане внутрирудных сдвигов).

При доразведке месторождения отчётливо выявилась вертикальная зональность, свидетельствующая об изменении морфологии золоторудных тел (Голубев, 2008). Оказалось, что в верхней части месторождения действительно развито поле метасоматитов с преобладающими в его середине прожилково-вкрапленными зонами и стволыми жилами мощностью от 0,5 до 2 м. На глубине около 250 м ниже поверхности и глубже среди метасоматитов преобладают уже штокверковые зоны с нитевидными золоторудными сульфидно-кварцевыми и кварцевыми прожилками, а также оруденелые зоны дробления, окварцевания и тонкая сульфидная вкрапленность с золотосодержащими арсенопиритом и пиритом.

Кратко коснёмся юго-восточной части месторождения. Здесь размещается Вторая золоторудная зона (Северо-Восточная). Она также сопровождается слабозолотоносными метасоматитами. Скорее всего, они приурочены к южному флангу аналогично названного другого блокообразующего разлома (рис. 5, а, юго-восточная часть). Здесь разлом, который выдержанно продолжается в юго-восточном направлении, видимо, также оказался доступным для рудоносных растворов и флюидов и подвергся оруденению. Золоторудная зона и сопровождающие её метасоматиты локализируются в лежащем боку разлома, где сопутствующие ему трещинные нарушения преимущественно использовали контакты даек спессартитов. На южном фланге месторождения проявлена целая серия даек спессартитов, диоритовых порфиритов и изредка встречаемых микродиоритов. Здесь зальбанды некоторых даек оказались нарушенными контактовыми разрывами, а также тектоническими поверхностями Северо-Восточного разлома. Брекчированные контакты даек подверглись оруденению. Оруденение и сопровождающие его слабозолотоносные метасоматиты сплошным полем распространились не менее чем на 100–200 м на юго-запад под поверхностью швов лежащего бока разлома. Далее разлом, стволые нарушения с богатыми рудами и поле метасоматитов, постепенно уменьшаясь по мощности, распространяются в юго-восточном направлении вдоль Северо-Восточного разлома примерно ещё на 2 км (Золоторуд. месторождения. России, 2010).

Таким образом, Наталкинское месторождение продемонстрировало локализацию сравнительно богатого оруденения в зоне стволых трещинных нарушений, а также развитие и рост сопровождающих слабозолотоносных метасоматитов вдоль сближающихся, стягивающихся разрывов. С последними обычно связаны многочисленные мелкие, оперяющие их сколы. Наглядно объясняется также распространение поля метасоматитов со сравнительно редкими и маломощными жильными, прожилковыми и линзообразными телами богатых руд в протяженном (до 4 км) узком продольном тектоническом блоке. Блок заключён между двумя рудоконтролирующими разломами. Наталкинское месторождение – один из наиболее ярких примеров проявления оруденения в протяженной и широкой трещинной системе

многочисленных рядовых разрывов. Как и на многих других месторождениях, они локально ограничиваются дорудными сместителями, непрерывно сменяющими друг друга в плане и на глубине. Это обуславливает непрерывность оруденения по латерали и его достаточно значительный вертикальный размах. Вовлечение в разведку слабозолотоносных метасоматитов, оконтуривание рудных тел по очень низким бортовым содержаниям золота (на Наталкинском месторождении – 0,4 г/т), выделение сплошных рудных тел штокообразного типа километровой протяженности и большой мощности (сотни метров) привело к росту начальных запасов в разы, составивших почти 1850 т золота со средним содержанием его 1,6 г/т.

## КОММЕНТАРИЙ

Бытует представление, особенно поддерживаемое узбекскими геологами, о том, что высокая плотность золотоносных сульфидно-кварцевых прожилков в Центральной рудной зоне месторождения Мурунтау и, особенно, в узле ответвления её от рудоконтролирующего Северо-Восточного разлома, обусловлено приоткрыванием согласных со слоистостью изогнутых пластовых полостей в пологом киле Мурунтауской синклинали (см. рис. 2). Считается, что подобные рудоносные складчатые нарушения развились в период оруденения. Однако автор, несколько сезонов картировавший золоторудные зоны месторождения, пришёл к другим выводам. Скорее всего, зоны складкообразных золотоносных прожилков, а местами и мало-мощных жил, пространственно связаны с секущими дорудными разрывами. Прожилки образуют полосы, примыкающие к протягивающимся в пределах Центральной зоны секущим разрывам на десятки метров. При этом в полосах прожилков они имеют размах, составляющий от киля до свода следующей «складочки» не более десятков сантиметров – реже, первых метров. Таким образом, масштабные рудовмещающие складчатые нарушения на Мурунтау отсутствуют. В подтверждение такого вывода автор отсылает читателей к следующей статье Сборника, в которой рассматриваются условия локализации свинцово-цинкового оруденения Какадур-Ханикомского месторождения, картировавшегося в своё время автором. Дело в том, что указанное свинцово-цинковое оруденение, также как и золотое на Мурунтау, размещается в мощной песчаниково-глинистосланцевой толще, но другого возраста – ааленского.

Какадур-Ханикомское месторождение локализовано на восточном фланге Садонского свинцово-цинкового пояса (в складчатых структурах Северного Кавказа). Картируя на месторождении рудную зону, автор обнаружил в пределах дорудных поперечных разрывов проявленную между ними приразломную складку с размахом её от киля до свода 30–40 м (см. следующую статью из журнала Известия АН СССР, серия геологическая, 1967. № 7. стр. 67–82). В пределах складки оказался проявленным изгиб складчато-разрывного нарушения и приуроченной к нему полосы наиболее чётких согласных прожилков галенит-сфалерит-кварцевого состава. Наряду с прожилками в перегибе локализовалась мощная жила, которая быстро выклинилась. Многие прожилки имеют типичную зигзагообразную форму, свидетельствующую о том, что она приобретена в связи с перемещением пластичной породы вдоль поперечных и продольных разрывов. Полоса прожилков исчезает по мере затухания разрывов, к которым она приурочена.

Возвращаясь к Мурунтау, следует отметить, что и здесь прожилки чаще обладают зигзагообразной формой и прослеживаются полосами, примыкая к субширотным разрывам Центральной рудной зоны. Скорее всего, и сама мощная Центральная зона возникла, унаследовав трещинное нарушение допротерозойского фундамента.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРНЫХ УСЛОВИЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ СВИНЦОВО-ЦИНКОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ДЕФОРМИРОВАННЫХ ПЛАСТИЧНЫХ ТОЛЩАХ

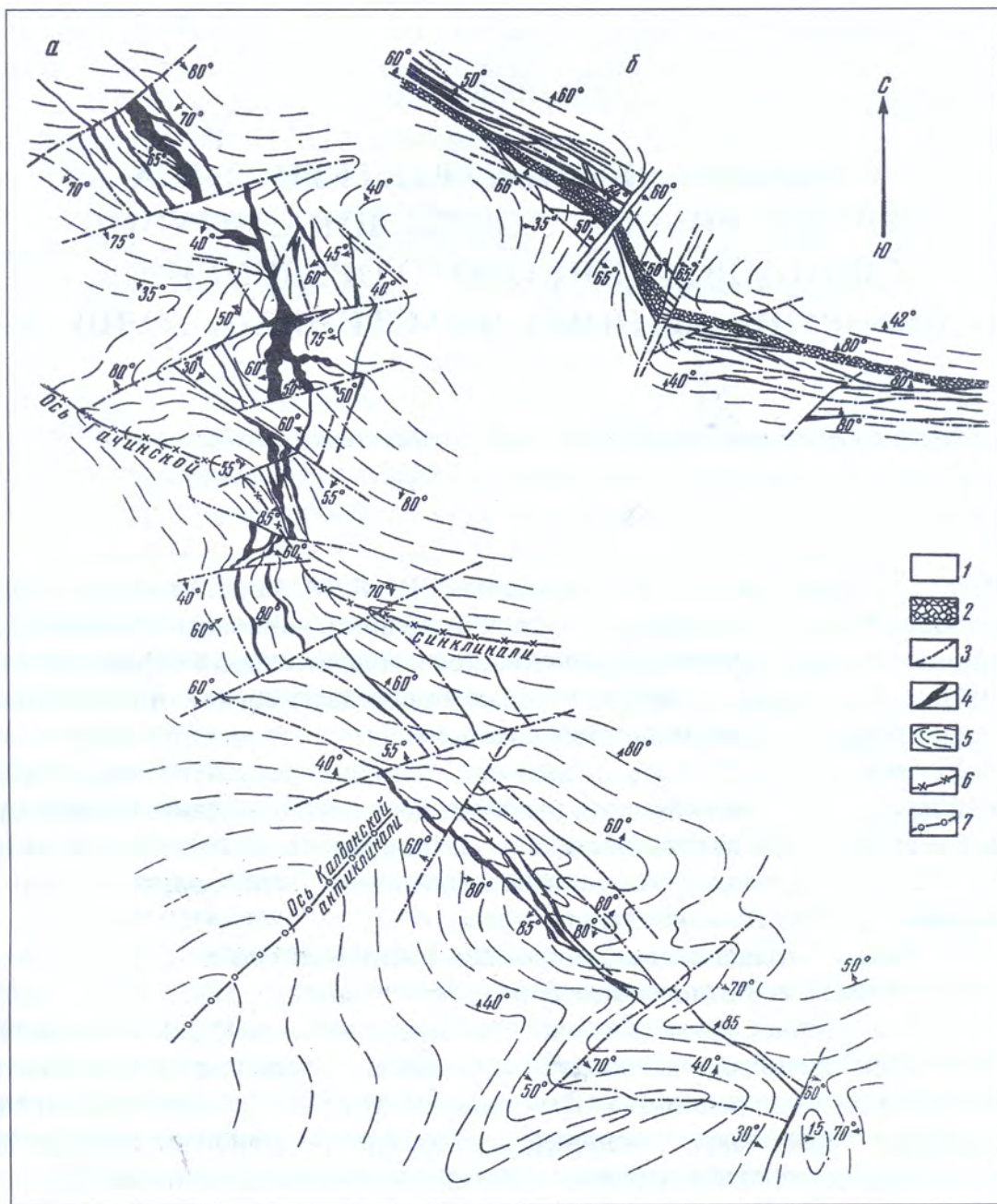
*(Известия Академии Наук СССР, серия геологическая. 1967. № 7. С. 67–82.  
Фрагмент статьи).*

Из работ Г. Д. Ажгирея (1), М. С. Баклакова (3), М. М. Константинова (18), а также автора настоящей статьи (20) хорошо известно, что в восточной части Садонского рудного пояса свинцово-цинковое оруденение размещается исключительно в образованиях верхнего яруса геосинклинального структурного этажа, представленного мощной, видимо, более чем двухкилометровой толщей глинистых сланцев и алевролитов верхнетоярского, ааленского и байосского возраста. Лишь кое-где в ядрах мелких брахиантиклиналей обнажаются песчаники домера, являющиеся здесь наиболее древними породами. Судя по строению центральной и западной частей пояса, эти образования, вместе с подстилающими их эффузивами плинсбаха, по-видимому, залегают на гранитах  $Pz_{2-3}$ , слагающих на значительных глубинах нижний ярус геосинклинального этажа.

Песчано-сланцевая толща слагает широтный Гачинский грабен-синклинальный прогиб. Центральная часть его отделена от бортов продольными разломами: с севера – Далагкауским, с юга – серией ветвей Садоно-Унальского разлома. Основное складчатое сооружение прогиба – продольная Гачинская синклиналь – расположена в его центральной части. Крылья складки со средними углами падения от  $25$  до  $45^\circ$  осложнены рядом продольных и диагональных складок меньшей протяженности. Наиболее сложное строение грабен-синклинального прогиба наблюдается в средней части синклинали. Здесь, на южном крыле складки, развились дополнительные Калдонская антиклиналь северо-восточного простирания, а несколько восточнее – Худыр-Джидонская антиклиналь северо-западного направления. Первая ближе всего подходит к ядерной части Гачинской синклинали, периклинально замыкается и осложняет ее шарнир, вытянутый на коротком интервале в поперечном северо-западном направлении.

Дополнительные складки, в свою очередь, осложнены флексурами и коробчатыми перегибами слоев. Они проявились на периклинальных замыканиях складок, изгибах их шарниров и особенно в местах перехода дополнительных складок в главные.

Отсутствие поперечных складок в шарнире Гачинской синклинали свидетельствует о ее более раннем заложении и формировании. Видимо, образование грабен-синклинального прогиба проходило последовательные стадии от возникновения крупных складчатых форм к более мелким. При этом формирование складчатых нарушений постепенно все в большей степени сменялось трещинообразованием. Об этом свидетельствуют разрывные нарушения, занимающие положение осевых плоскостей на перегибах наиболее сжатых флек-



**Рис. 1.** Структурные схемы Какадур-Ханикомского (а) и Кадатского (б) месторождений.

Показана приуроченность месторождений к участкам развития дополнительных складок, флексур и перегибов пород. Отчетливо видно блоковое строение месторождений и локализация наиболее мощных рудных тел вдоль разрывов, согласных или субсогласных со слоистостью, а также занимающих положение осевых плоскостей в складках. План: 1 – глинистые сланцы; 2 – дорудные зоны дробления; 3 – дорудные разрывы; 4 – рудные жилы и прожилки; 5 – направление слоистости; 6 – оси синклиналей; 7 – оси антиклиналей

сур и мелких складок, иногда приобретающих клиновидную форму. Коробчатые складки с шириной замков от нескольких десятков до 200 м, как правило, имеют пологие своды и крутопадающие крылья (рис. 1, а). Наклон их определяется согласными послыными зонами дробления, сопровождаемыми крутопадающими складками волочения. В шарнирах их удалось наблюдать кварц-сульфидные линзочки, а на крутопадающих крыльях коробчатых складок – послыные апофизы, выполаживающиеся по мере удаления от разрывов. Это совершенно отчетливо свидетельствует о возникновении некоторых мелких складчатых элементов структуры параллельно с разрывными нарушениями и даже вслед за ними (рис. 2).



Рис. 2. Схема последовательности процессов тектоники и минералообразования в Гачинском грабен-синклинальном прогибе

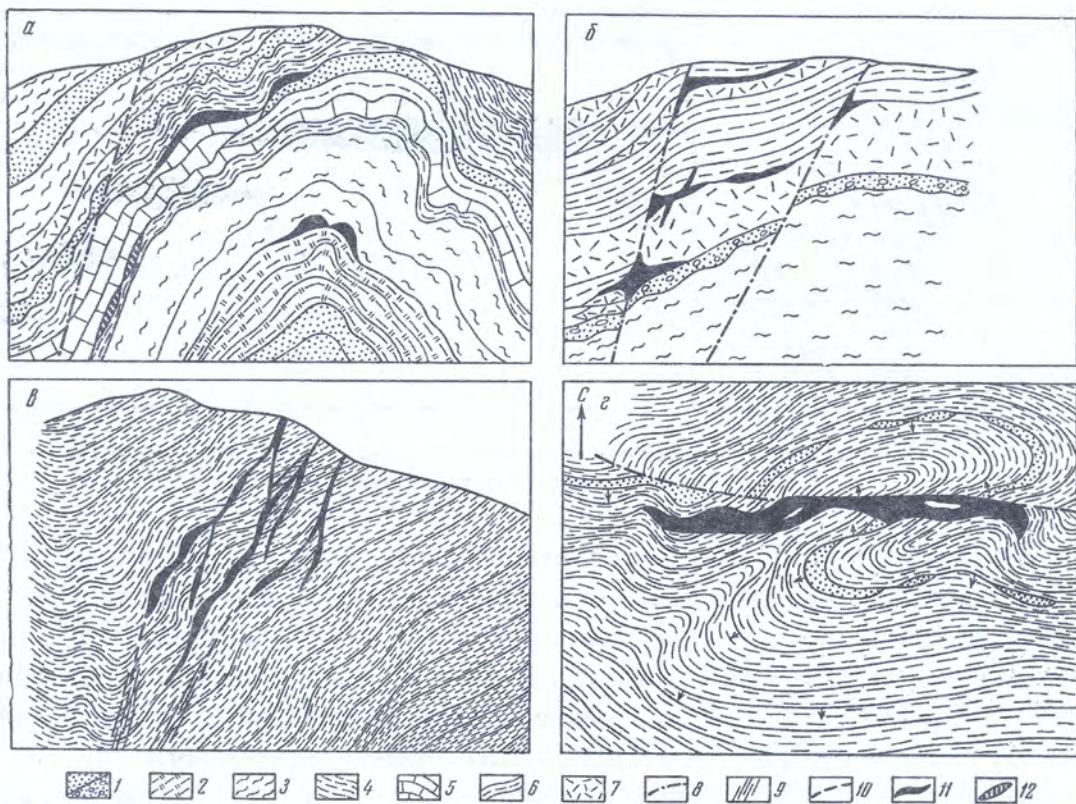
При детальном изучении дополнительных складок, а также флексур выявилось, что мощность прослоев глинистых сланцев и алевролитов в их ядерных частях значительно увеличивается по сравнению с мощностью на крыльях. Сланцы гофрированы, причем радиус кривизны еще более мелких складчатых форм оказывается равным десяткам сантиметров – первым метрам. Общая крутизна наклона слоев возрастает до  $80^\circ$  (рис. 1, а). В ряде случаев крылья складок смыкаются и ядра их оказываются пережатыми.

Очевидно, в процессе складчатости происходило нагнетание вещества глинистых сланцев в шарниры дополнительных складок, изогнутые участки флексур, а также в крутопадающие крылья коробчатых грабен-синклинальных и горст-антиклинальных складок. К таким участкам, характеризующимся нагнетанием вещества в процессе складкообразования, в восточной части Садонского рудного пояса тяготеет свинцово-цинковое оруденение. При этом в зоне субпараллельных разрывных нарушений, вытянутой на десятки километров, выделяется ряд кулисообразно расположенных звеньев, минерализованных в различной степени. Протяженность их достигает 1–3 км. Звенья разобщены дорудными разрывами северо-восточного простирания.

Описанная рудная зона, в целом простирающаяся на запад–северо-запад, косо пересекает центральную часть Гачинского грабен-синклинального прогиба. Здесь прослеживается так называемое Ханикомское звено рудной зоны. Как показали наши исследования (20), рудная зона приспособляется к простиранию слоистости и следует вдоль изгиба ядерной части Гачинской синклинали, вытянутого в север–северо-западном направлении. Затем она пересекает синклиналь и огибает периклинальные замыкания осложняющих ее дополнительных антиклиналей второго порядка. Во всех этих участках зона проникает в область развития пережатых мелких складчатых форм, где помимо секущих сформировались согласные рудоносные трещины, а также разрывы, использовавшие осевые плоскости в дополнительных складках (рис. 1, а).

Ханикомское звено рудной зоны подвергалось значительно более интенсивной минерализации по сравнению с секущими западным – Авсандурским и восточным – Какадурским ее участками. Последние располагаются вдоль сравнительно спокойно падающих крыльев Гачинской синклинали на значительном удалении от ее ядерной части.

Ханикомское звено рудной зоны расчленено на отдельные тектонические блоки короткими дорудными разрывами северо-восточного и субмеридионального простирания. С каждым из них связано различное количество рудных жил, а также зон прожилкового и штокверкового оруденения. Наибольшей мощности достигают рудные тела, имеющие



**Рис. 3.** Принципиальные схемы, отображающие структурно-морфологические типы свинцово-цинковых месторождений, залегающих в складчатых толщах пластичных пород, в различной степени испытавших пластическое течение в процессе складчатости.

*а* – пластовые месторождения: подтипы пластовых и седловидных залежей массивных и полосчатых руд на крыльях S-образных перегибов и складок, а также в их замках; подтип согласных зон с убогой вкрапленной минерализацией в моноклинально залегающих пачках пород. Разрез: *б* – месторождения с комбинированной секуще-пластовой формой рудных тел, приуроченные к приразломным складчато-разрывным нарушениям; *в* – наложенные на складки секущие зоны жильного, штокеркового и прожилково-вкрапленного оруденения, переходящее в согласные в шарнирах дополнительных складчатых нарушений; *г* – секущие залежи существенно сульфидных руд вдоль крупных разрывных нарушений, наложенных на складчатые толщи, осложненные флексурами. План: 1 – песчаники и конгломераты; 2 – углисто-кремнистые сланцы; 3 – кварц-хлорит-серицитовые сланцы; 4 – филлиитоидные и глинистые сланцы; 5 – известняки и доломиты; 6 – известковоглинистые сланцы; 7 – лавы и пирокласты среднекислого состава; 8 – рудоподводящие разломы; 9 – рудоподводящие зоны рассланцевания; 10 – слаборудоносные трещины; 11 – рудные тела с массивными и полосчатыми рудами; 12 – зоны убогой вкрапленной минерализации

согласное или близкое к нему простирание. Однако широкое развитие в них брекчии сланцев, повсеместно встречающиеся пережимы оруденелых зон дробления и сопровождающие их апофизы, свидетельствуют о том, что в сланцах не возникали открытые полости отслаивания.

Как удалось установить М. М. Константинову, автору и другим исследователям, ранний кварц, содержащий пирит и арсенопирит, резко преобладает в рудах над позднее накладывающимися галенитом, сфалеритом, небольшими количествами пирита, халькопирита, марказита, клейофана. Все эти минералы возникли в процессе выполнения трещинных полостей. При этом формирование кровли рудных тел и некоторых рудовмещающих складок происходило на глубине, несколько превышающей 0,5 км от доминерализационной поверхности. Вертикальный размах промышленного оруденения небольшой и достигает нескольких сот метров. С глубиной жилы сменяются маломощными прожилками в связи с переходом разрывов в зоны рассланцевания, приуроченные к осевым плоскостям в продольных флексурах (рис. 3, в).

## Заключение

1. В относительно крупном масштабе свинцово-цинковое оруденение проявляется только в тех участках рудных районов, которые подверглись наиболее интенсивной складчатости. Последняя сопровождается пластическим течением материала и нагнетанием его в шарниры дополнительных складок и перегибы слоев. Такое нагнетание вещества в одних случаях вызывается складкообразовательными процессами, а в других – интенсивными перемещениями вдоль крупных дизъюнктивных нарушений.

2. В наиболее дислоцированных участках формируются складчатые сооружения сложной формы. Отличительной чертой их является непрерывное осложнение более крупных складчатых сооружений все более мелкими.

3. Свинцово-цинковые месторождения, залегающие в складчатых толщах, формируются в различных структурных ярусах геосинклинального этажа. Сопоставление их черт заставляет прийти к выводу, что в нижнем структурном ярусе при унаследовании ранее образовавшихся здесь согласных нарушений оруденение, как правило, проявляется в сравнительно крупном масштабе.

В верхнем структурном ярусе интенсивность оруденения, локализующегося в основном вдоль секущих трещин, зависит от ряда факторов. Наиболее благоприятны для локализации оруденения: длительная подготовка рудовмещающих полостей, их большая протяженность.

## Литература

1. Ажгирей Г. Д. Участие древнего кристаллического основания в альпийской складчатости Центрального Кавказа. Бюл. Моск. о-ва испыт. природы. Отд. геол., т. 26, вып. 4, 1951.
3. Баклаков М. С. Структура рудных полей и главнейших месторождений Садонского полиметаллического пояса в Центральном Кавказе. Сб. научн., тр. Сев.-Кавказск. горно-металлург. ин-та, вып. 15, 1957.
18. Константинов М. М. Некоторые особенности структуры, минералогии и генезиса свинцово-цинковых месторождений Садонского рудного района (Северный Кавказ). Тр. ЦНИГРИ, вып. 53, 1964.
20. Некрасов Е. М. Структурные условия локализации свинцово-цинкового оруденения в месторождениях Садонского рудного пояса. Изв. АН СССР, сер. геол., № 2, 1966.

## РАЗДЕЛ 3

# НЕКОТОРЫЕ ЧЕРТЫ И ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ВАЖНЫЕ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И РАЗВЕДКИ НОВЫХ РУДНЫХ ТЕЛ

## ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТРУКТУРНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА С РУДНЫМИ ТЕЛАМИ ЖИЛЬНОГО И ПРОЖИЛКОВОГО ТИПА

*(Известия Академии Наук СССР, серия геологическая. 1976. № 3. С. 111–125).*

Изучение вертикальной структурной зональности, проявляющейся на гидротермальных месторождениях с крутопадающими рудными телами, в том числе и на месторождениях золота, способствует прогнозированию вертикального размаха оруденения, не затронутого эрозией. Автор, много лет проводивший детальные исследования на гидротермальных месторождениях различных металлов, включая и золоторудные, попытался проанализировать имеющиеся в его распоряжении материалы личных наблюдений и наблюдения других исследователей по вертикальной структурной зональности, а также наметить общую схему ее проявления. Решение поставленной задачи облегчается тем, что в последнее время на ряде месторождений золота с рудными телами жильной формы и с телами, представленными жильными минерализованными зонами, проведены разведочные и эксплуатационные выработки на нижних и средних горизонтах. Такие месторождения дают наиболее полное представление об изменении с глубиной как внутреннего строения и морфологии рудовмещающих разрывов, так и внутреннего строения, морфологии и типа рудных тел, а также текстур руд.

Изменение внутреннего строения и морфологии рудовмещающих разрывов в вертикальном разрезе впервые было проанализировано В. М. Крейтером (1956). Этот исследователь пришел к выводу, что на средних уровнях жильных месторождений в интервале от 1–1,5 до 2–2,5 км ниже поверхности, существовавшей в период минерализации, рудовмещающие разрывы сопровождаются интенсивно развитой дорудной глиной трения. Выше указанного интервала количество глины трения сокращается, в зонах дизъюнктивных нарушений появляется брекчия вмещающих пород, особенно широко проявляющаяся вблизи древней поверхности. Ниже рассматриваемого интервала глина трения начинает исчезать. Здесь разрывы, по представлению В. М. Крейтера, являются притертыми плоскостями скольжения, почти лишенными глины трения, и зонами рассланцевания. Еще глубже эти разрывы сменяются зонами вязкого пластического течения.

Изложенная схема зональности была в дальнейшем развита и пополнена многими исследователями. Так, В. А. Невский (1966) установил, что вблизи древней поверхности преимущественно образовывались трещины отрыва. На этом уровне они преобладают среди трещин, оперяющих главные сколовые, в том числе рудоносные, нарушения.

Изменение морфологии рудных тел жильного типа с глубиной, подмеченное ранее А. В. Королевым, в последнее время было проанализировано П. Ф. Иванкиным (1970), В. А. Нарсеевым (1971) и др. В частности, было установлено разветвление жил (в том чис-

ле и золоторудных) на верхних горизонтах некоторых месторождений, а также смена жил рудными телами других морфологических типов.

Ф. И. Вольфсон и Л. И. Лукин (1968), а также А. В. Дружинин (1968) убедительно показали, что рудовмещающие разрывы и жильные рудные тела, формирующиеся в верхних структурных ярусах земной коры неглубоко (сотни метров – 1 км) от доминерализационной поверхности, характеризуются наибольшей изменчивостью морфологии и внутреннего строения. В противовес этому месторождения, возникающие на больших глубинах и локализуемые чаще в нижних структурных ярусах земной коры<sup>1</sup>, отличаются более выдержанными жильными телами и рудовмещающими разрывами. В свою очередь это обуславливает большой вертикальный размах и масштаб оруденения.

Все эти ранее установленные закономерности позволяют в настоящее время перейти к более углубленному анализу элементов вертикальной структурной зональности на месторождениях золота с крутопадающими рудными телами. Следует отметить, что действительно, как было показано Ф. И. Вольфсоном и Л. И. Лукиным (1968), а также автором настоящей статьи (Некрасов, Редькин, 1969), наиболее четко и контрастно вертикальная структурная зональность проявляется только в близповерхностных золоторудных месторождениях, а также на месторождениях, сформировавшихся сравнительно неглубоко (1–2 км) от древней доминерализационной поверхности. На месторождениях, сформировавшихся на большей глубине, выявляются лишь отдельные элементы этой зональности, а иногда последняя вообще не устанавливается. Необходимо также учитывать, что на изменение внутреннего строения разрывных нарушений и формы рудных тел значительное влияние оказывает смена в вертикальном разрезе пород различных литологических разностей. Поэтому наиболее четко вертикальная структурная зональность проявляется на месторождениях, залегающих в однородной вмещающей среде или породах, обладающих сходными физико-механическими свойствами.

Очевидно, среди месторождений наиболее характерными, отражающими типичное развитие вертикальной структурной зональности, являются золоторудные месторождения, слабо вскрытые эрозией и разведанные на значительные глубины.

### **Примеры вертикальной структурной зональности некоторых близповерхностных месторождений золота**

Одним из таких примеров может служить Бaleyское месторождение в Восточном Забайкалье, сформировавшееся, по представлениям В. И. Лозовского и др. (1960), а также П. С. Бернштейна (1969), неглубоко от поверхности. Изменение формы рудных тел с глубиной здесь наиболее детально прослежено П. Ф. Иванкиным (1970). Согласно данным этого исследователя, на верхних уровнях месторождения (рис. 1, А) проявлен веерообразно разветвляющийся пучок жил и прожилков. Максимальная ширина этого пучка достигает 60–70 м. От каждой жилы вверх по восстанию, особенно от их пологих участков, ответвляются серии маломощных апофиз, образующих зоны прожилкового оруденения. Последние, в свою очередь, разветвляются вблизи современной поверхности. В приводимом вертикальном сечении она не достигается ни одной жилой или прожилковой зоной, которые выклиниваются, проникая, по представлению П. С. Бернштейна, в подошву древней коры

<sup>1</sup> Верхние структурные ярусы – платформенный чехол древних платформ и срединных массивов, а также орогенный ярус складчатых систем; нижние структурные ярусы – фундамент щитов, платформ и срединных массивов, а также фундамент и геосинклинальный ярус складчатых систем, по М. В. Муратову (1967).

выветривания. Ее пересекают и выходят на современную поверхность только наиболее мощные разрывы рудовмещающей системы. В коре выветривания они представлены тектоническими швами, выполненными глиной трения.

В золоторудных жилах на верхних уровнях месторождения, а также в развитых здесь сериях наиболее выдержанных рудных апофиз, вытягивающихся в виде линейных прожилковых зон, широко развита брекчия песчаника и конгломерата. Другие апофизы непротяженны, изогнуты. Слагающие их минеральные агрегаты характеризуются шестоватыми, колломорфно-полосчатыми, фестончатыми и крустификационными текстурами. Очевидно, эти апофизы развивались по трещинам отрыва.

Таким образом, в пределах рассматриваемого вертикального интервала месторождения рудовмещающие разрывы представлены разветвляющимися зонами брекчирования, раскрывшимися в процессе оруденения. Сопровождались они широко развитыми оперяющимися их трещинами отрыва и зонами сближенных и выдержанных сколов (рис. 1, Б).

Помимо брекчиевых, для основных жил и особенно их центральных частей характерны руды полосчатой, ленточной, фестончатой текстур. В центральных частях жил наблюдаются также щелевидные полости, выстланные кристалликами кварца, иногда карбонатов, марказитом, антимонитом и сложными по составу сульфосолями серебра, очень часто — чешуйками гидрослюд (Петровская, 1974).

Глубже, примерно на границе верхних и средних уровней месторождения, количество апофиз и соединительных прожилков (а соответственно и оперяющих трещин) сокращается. Главные жилы, имевшие мощность не более 1 м, сливаются друг с другом. В пределах пучка устанавливаются всего 2–3 жилы, достигающие каждая в раздуве мощности первых метров. Ширина пучка жил уменьшается до 20 м. На средних уровнях месторождения (рис. 1, А, Б) мощность жил возрастает. Здесь апофизы развиваются по сколовым нарушениям и становятся протяженными, но количество их оказывается очень небольшим. Для рассматриваемого уровня месторождения характерны преимущественно брекчиевые текстуры руд.

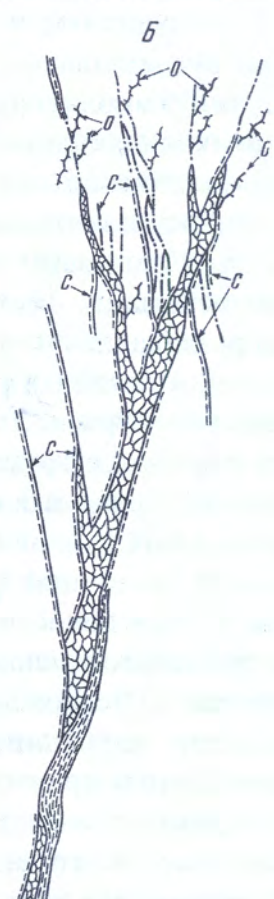
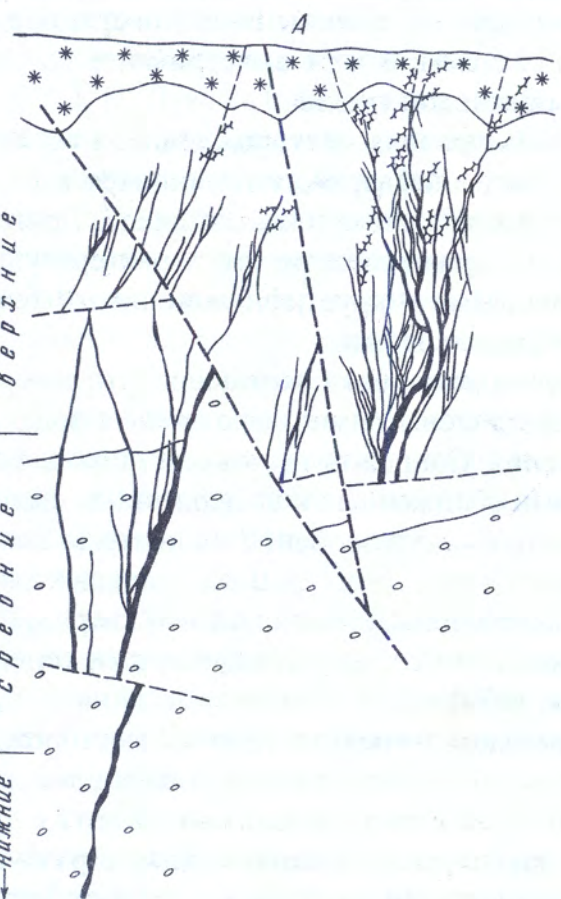
На нижних уровнях жилы в отдельных интервалах начинают приобретать четковидный облик. Обломки пород встречаются в жилах только на перегибах, причем в ограниченном количестве. Вместе с тем глина трения, наблюдавшаяся на более верхних уровнях только спорадически по контактам жил и прожилков, на нижних горизонтах прослеживается непрерывно. На пережимах жил мощность ее достигает нескольких сантиметров.

Исходя из приведенных данных, рудовмещающие нарушения на нижних уровнях, скорее всего, представляли приоткрытые и сравнительно изогнутые плоскости скольжения, местами сменявшиеся швами, заполненными дорудной глиной трения (рис. 1, Б).

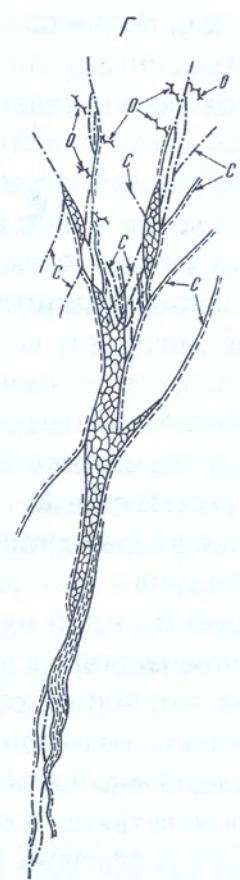
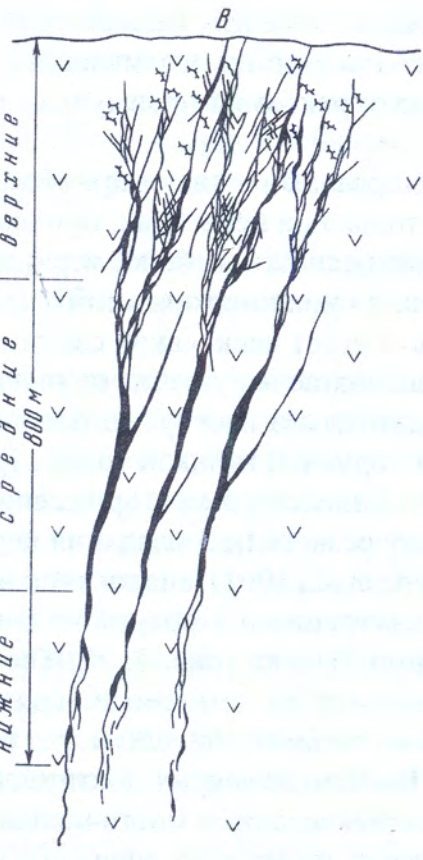
На нижних горизонтах рассматриваемого Балейского месторождения меняется соотношение кварца и рудных минералов в сторону резкого преобладания первого.

Судя по материалам А. Р. Гейна и др. (Gejne et al., 1961), аналогично изложенному происходит изменение формы рудных тел и их внутреннего строения на близповерхностном свинцово-сереброзолоторудном месторождении Пачука (рис. 1, В). Геологи, изучающие это месторождение, считают, что эрозия обнажила на нем самые верхние части рудных жил. Вместе с тем, месторождение разведано на глубину 700–800 м, где развиты практически безрудные карбонатно-кварцевые жилы. На Пачуке вскрыт достаточно мощный пучок рудных жил. Жилы интенсивно ветвятся и сопровождаются многочисленными параллельными прожилками и боковыми апофизами только на верхних горизонтах месторождения. Жилы имеют сложное строение. Обычно это тела, состоящие из расщепляющихся и вновь

Уровни месторождения:  
 —нижние  
 —средние  
 —верхние



Уровни месторождения:  
 —нижние  
 —средние  
 —верхние



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12

сливающихся ветвей с раздувами в узлах слияния. Примечательно, что на верхних горизонтах месторождения одновременно устанавливаются жилы и линейные зоны прожилков, а в узлах сочленения апофиз и жил – участки штокверкового оруденения.

Примерно на границе верхних и средних уровней основная часть рудных тел соединяется в немногочисленные разобщенные жилы, более простой, часто плитообразной формы. Мощность их с глубиной возрастает и быстро достигает максимальной величины (рис. 1, В). С этого горизонта мощность снижается постепенно. На нижних уровнях месторождения жилы сменяются четко видимыми телами, а местами прожилками, в которых руды существенно обедняются свинцом и серебром, а золотое оруденение становится прерывистым.

Изменение в вертикальном разрезе типа рудовмещающих нарушений, их строения и морфологии приведено, согласно данным А. Р. Гейна и др., на рис. 1, В.

Не останавливаясь на описании близповерхностных месторождений золотосеребряной формации Северо-Востока России, необходимо отметить, что, по представлению П. В. Бабкина, А. А. Сидорова (1972, 1966) и других геологов, на верхних уровнях этих месторождений преимущественно развиты линейные зоны прожилкового и прожилково-вкрапленного оруденения, а также мощные ветвящиеся жилы сложного строения. Последние представлены главной стволовой частью и сопровождающими и сливающимися с ней менее мощными ветвями и боковыми апофизами. Все эти разновидности золоторудных тел контролируются системами сближенных плоскостей скольжения, которые сопровождаются слоем дорудной тектонической глинки. Эти плоскости вмещают наиболее протяженные прожилки, как бы «ведущие» серию мелких вдоль направления системы. Ветвящиеся жилы сложного строения, кроме того, приурочиваются к зонам дробления, сопровождающимся многочисленными оперяющимися трещинами отрыва небольшой протяженности, отчасти более протяженными сколами. По многим оперяющим трещинам развиты апофизы. Как указывает А. А. Сидоров (1966), взаимопересекающаяся сеть апофиз бывает нередко настолько интенсивной, что вдоль контактов жил оказываются проявленными полосы штокверковых руд.

Примечательно, что в зальбандах жил возникают руды брекчиевой и кокардовой текстур, а в центральной части их – пластинчатой, полосчатой, агатовидной, друзовой.

На средних уровнях месторождений прожилки и ветвящиеся жилы соединяются в единичные массивные жильные тела плитообразной формы с брекчиевыми, отчасти массивными, метаколлоидными и крустификационными текстурами руд. Подобная обобщенная схема изменения текстур руд в вертикальном разрезе близповерхностных месторождений золотосеребряной формации Северо-Востока России разработана А. А. Сидоровым (1971).

Необходимо также упомянуть интересный пример вертикальной структурной зональности, установленной Ю. Франтишекком (Frantisek, 1963), на близповерхностном

*Рис. 1. А – разрез (по В. И. Лозовскому и др., 1960), Б – схема рудовмещающих элементов трещинной структуры в разрезе (по автору) месторождения Восточного Забайкалья, В – разрез (по А. Р. Гейну и др. (Geyne et al., 1961)), Г – схема рудовмещающих элементов трещинной структуры в разрезе (по автору) свинцово-серебро-золоторудного месторождения Пачука. Мощности жильных и прожилковых золоторудных тел здесь и на других рисунках увеличены. 1 – конгломераты; 2 – песчаники; 3 – кора выветривания; 4 – вулканиты андезитового и дацитового состава; 5 – разрывные нарушения различного типа; 6 – плоскости скольжения «сухие», без глинки трения, 7 – плоскости скольжения, сопровождающиеся тонким слоем дорудной глинки трения; 8 – системы сближенных субпараллельных плоскостей скольжения, частью «сухих», частью сопровождающихся тонким слоем дорудной глинки трения; 9 – тектонические швы, выполненные слоем дорудной глинки трения; 10 – зоны дробления, сопровождающиеся и расположенные между плоскостями скольжения; 11 – оперяющие трещины: С – скола, О – отрыва; 12 – золоторудные жилы и прожилки*

золоторудном месторождении Баньска-Штявница. Здесь на 500–600 м ниже современной поверхности золотоносные кварц-галенит-сфалеритовые жилы сменились более мощными линейными зонами прожилков кварц-халькопиритового состава, окружёнными ореолом вкрапленности пирита и халькопирита. Изменение формы и внутреннего строения рудных тел Ю. Франтишек объясняет переходом рудовмещающих зон дробления на нижних горизонтах месторождения в зоны сравнительно притертых сближенных плоскостей скольжения. Результатом этого явилось резкое возрастание с глубиной метасоматических явлений.

Таким образом, характерной чертой ряда близповерхностных месторождений золота является развитие на их верхних уровнях разветвляющегося пучка рудных тел. Они представлены зонами прожилков, ветвящимися жилами сложного строения, изредка участками и зонами штокверкового оруденения. При приближении к средним и на средних уровнях рассматриваемых месторождений пучок жильных и прожилковых тел различного типа соединяется в сравнительно немногочисленные жилы плитообразной формы, имеющие массивное строение, либо ветвящиеся жилы сложного строения.

Изменяется также тип рудовмещающих нарушений. Развитые в «кровле» месторождений плоскости скольжения с многочисленными короткими оперяющими отрывами, в меньшей степени – сколами (причем, как правило, двух различно ориентированных систем) переходят уже в средних частях верхних уровней в зоны дробления. На верхних уровнях последние также сопровождаются обильными оперяющими трещинами. Наряду с зонами дробления на этом уровне проявлены и рудовмещающие системы сближенных плоскостей скольжения.

На средних уровнях месторождений преимущественно развиты зоны дробления, причем с редкими оперяющими сколами только одного направления, но более значительной протяженности. Для глубоких уровней характерны изогнутые тектонические швы, выполненные слоем дорудной глинки трения мощностью от 5–10 см до десятков сантиметров, иногда системы таких сближенных швов. К середине нижних уровней месторождений глинка трения исчезает, и швы переходят в притертые, почти лишенные глинки трения плоскости скольжения и зоны рассланцевания.

### **Примеры вертикальной структурной зональности некоторых гипабиссальных и глубинных месторождений золота**

Интересным примером является одно из киммерийских золоторудных месторождений Восточного Забайкалья – Дарасунское (Сахарова, Некрасов, 1964). Месторождение залегает среди палеозойских гранитоидов, а его Западный участок – в амфиболитах. Участок примечателен тем, что здесь, на поверхности, эрозией обнажены самые верхние части рудных тел, представленные прожилками пирит-кварцевого состава, не содержащими сколько-нибудь значительных концентраций золота. С глубиной прожилки переходят в маломощные золотоносные пирит-арсенопирит-кварцевые жилы (верхние уровни месторождения). На средних уровнях в них в обилии появляется пирротин (рис. 2, А). Как видно на приводимом разрезе, разветвленность жильных тел и протяженные золоторудные апофизы характерны для верхних и отчасти средних уровней участка. На средних уровнях жилы обычно сменяются более мощными золотоносными минерализованными зонами дробления, в которых между обломками амфиболитов развиты прожилки, линзы и гнездообразные скопления, а также обильная вкрапленность рудных и жильных минералов.

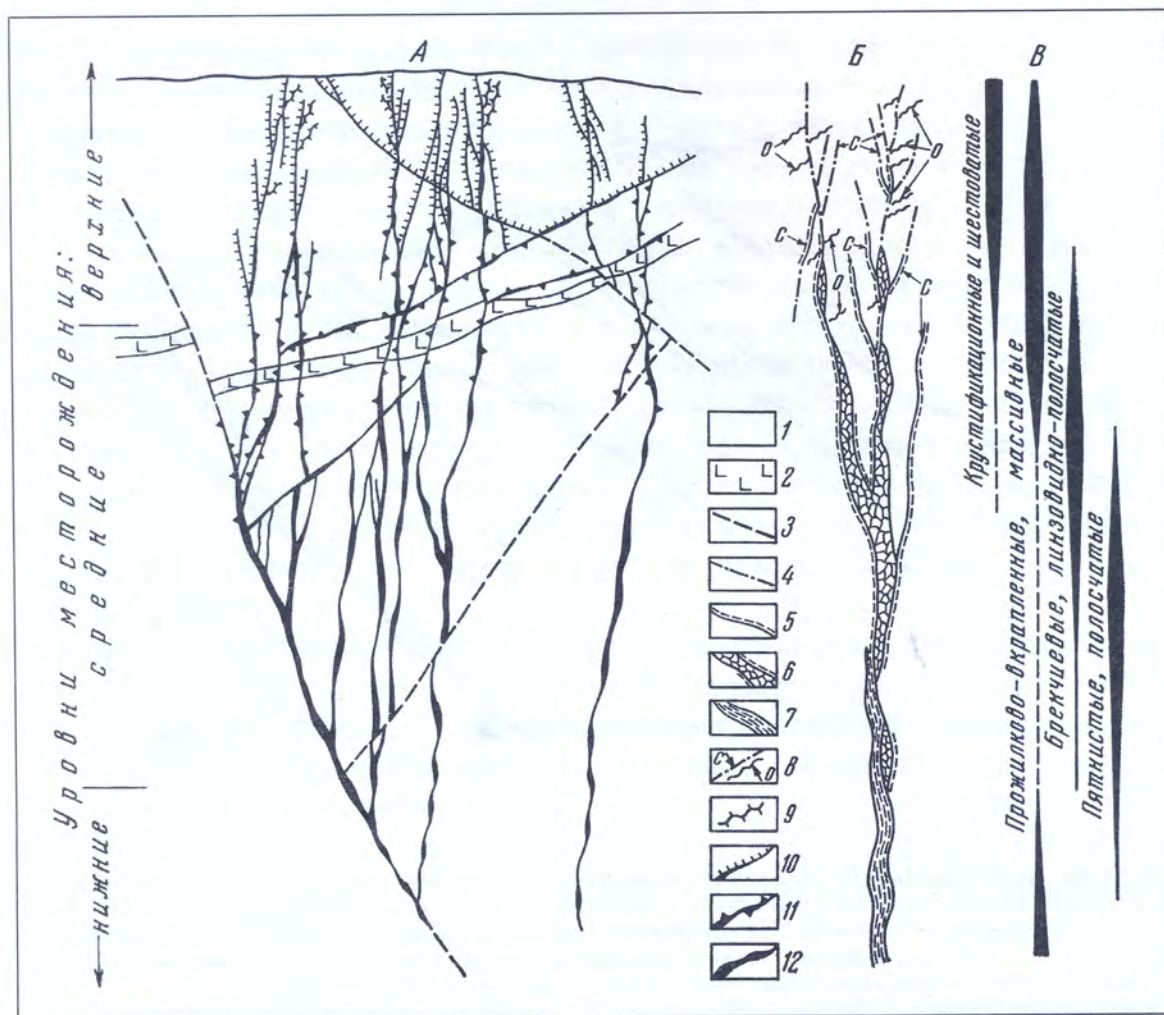


Рис. 2. А – разрез, Б – схема рудовмещающих элементов трещинной структуры в разрезе, В – изменение текстур руд в разрезе киммерийского месторождения Восточного Забайкалья (по автору, с использованием материалов М. С. Сахаровой и Р. А. Амосова). 1 – амфиболиты, 2 – дайки диабазовых порфиров; 3 – разрывные нарушения различного типа; 4 – плоскости скольжения «сухие», без глинки трения; 5 – плоскости скольжения, сопровождающиеся тонким слоем дорудной глинки трения; 6 – зоны дробления, сопровождающиеся и расположенные между плоскостями скольжения; 7 – тектонические швы, выполненные слоем дорудной глинки трения; 8 – оперяющие трещины; С – скола, О – отрыва; 9 – кварц-пиритовые апофизы, развившиеся по оперяющим трещинам отрыва; 10 – слабозолотоносные кварц-пиритовые прожилки и жилы; 11 – золотоносные кварц-пирит-арсенопиритовые жилы; 12 – золотоносные жилы кварц-пирит-арсенопирит-халькопирит-пирротинового состава

Параллельно с изменением морфологии золоторудных тел и строения рудовмещающих нарушений устанавливается, что крустификационные, шестоватые, массивные и прожилково-вкрапленные руды с глубиной сменяются рудами брекчиевой и линзовидно-полосчатой текстуры, а последние – постепенно всё возрастающими количественно рудами пятнистой и полосчатой текстуры (рис. 2, В).

На другом золоторудном месторождении – Бериккульском, расположенном в Кузнецком Алатау, развита серия жил северо-восточного простирания, пересекающих кембрийские порфириты. Это сульфидно-кварцевые жилы, в которых среди рудных минералов преобладают пирит, арсенопирит, сульфиды свинца, цинка, меди, а на средних и глубоких уровнях – также и пирротин. Как следует из материалов Ю. Г. Щербакова, Н. В. Росляковой (1970), а также Н. В. Кучеренко и А. П. Грибанова (1968), большая часть золоторудных жил развилась по сколовым нарушениям, образовавшимся под полого падающей на ЮВ экраняющей поверхностью дорудного надвига. Надвиг вмещает золоторудные сульфидные

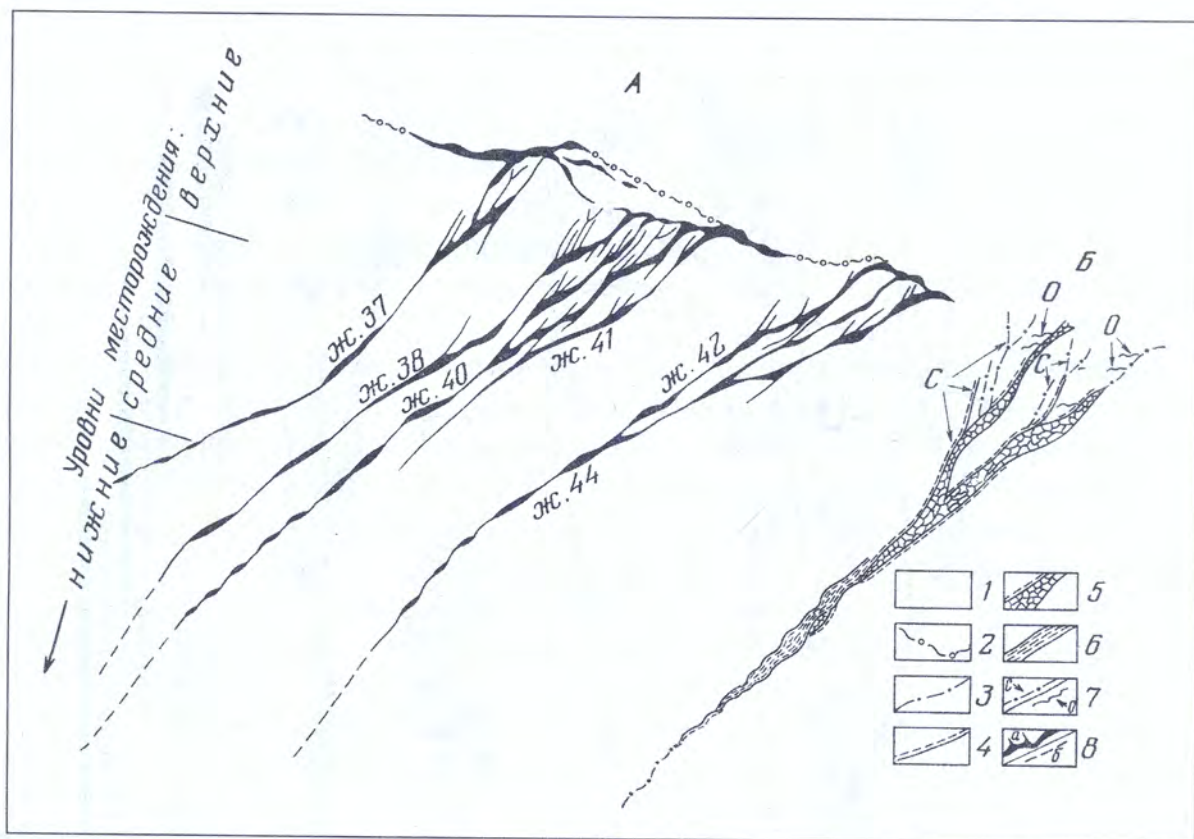


Рис. 3. А – разрез участка Бериккульского месторождения, расположенного в Кузнецком Алатау (по Н. В. Кучеренко; А. П. Грибанову, 1968); Б – схема рудовмещающих элементов трещинной структуры того же участка в разрезе (по автору). 1 – порфириты; 2 – тектоническая поверхность дорудного надвига; 3 – плоскости скольжения «сухие», без глинки трения; 4 – плоскости скольжения, сопровождающиеся тонким слоем дорудной глинки трения; 5 – зоны дробления, сопровождающиеся и расположенные между плоскостями скольжения; 6 – тектонические швы, выполненные слоем дорудной глинки трения; 7 – оперяющие трещины; С – скола, О – отрыва; 8 – а – установленные, б – предполагаемые золоторудные жилы и прожилки

залежи метасоматического генезиса. Жилы, размещающиеся в лежащем боку надвига, не выходят на современную поверхность, хотя некоторые пересекают и смещают надвиг. До глубоких уровней месторождения жилы вскрыты горными выработками.

Как следует из рис. 3, А, сближенные жилы группируются в своеобразные пучки. Многие из главных жил, прослеживаемых с верхних до самых нижних уровней месторождения (жилы № 23, 32, 35, 37, 40, 44, 46 и др.), расщепляются в своей верхней части на 2–3 мощных ветви, сопровождающихся в свою очередь менее протяженными апофизами. Характерно, что на северо-восточном фланге месторождения жилы, развитые на некотором удалении от надвига, также ветвятся на средних и верхних горизонтах (например, жила Российская). При этом неразветвляющиеся жилы имеют меньшую протяженность на глубину и меньшую мощность.

В свое время Д. А. Тимофеевский, П. И. Щеглов и С. С. Боришанская (1952) отмечали уменьшение в жилах с глубиной брекчии вмещающих порфиритов, существенное проявление дорудной глинки трения на горизонтах, соответствующих сейчас средним уровням месторождения, а затем исчезновение её в местах выклинивания некоторых маломощных и непротягивающихся на глубину жил и прожилков. Для последних были подмечены также пережимы и изогнутость корневых частей и, наоборот, большая выдержанность и плитообразная форма рудных тел на средних уровнях месторождения. Изменение строения и типа рудовмещающих разрывов в вертикальном разрезе представлено на рис. 3, Б.

Элементы вертикальной структурной зональности установлены автором также и для двух других золоторудных месторождений, изучавшихся совместно с Б. Н. Бандримером и Ю. Г. Зарембо. Одно из этих месторождений – Сармич, расположено в Южно-Нуратинских горах, в пределах мощной песчаниково-алевролитовой пачки пород  $Pz_1$  подстилающейся и перекрывающейся горизонтами, содержащими частые прослои известняка. На поверхности и верхних горизонтах месторождения в золоторудных пирит-арсенопирит-кварцевых жилах широко развит кальцит, исчезающий вниз по разрезу. Золото на рассматриваемых уровнях обладает низкой пробой – 490, возрастающей с глубиной. Руды в отдельных интервалах жил характеризуются шестоватой и крустификационной текстурами со щелевидными пустотами. Они выстланы «щетками» кристаллов прозрачного низкотемпературного кварца. На более глубоких горизонтах эти минеральные агрегаты уступают место брекчиевым и пятнистым рудам. Слабо проявлено околорудное изменение пород. Все изложенное свидетельствует о том, что руды образовались преимущественно в результате выполнения трещинных полостей. Эрозией оказались затронуты только верхние части рудных тел.

Как показано на рис. 4, А, разветвленность характерна лишь для верхней части месторождения. Как представляет автор, она проявлена примерно до границы верхних и средних уровней месторождения. Здесь же жилы наиболее изогнуты и обладают максимальной мощностью. Обычно в них выделяется стволовая часть и многочисленные ветви и апофизы, сменяющиеся по простиранию серией сближенных прожилков, которые развиваются вдоль системы плоскостей скольжения. Иногда апофиз в зальбандах жил или между серией прожилков столь много, что рудные тела участками приобретают штокверковое строение.

Схема рудовмещающих элементов трещинной структуры месторождения представлена на рис. 4, Б.

Максимальное развитие обломков вмещающих песчаников и алевролитов в ветвящихся жилах сложного строения на границе верхних и средних уровней месторождения, а также очень тонкого (миллиметры) слоя хлоритизированной глинки трения свидетельствует о том, что минерализации подверглись зоны дробления. На интервале разветвления рудных жил и рудовмещающих разрывов последние были наиболее изогнуты и интенсивно приоткрыты в период оруденения. По простиранию зоны дробления переходили в системы сближенных плоскостей скольжения. И те, и другие изредка сопровождалась узлами развития обильных минерализованных оперяющих трещин, где возникли участки штокверковых руд. На средних уровнях преобладали выдержанные зоны дробления, вмещающие рудные жилы плитообразной формы.

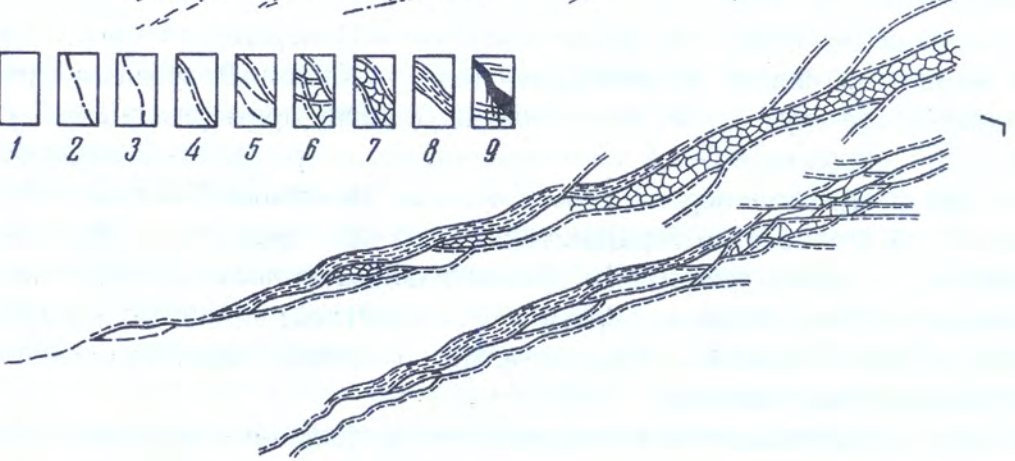
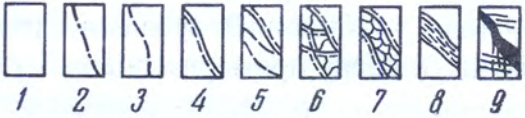
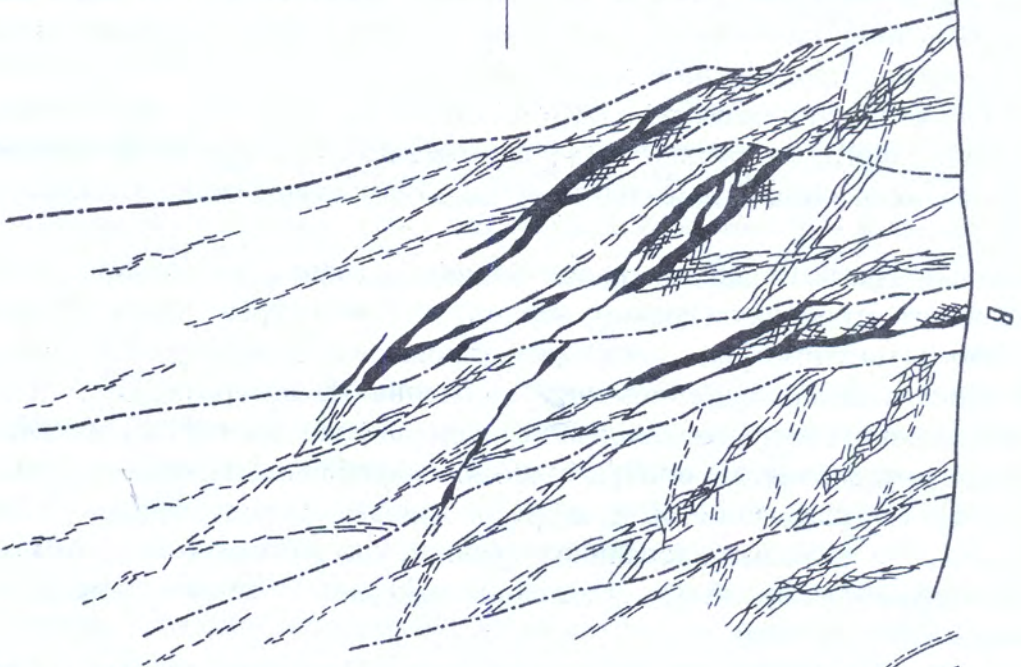
На месторождении Мурунтау, расположенном в Центральных Кызылкумах, рассмотрим лишь изменение формы золоторудных тел с глубиной. Воссоздание разреза пород, эродированных после оруденения, позволило С. Д. Шеру примерно оценить глубину формирования месторождения в 2–2,5 км и считать, что современная поверхность проходит приблизительно посередине вертикального рудного интервала. Как показано на рис. 4, В, на современной поверхности и верхних горизонтах месторождения (фиксирующих середину его средних уровней), развиты как сравнительно мощные плитообразные жилы, так и преобладающие мощные (нередко первые десятки метров) линейные зоны прожилкового и штокверкового оруденения. Все эти рудные тела рассекают нижнепалеозойские песчаниково-глинистосланцевые породы.

Жилы, зоны прожилкового и штокверкового оруденения сопровождаются многочисленными короткими апофизами, секущими слоистость вмещающих пород и согласными

Уровни месторождения:  
 ← нижние — средние — верхние →



Уровни месторождения:  
 ← нижние — средние →



с ней (пологие апофизы). В зальбандовых частях жил всегда присутствует брекчия вмещающих пород, причем наиболее обильная в тех интервалах, где от жил ответвляются апофизы. Противоположные контакты жил, как правило, сопровождаются слоем дорудной глинки трения мощностью от первых миллиметров до 5–7 см и редкими апофизами, развитыми по оперяющим сколам.

При проникновении на нижние уровни месторождения жилы приобретают пережимы. В ряде случаев жилы сменяются линзовидными телами. Мощность последних, так же как и некоторых плитообразных жил, нередко быстро уменьшается на коротком вертикальном интервале, и они переходят с глубиной в линейные зоны прожилкового оруденения. Последний тип оказывается единственным морфологическим представителем рудных тел на нижних уровнях месторождения. Однако мощность прожилковых зон здесь небольшая (обычно первые метры), зоны прожилкового оруденения более изогнуты, насыщенность их отдельными прожилками невысокая, а протяженность сравнительно со средними уровнями меньшая.

Схема рудовмещающих элементов трещинной структуры и изменение их с глубиной на рассматриваемом месторождении приведена на рис. 4, Г. Как отображено на рисунке, особенностью трещинной структуры месторождения является развитие на одном уровне многочисленных систем сближенных плоскостей скольжения и редких приоткрывшихся зон дробления. Скорее всего, эта особенность может быть объяснена одновременным формированием большого количества нарушений на ограниченной территории. Вдоль подавляющей части их протекали малоамплитудные перемещения, которые приводили к появлению плоскостей скольжения и лишь эпизодически – зон дробления.

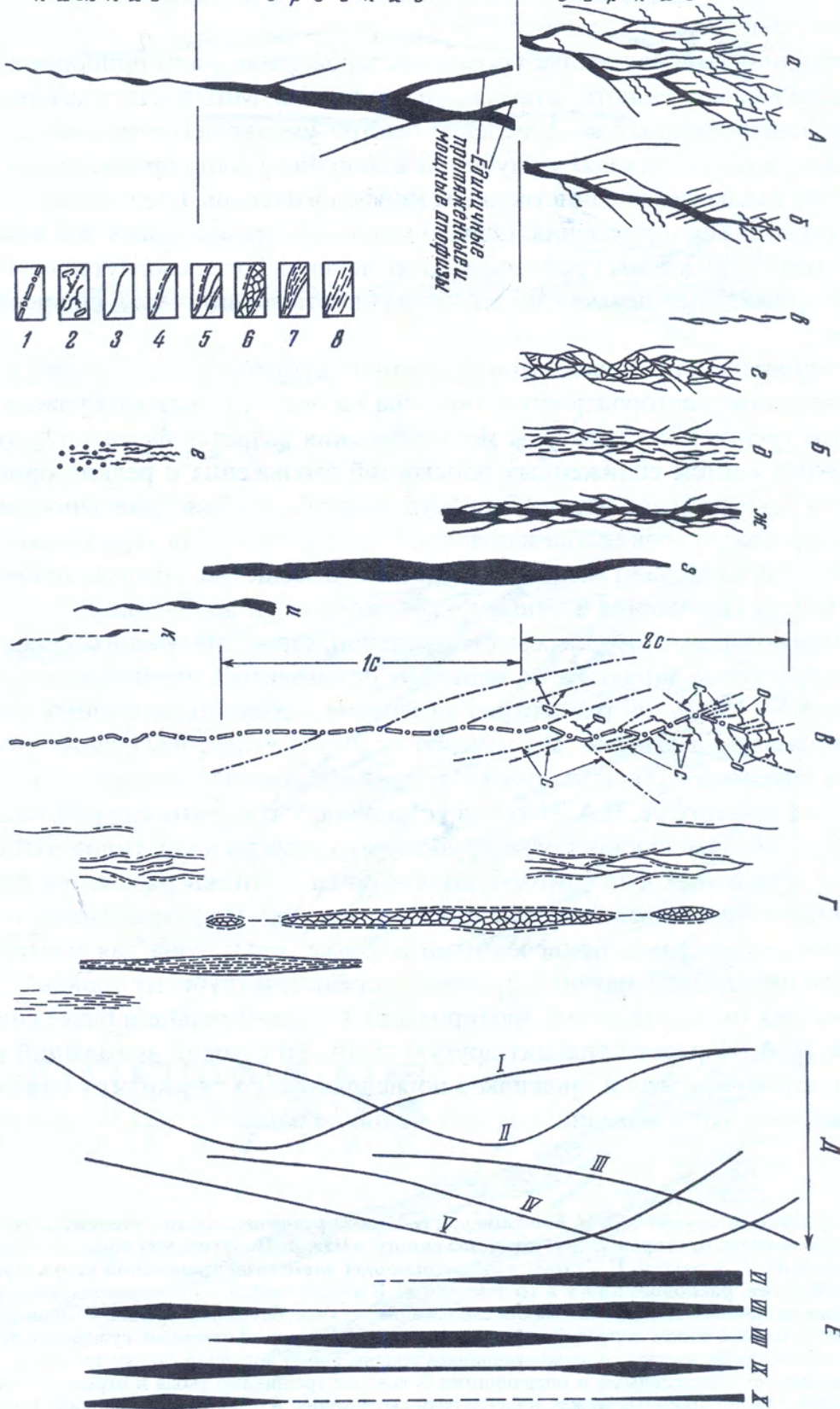
Заканчивая обзор золоторудных месторождений, характеризующихся проявлением вертикальной структурной зональности, нельзя не остановиться на обобщении, приведенном В. А. Нарсеевым (1969). Он рассмотрел изменение формы золоторудных тел с глубиной на месторождениях Казахстана. По мнению исследователей, изучавших этот район, месторождения сформировались неглубоко от древней доминерализационной поверхности, в интервале 1–2 км ниже ее. В.А. Нарсеев установил, что в одних случаях намечается проявление следующих, сменяющих один другого, морфологических типов золоторудных тел (сверху вниз): единичных жил плитообразной формы → штокверковыми и прожилковыми зонами → зонами прожилково-вкрапленного оруденения. Подобная смена, как следует из сопоставления с примерами, приведенными в статье, характерна для месторождений, на которых после прошедшей эрозии сохранились средние и глубокие уровни.

Вероятно, для месторождений, эродированных незначительно и разведанных до средних уровней, В. А. Нарсеев приводит другую схему, по которой выходящий на современную поверхность пучок жил и прожилков последовательно переходит с глубиной в серию параллельных жил, затем объединяющихся в единую жилу.

**Рис. 4.** А – разрез (по автору и Б. Н. Бандримеру), Б – схема рудовмещающих элементов трещинной структуры в разрезе (по автору) месторождения, расположенного в Южно-Нуратинских горах, В – разрез (по автору, Б. Н. Бандримеру и Ю. Г. Зарембо), Г – схема рудовмещающих элементов трещинной структуры в разрезе (по автору) месторождения, расположенного в Центральных Кызылкумах. 1 – песчано-сланцевые породы; 2 – разрывные нарушения различного типа; 3 – плоскости скольжения «сухие», без глинки трения; 4 – плоскости скольжения, сопровождающиеся тонким слоем дорудной глинки трения; 5 – системы сближенных субпараллельных плоскостей скольжения, частью «сухих», частью сопровождающихся тонким слоем дорудной глинки трения; 6 – то же, с короткими диагональными соединительными и оперяющими боковыми трещинами скола и отрыва; 7 – зоны дробления, сопровождающиеся и расположенные между плоскостями скольжения; 8 – тектонические швы, выполненные слоем глинки трения; 9 – рудные жилы и прожилки

Вертикальный размах оруденения:  
 для близповерхностных месторождений — первые сотни м — 800 м  
 для глубинных месторождений — многие сотни м — 1,5 км

Уровни месторождений:  
 нижние средние верхние



## Обобщенная схема вертикальной структурной зональности

Итогом изложенного выше фактического материала явилась разработка обобщенной схемы вертикальной структурной зональности (рис. 5). На схеме сделана попытка графически отразить в вертикальном разрезе изменение морфологии, типов и внутреннего строения как жильных и прожилковых золоторудных тел, так и рудовмещающих разрывов. На той же схеме показано изменение количества: тектонической глинки трения, брекчии, минерализованных оперяющих отрывов и сколов, интервалы развития оперяющих сколов двух и одной системы, а также изменение мощности рудных тел с глубиной. Учитывая данные А. А. Сидорова (1971) по близповерхностным и Н. В. Петровской (1974) по другим, глубинным типам золоторудных месторождений, намечено изменение текстур руд с глубиной. Намечена также величина общего вертикального размаха золотого оруденения для близповерхностных и глубинных месторождений.

Предлагаемая схема может быть применена (наряду с другими методами) для решения двух взаимосвязанных главных вопросов: 1) выяснения уровня эрозионного среза, 2) определения в первом приближении вертикального рудоносного интервала, сохранившегося от эрозии.

Обе эти задачи решаются сравнительно легко, если для расположенных последовательно двух-трех горизонтальных уровней вскрытия месторождения (включая поверхность) удастся установить все или подавляющее большинство элементов вертикальной структурной зональности: тип, внутреннее строение и форму рудовмещающих нарушений и рудных тел, интенсивность проявления глинки трения и брекчии вмещающих пород, количества апофиз и оперяющих трещин, а также их генетический тип, количества систем оперяющих минерализованных сколов и, наконец, характерные текстуры руд. Сопоставляя совокупность этих данных с приводимой схемой, на последней подбирается уровень, наиболее соответствующий реально существующему, и по схеме (естественно, в первом приближении) определяются эродированная и сохранившаяся от эрозии части разреза.

**Рис. 5.** Обобщенная схема вертикальной структурной зональности золоторудных месторождений, ее элементы и преимущественно наблюдаемые изменения их на верхних, средних и нижних уровнях месторождений. Элементы зональности: *A* – морфология золоторудных тел (в том числе на верхних уровнях месторождений): *a* – близповерхностного и *б* – глубинного происхождения; *B* – типы и строение жильных золоторудных тел: *в* – разобщенные прожилки, *г* – зоны штокверкового оруденения, *д* – зоны прожилкового оруденения, *е* – зоны прожилково-вкрапленного оруденения, *жс* – ветвящиеся жилы сложного строения, *з* – массивные жилы плитообразной формы, *и* – линзовидные массивные жилы, *к* – разобщенные линзы; *B* – морфология и *Г* – типы главных рудовмещающих разрывов: *1* – главное разрывное нарушение; *2* – оперяющие трещины; *С* – скола, *О* – отрыва; *3* – плоскости скольжения «сухие», без глинки трения; *4* – плоскости скольжения, сопровождающиеся тонким слоем дорудной глинки трения; *5* – системы сближенных субпараллельных плоскостей скольжения, частью «сухих», частью сопровождающихся тонким слоем дорудной глинки трения; *б* – зоны дробления, сопровождающиеся и расположенные между плоскостями скольжения; *7* – тектонические швы, выполненные слоем дорудной глинки трения мощностью от 5–10 до десятков сантиметров; *8* – зоны расланцевания; *1с* – интервал развития оперяющих минерализованных сколов одной системы; *2с* – то же, но двух систем; *Д* – возрастание (показано стрелкой) в зонах главных рудовмещающих разрывов и в рудных телах: *1* – количества глинки трения, *II* – количества брекчии измененных вмещающих пород, *III* – количества минерализованных оперяющих отрывов, *IV* – количества минерализованных оперяющих сколов, *V* – мощности жильных тел; *E* – изменение в вертикальном разрезе текстур руд (наибольшая ширина полосы отражает максимальное развитие на данном уровне текстуры характеризуемого вида). Разновидности текстур руд: *VI* – колломорфные, фестончатые, агатовидные, шестоватые, кристификационные, *VII* – массивные, *VIII* – брекчиевые и кокардовые, *IX* – полосчатые, ленточные и сетчатые – на верхних уровнях и пятнистые, линзовидные, изредка полосчатые – на нижних уровнях месторождений, *X* – вкрапленные и прожилково-вкрапленные – на верхних уровнях и пятнисто-вкрапленные и вкрапленные – на нижних уровнях месторождений

## Выводы

Кратко суммируя материал по вертикальной структурной зональности, собранный предыдущими исследователями, а также автором статьи, можно прийти к следующим выводам.

1. Для ряда месторождений золота с рудными телами жильного и прожилкового типа характерна следующая вертикальная структурная зональность. Она выражается в изменении с глубиной: а) типа, строения и морфологии рудовмещающих разрывов и рудных тел; б) количества брекчии вмещающих пород в рудных телах и глинки трения в зонах рудовмещающих нарушений; в) количества апофиз, оперяющих трещин, генетического типа последних; г) количества систем минерализованных оперяющих (сколов); д) текстур руд.

2. Основной тенденцией вертикальной структурной зональности является переход наиболее выдержанных на средних уровнях месторождений элементов рудовмещающей трещинной структуры и рудных тел к менее выдержанным – на верхних и нижних уровнях. При этом верхние уровни отличаются большим количеством и разнообразием типов рудных тел, а также главных и оперяющих рудовмещающих разрывов, а нижние, наоборот, проявлением непротяженных единичных рудных тел в притертых плоскостях скольжения или зонах расщепления.

3. Наиболее контрастно и обычно на сравнительно небольшом вертикальном интервале (от первых сотен до 800 м) структурная зональность проявляется на многих близповерхностных месторождениях золота.

Преимущественно неконтрастно, как изменение отдельных элементов, вертикальная структурная зональность обнаруживается на некоторых гипабиссальных и глубинных месторождениях золота. Элементы ее устанавливаются на большом вертикальном интервале, достигающем многих сотен метров – 1,5 км и, видимо, более.

## Литература

1. Бабкин П. В., Сидоров А. А. Золотосеребряные месторождения Северо-Востока СССР. Разведка и охрана недр, № 10, 1972.
2. Бернштейн П. С. Условия локализации близповерхностного эпитермального золотого оруденения на примере Балейской группы месторождений. В кн. «Золоторудные формации Дальнего Востока». «Наука», 1969.
3. Вольфсон Ф. И., Лукин Л. И. Особенности локализации гидротермального оруденения цветных и редких металлов. В кн. «Особенности структур гидротерм, рудных месторождений в различных структурных этажах и ярусах». «Наука», 1968.
4. Дружинин А. В. Структурные условия локализации вольфрамового и молибденового оруденения в Восточном Забайкалье. Изв. АН СССР. Сер. геол., № 8, 1968.
5. Иванкин П. Ф. Морфология глубоковскрытых магматогенных рудных полей. «Недра», 1970.
6. Крейтер В. М. Структура рудных полей и месторождений. Госгеолтехиздат, 1956.
7. Кучеренко И. В., Грибанов А. П. Взаимоотношения дайковых образований с золоторудными кварцевыми жилами на Бериккульском рудном поле. Изв. Томского политехн. ин-та, 134, 1968.
8. Лозовский В. И., Чеглоков С. В., Сидоренко А. В. Основные черты структуры Балейского золоторудного поля. В кн. «Основные вопросы и методы изучения структур рудных полей и месторождений». Госгеолтехиздат, 1960.
9. Муратов М. В. Геосинклинальные складчатые пояса и системы. Их этапы развития и магматизм. Изв. АН СССР. Сер. геол., № 10, 1967.
10. Нарсеев В. А. О зональности морфологических типов оруденения на месторождениях золота Казахстана. В сб. «Геол., разведка и методы изуч. месторожд. полезн. ископаемых». Алма-Ата, 1969.

11. Нарсеев В. А. Количественная оценка глубоких горизонтов золоторудных полей и месторождений на основе изучения эндогенной зональности. В сб. «Основы научн. прогноза месторожд. рудн. и нерудн. полезн. ископаемых». Ленинград, 1971.
12. Невский В. А. Некоторые данные о зональности в распределении трещин в рудных районах, рудных полях и месторождениях. Изв. АН СССР. Сер. геол., № 10, 1966.
13. Некрасов Е. М., Редькин С. Ф. Морфология и внутреннее строение жильных рудных тел в различных ярусах среднего структурного этапа. Сов. геол., № 3, 1969.
14. Петровская Н. В. Самородное золото. «Наука», 1974.
15. Сахарова М. С., Некрасов Е. М. Минералого-геохимическая характеристика и условия локализации новых типов золото-сульфидных руд Дарасунского месторождения Геол. рудн. месторожд., № 3, 1964.
16. Сидоров А. А. Золотосеребряное оруденение Центральной Чукотки. «Наука», 1966.
17. Сидоров А. А. О вертикальной текстурной зональности на месторождениях золотосеребряной формации. «Колыма», № 10, 1971.
18. Тимофеевский Д. А., Щеглов П. И., Боришанская С. С. Берикольское золоторудное месторождение. Тр. Ин-та НИГРИЗолото, т. 5, 1952.
19. Щербаков Ю. Г., Рослякова Н. В. Критерии глубины золотого оруденения на примере Берикольского рудного поля в Кузнецком Алатау. Изв. Томского политехн. ин-та, 239, 1970.
20. František J. K otázke hlbkového pokračovania banskoštiavnických rudných žil. «Geol práce». CÚDS. SAV. Zpravy, № 29, 1963.
21. Geyne A. R., Fries C., Segerstrom K., Black R., Wilson J. F. Pachuca mining district, Hidalgo, Mexico. U. S. geol. surv. profess. paper, № 424, 1961.

*Центральный н.-и. геологоразведочный  
институт цветных и благородных металлов, Москва  
Статья поступила в редакцию  
29 января 1975 г.*

## О «ШАГЕ РАЗМЕЩЕНИЯ» И ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЗОЛОТОРУДНЫХ ТЕЛ ЖИЛЬНОГО ТИПА

*Показано, что на участках некоторых золоторудных месторождений жильного типа рудные тела нередко размещаются вдоль непротяжённых локальных рудоконтролирующих нарушений (ЛРН) в виде закономерной системы равноудалённых одна от другой жил на расстояние от 30–70 м до 100–250 м, т. е. в «шаге размещения». Это позволяет прогнозировать рудные тела на флангах нарушений и вести поиск бурением. На ряде примеров близповерхностных месторождений подтверждено, что такие рудные тела могут формироваться на двух вертикальных рудоносных уровнях – верхнем и нижнем. На верхнем уровне система золоторудных тел возникает в пределах очень короткого вертикального диапазона (100–300 м), неглубоко от палеоповерхности, преимущественно в алузит-адуляр-каолинитовых метасоматитах. Здесь формируются ритмично-полосчатые руды с низкопробным золотом. На нижнем уровне рудные тела образуются в интервале 600–1000 м и глубже от палеоповерхности в зонах тектонических брекчий, пересекающих метасоматиты типа вторичных кварцитов. В них чаще локализуются руды брекчиевой массивной, полосчатой текстуры со сравнительно высокопробным золотом. Таким образом, на близповерхностных месторождениях возможно проведение поисков новых рудных тел (в том числе слепых) в «шаге размещения» одного от другого на двух уровнях оруденения и, вместе с тем, на значительной глубине.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* золоторудные месторождения; рудные тела; шаг размещения; руды; минералы благородных металлов; поиски.

*(Известия вузов. Геология и разведка. 2018. № 2. С. 33–44).*

В последнее время золотодобывающие компании предпочитают разрабатывать крупнейшие и крупные золоторудные месторождения, представленные единичными, но мощными и протяжёнными зонами прожилково-вкрапленных и вкрапленных убогих и бедных руд. Вместе с тем, в мире существенно преобладает доля месторождений золота, которые относятся к средним и даже мелким объектам, сложенным разобшёнными, но нередко субпараллельными рудными телами. Отработка каждого из них заканчивается сравнительно быстро, что требует непрерывной доразведки эксплуатирующихся месторождений. В подобной обстановке значительную роль играют надёжные предпосылки обнаружения новых рудных тел. При этом существенное значение приобретает разработанное к настоящему времени понятие «шага размещения» рудных тел. Эксплуатирующиеся рудные тела обычно являются членами рудно-структурного звена, которое может быть представлено

связкой «рудоконтролирующее нарушение – отделяющийся от него рудовмещающий разрыв и залечивающее его рудное тело». При этом рудоконтролирующие нарушения даже на сравнительно небольших месторождениях нередко выступают и рудоподводящими разрывами. Масштабно проявляющиеся рудоконтролирующие нарушения обычно ведут себя в качестве подчинённых по отношению к основным разломам, контролирующим, в целом, размещение оруденения на месторождении. Они ограничиваются такими разломами. В результате они выступают контролирующими развитие оруденения только на отдельных сравнительно небольших и разобщённых участках месторождения. Примером таких объектов могут служить хорошо известные глубокосформированные золоторудные месторождения, такие как Дарасунское, Итакинское в Восточном Забайкалье, Кочкарское на Южном Урале и др. Среди близповерхностных месторождений золотосеребряных руд можно назвать Балей-Тасеевское, Джульетта, Агинское, Мутновское и пр.

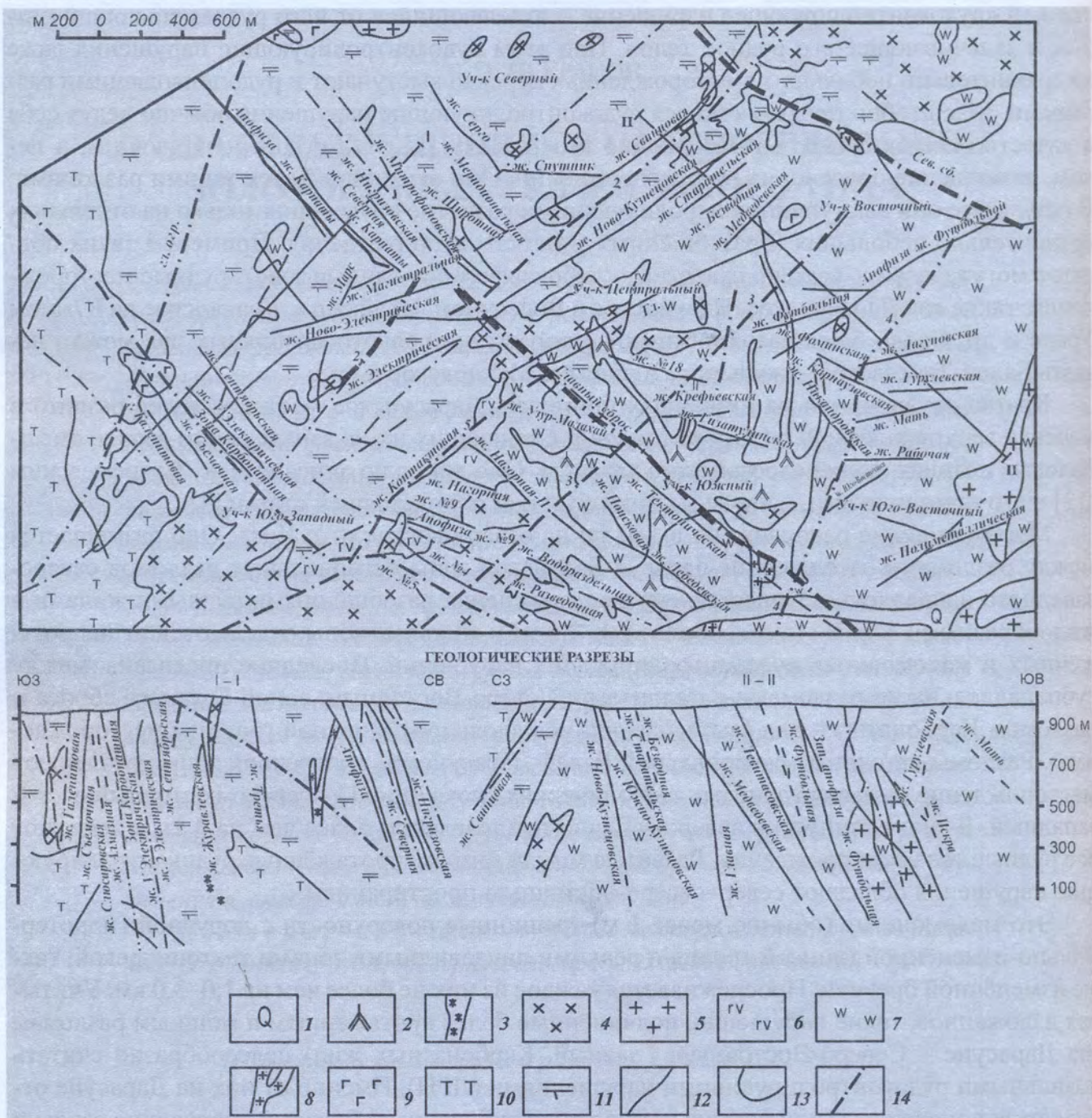
Кратко остановимся на названных примерах. Дарасунское месторождение развито в массиве верхнепалеозойских гранитоидов и сменяющих их на западе и юго-западе амфиболовых сланцах раннепалеозойского возраста. Оно детально описано Д.А. Тимофеевским [12] и его помощниками, в числе которых был и автор настоящей статьи [4].

Месторождение расположено в 140 км на северо-восток от г. Чита. Оно размещается между разломами-сателлитами Дарасун-Балейской зоны региональных разломов северо-западного направления. Представлено месторождение разобщёнными рудными жилами и жиллообразными зонами (в амфиболитах). Жилы и жильные зоны отделяются от непротяжённых и маломощных рудоконтролирующих нарушений. Последние проявлены между субпараллельными разломами-сателлитами: Северо-Восточным, зоной Главного сброса и разломом Карбонатных жил (вытягивающимся вдоль юго-западной границы месторождения). Разломы-сателлиты региональной Балей-Дарасунской поперечной зоны расчленяют месторождение на два оруденелых тектонических блока (рис. 1) – северо-восточный и юго-западный. Блоки вытянуты в северо-западном направлении более чем на 3 км и вмещают все рудные тела месторождения. Развитые между ними непротяжённые рудоконтролирующие нарушения обладают север–северо-восточным простиранием.

Это маломощные (обычно менее 1 м) трещинные поверхности с дорудной гидротермально-изменённой глиной трения и редкими линзовидными зонами тектонической, также изменённой брекчии. Прослеживается каждое из них не более чем на 1,0–3,0 км. Учитывая изложенное, такие нарушения, подчинённые более протяжённым и мощным разломам (на Дарасуне – Северо-Восточный, Главный, Карбонатных жил) целесообразно считать локальными рудоконтролирующими нарушениями (ЛРН). Именно от них на Дарасуне отделяются поперечные (или несколько косоориентированные) боковые оперяющие сколы и залечивающие их золоторудные жилы и прожилковые зоны.

В пределах проявленных и названных двух оруденелых тектонических блоков пород между упомянутыми дорудными разломами размещается несколько десятков золоторудных тел жильного типа [12], (рис. 1). Каждый из блоков включает золотосульфидно-кварцевые жилы преимущественно северо-восточного, а в юго-западном блоке – в нижнепалеозойских амфиболитах – северо-западного и широтного простираний.

Если проследить размещение рудных тел в северо-восточном тектоническом блоке месторождения, то оказывается, что в его пределах развиты четыре ЛРН. Их называют: Главным ограничивающим нарушением, Ново-Кузнецовским, северным флангом Школьного нарушения и Юго-Восточным (рис. 1). Именно от последнего наиболее чётко отделяются рудоносные сколы и залечивающие жилы северо-восточного направления (с севера на юг):



**Рис. 1. Геологическая схема Дарасунского месторождения и разрезы [12]; план, Северо-Восточный сброс – Сев. сб, Главный сброс зона Карбонатная, Главное нарушение, ограничивающее распространение оруденения на северо-запад – Гл. огр., локальные рудоконтролирующие нарушения (ЛРН) северо-восточного простирания: 1 – Мартовское, 2 – Ново-Кузнецовское, 3 – Школьное, 4 – Юго-Восточное, 5 – Контактное; 1 – рыхлые аллювиальные и аллювиально-делювиальные отложения; интрузивные породы: комплекс даек и малых интрузивов средне- и позднеюрского возраста; 2 – плагиогранит-порфиры; 3 – сиенит-порфиры; комплекс пород лейкократовых гранитов и сиенитов позднепалеозойского-раннемезозойского возраста: 4 – сиениты, граносиениты, микроклин-пертитовые граниты и их дайковая фация; 5 – лейкократовые граниты и их дайковая фация; комплекс пород гранодиоритовых интрузивов среднего палеозоя: 6 – габбро и габбро-диориты; 7 – гнейсовидные кварцевые диориты и гранодиориты; 8 – аплиты и аплито-пегматиты; комплекс древних метаморфизованных габброидных пород и амфиболитов нижнего палеозоя: 9 – пироксен-рогообманковое габбро, амфиболитованные габбро и габбро-диабазы; 10 – нерасчлененный комплекс метаморфизованных и гранитизированных габбро, габбро-диоритов, пироксенитов, габбро-диабазов; 11 – амфиболиты, амфиболитованные габбро-диабазы, гранитизированные и инъекцированные граносиенитами породы; 12 – золоторудные сульфидно-кварцевые жилы; 13 – контакты пород; 14 – зоны тектонических нарушений и разломов (последние выделены более толстым штрихом)**

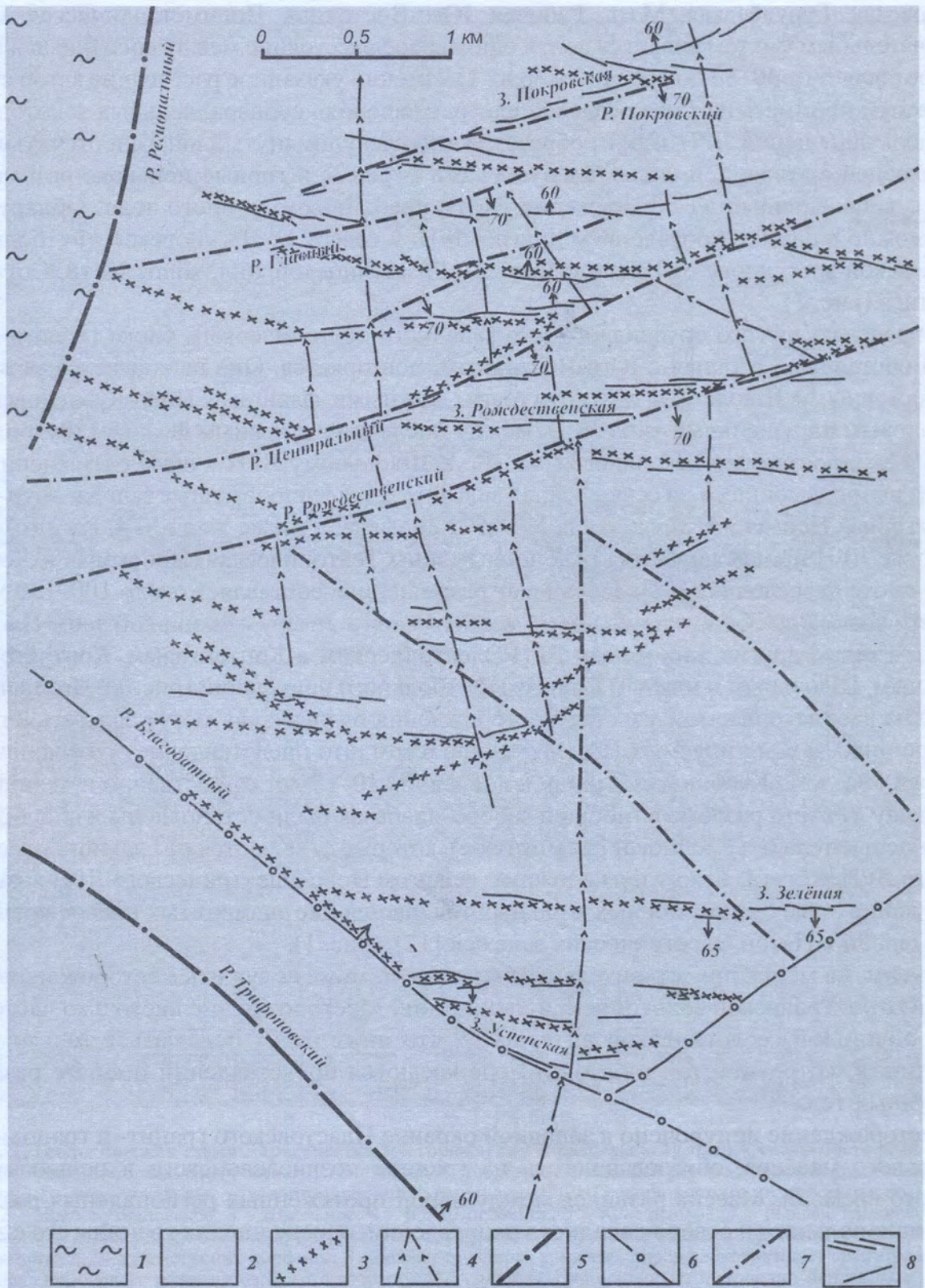
Лагуновская, Гурулёвская, Мать, Рабочая, Юго-Восточная, Полиметаллическая. Самым примечательным фактом является почти одинаковое расстояние между соседними жилами. Оно составляет от 50–80 до 100–130 м (рис. 1). Именно указанное расстояние автор считает возможным понимать на Дарасуне как «шаг размещения» субпараллельных золоторудных жил вдоль нарушений ЛРН. Таким образом, учитывая упомянутый «шаг» и отсчитывая его от последней выявленной жилы, следует вести буровые и горные поисково-разведочные работы, направленные на обнаружение следующего нового рудного тела. Обнаружение их возможно в связи с проявлением других ЛРН: к северу от Лагуновской, Футбольной и Арефьевской жил, к югу от Никандровской и Гизатулинской жил, жилы № 18, Спутник и Широкая (рис. 1).

В пределах другого оруденелого юго-западного тектонического блока геолого-структурная обстановка, сходная с Юго-Восточным, повторяется. Она наблюдается между северо-восточными Школьным и Контактным, южными флангами Ново-Кузнецовского и Контактным нарушениями типа ЛРН, между последним и южным флангом Футбольного ЛРН и к юго-востоку от Школьного (рис. 1). К Школьному ЛРН в шаге размещения прилегают вытягивающиеся на северо-запад золоторудные жильобразные залежи Узур-Малахай, Нагорная Первая и Вторая, жила № 9 и её апофиза, а также жила № 4. На юго-восток от того же ЛРН прослеживаются рудоносные зоны Тектоническая, Поисковая и Лебедевская, а также Разведочная [12]. Здесь «шаг размещения» составляет около 100–130 м. При учёте его возможно обнаружение новых жильных тел к северу от жильной зоны Нагорной Второй, а также других жил между ЛРН Электрическим и Контактным, Контактным и Школьным, Школьным и южным флангом Футбольного нарушений (рис. 1). Примечательно, что на рассматриваемом участке месторождения рудные тела могут залегать в габбро и габбро-диабазе, датируемых  $PZ_3-MZ_1$ . Дело в том, что представление об ограничивающей роли «разлома Карбонатных жил» в последние 10–15 лет существенно изменились: к юго-западу от этого разлома в габбро и габбро-диабазе были установлены жильобразные золотоносные тела (Съёмочное и Галенитовое), которые отделяются от Главного ограничивающего ЛРН. Кстати, между ним и южным флангом Ново-Электрического ЛРН возможно обнаружение новых золотоносных жильных тел, наподобие знаменитых (в своё время) богатых Первой и Пятой Электрических залежей [12], (рис. 1).

Другим, не менее представительным примером, может служить месторождение Кочкарь в Южно-Уральской золотоносной провинции. Месторождение настолько часто описано в обширной геологической литературе, что ниже будут освещаться только те его особенности, которые в той или иной мере касаются представлений о «шаге размещения» рудных тел.

Месторождение приурочено к западной окраине Пластовского гранит- и гранодиорит-порфирического массива, образовавшегося на границе позднедевонского и раннекаменноугольного времени. Массив развился между парой протяжённых региональных разломов субмеридионального и северо-западного направлений, определивших границы его с запада и юга.

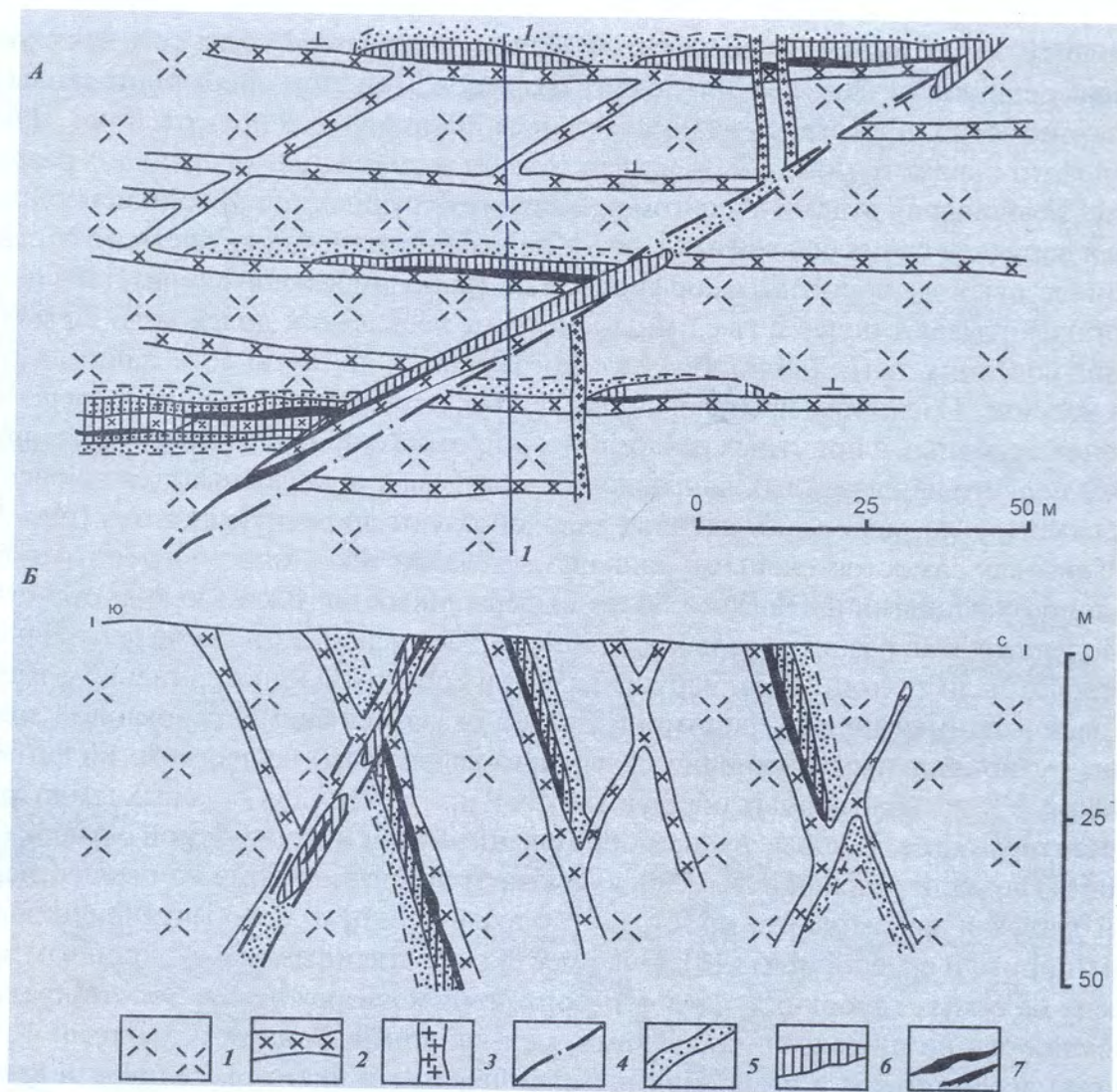
На месторождении выделяют северный, наиболее промышленно-важный, и южный участки. Северный участок в дорудный этап развития был расчленён серией разломов восток–северо-восточного простирания – Покровским, Главным, Центральным, Рождественским с преобладающим падением в южные румбы под углом около  $70^\circ$ . Они располагаются в 0,3–0,5 км один от другого (рис. 2). Разломы сопровождаются образованием многочисленных оперяющихся сколов широтного направления, которые чаще падают на север под



**Рис. 2.** Геологическая схема месторождения Кочкарь, по [2]; план, Р – основные разломы, З – наиболее протяжённые и промышленно-важные рудоносные жильно-прожилковые зоны, приуроченные к дайкам-табашкам пёстрого состава: Покровская, Рождественская, Зелёная, Успенская; 1 – сланцево-гнейсовая толща; 2 – гранит- и гранодиорит-порфиры ( $D_3-C_1$ ); 3 – дорудные дайки лампрофиров пёстрого состава; 4 – послерудные дайки лампрофиров; 5 – региональные рудоконтролирующие разломы; 6 – другие менее протяжённые рудоконтролирующие нарушения, в том числе типа ЛРН; 7 – прочие разрывы; 8 – рудоносные жильно-прожилковые зоны, приуроченные к дайкам-табашкам пёстрого состава

углом около  $60^\circ$  (хотя имеются сколы и с обратным падением). Густая сеть этих рудоносных сколов соединяет разломы в единую сеть разрывов. При этом оперяющие сколы размещаются закономерно, проявляясь на расстоянии от 30 до 65–75 м друг от друга. Думается, что именно этот параметр может быть назван «шагом размещения» оперяющих разрывов, а в случае их залечивания рудами – «шагом размещения» рудных тел. Возникшая густая сеть разрывов в дорудное время была использована дайками лампрофиров пёстрого состава – от габбро, диабазовых и диоритовых порфиритов до гранодиорит-порфиритов. Даек на месторождении насчитывают более 2 тыс., мощностью от нескольких долей м до 20 м (в узлах соединения соседних тел). Дайки образуют чрезвычайно плотную сеть, занимая до 14 % площади массива. Среди них преобладают тела двух направлений: восток–северо-восточного (в зонах основных и попутных разломов) и широтного простирания в оперяющих сколах. Дайки первого из названных направлений в разломах прослеживаются на расстояние до 1,0–1,3 км. Другие, менее протяжённые тела, образуют широтную систему (рис. 2). Они представлены как самостоятельными жильными телами, так и многочисленными изогнутыми малопротяжёнными апофизами более выдержанных восток–северо-восточных даек [1, 7]. В дорудный этап развития зальбанды многих даек и апофиз, а также центральные части некоторых были тектонически нарушены и раздроблены. Гидротермально-изменённая брекчия даек и примыкающих гранитоидов затем оказалась сцементированной золотосодержащим рудно-жильным (умеренно сульфидно-кварцевым) веществом. Гидротермально-изменённые зоны обломочных пород в дайках и примыкающих боковых гранитоидах, а также цементирующие жильные рудные образования бурой и тёмно-бурой окраски (вблизи поверхности) называли «табашками». Они включают развитую в жильном веществе, в прожилках и жилах и межжильном пространстве вкрапленность преобладающих золотосодержащих пирита и арсенопирита [9]. Она вместе с собственным высокопробным золотом обнаружена на самых глубоких (>1000 м) горизонтах месторождения. Золото представлено преимущественно плёнками, чешуйками, мельчайшими зёрнами и прочими формами. Обычно они ассоциируют с разнообразными минералами висмута, теллура и сульфидами цветных металлов. Содержания золота устойчиво сохраняются на уровне 15–17 г/т на самых глубоких горизонтах месторождения. Возникшие золоторудные тела обладают, по сведениям [2], самой разнообразной формой – от жильной плитообразной до местами прожилковой, ветвящейся, амёбовидной. Наиболее выдержанные из них на северном участке – Покровская прожилково-жильная золотоносная зона прослеживается максимально на протяжении 1200 м в виде разобщённых правосторонне расположенных жил-кулис, хотя на месторождении более часто наблюдаются жильные кулисы левостороннего типа. Все они размещаются, примыкая к рудоносным разломам, которые могут рассматриваться в качестве ЛРН на северном участке месторождения (рис. 2, 3).

В пределах южного фланга месторождения сформировались менее выдержанные дайки и приуроченные к ним золотоносные жильные тела (например, зона Зелёная) преимущественно широтного простирания (рис. 2). Все геологи, изучавшие Кочкарское месторождение, считают, что развитые в широтных табашках субпараллельные золоторудные тела размещаются на вышеуказанном расстоянии – от 30 до 70 м (рис. 3), т. е. на расстоянии «шага размещения». Он сохраняется, начиная от восточной границы месторождения до западной, на протяжении почти 4 км и местами более. Скорее всего, можно считать, что оруденелые широтные табашки по сути развились в зонах боковых рудоносных сколов более выдержанных рудоконтролирующих (и рудоносных) нарушений (ЛРН) восток–северо-восточного простирания (рис. 2, 3).



**Рис. 3. Месторождение Кочкарь: А – геологический план участка месторождения, Б – разрез его с юга на север, по [2]; пример проявления субпараллельных, вытягивающихся широтно даек табашек пёстрого состава и приуроченных к ним рудных жил и прожилков, расположенных на расстоянии «шага размещения»: 1 – адалмит-плагииграниты; 2 – дорудные дайки, в том числе табашки пёстрого состава, главным образом лампрофиры; 3 – послерудные дайки лампрофиров; 4 – локальные рудоконтролирующие нарушения типа ЛРН; 5 – зоны березит-лиственитовых метасоматитов; 6 – геохимические ореолы, сопровождающие рудные тела; 7 – рудные тела**

Таким образом, для Кочкарского месторождения можно отметить следующее.

1. «Шаг размещения» рудных тел обеих трещинных систем (северо-восточной и широтной) сохраняется постоянным на достаточно обширной территории месторождения и не изменяется в пределах сравнительно большого вертикального интервала, начиная от поверхности до глубины 1000 м, и, скорее всего, на более глубоких уровнях.

В период оруденения были оживлены все ранее образовавшиеся разрывы рудовмещающих направлений. Очевидно, разрядка тектонических напряжений происходила повсеместно за счёт существенных перемещений по нарушениям ЛРН восток–северо-восточного простирания. Шаг размещения рудных тел заложился задолго до оруденения за счёт закономерного проявления на примерно равном расстоянии боковых сколов и залечивающих субпараллельных даек, использовавших закономерно проявившуюся сеть оперяющих разрывов. Его необходимо учитывать и применять для поиска новых рудных тел вплоть до самых глубоких горизонтов месторождения.

2. Оживление и развитие руд в зонах наиболее выдержанных ЛРН (восток–северо-восточного простираения) позволяет рассматривать их как наиболее благоприятные объекты прогнозирования. Это следует из учёта их максимальной выдержанности и сравнительно высоких содержаний золота в залечивающих рудных телах.

Здесь необходимо также напомнить, что при поисках руд бурением в случае отсутствия на заданном месте (участке) разыскиваемого рудного тела, это не означает, что оно действительно отсутствует. Вероятно, оно не оказалось установленным на опосредованном горизонте (уровне), а верхняя «кромка» его размещается в 50–100 м ниже, и, может быть, даже глубже указанного уровня.

В частности, на Дарасунском месторождении Д.А.Тимофеевским [12] было составлено много разрезов, которые убедительно показали, что наиболее насыщенным рудными телами оказался вертикальный диапазон глубин от поверхности до 700 м ниже неё (рис. 1). Указанная позиция касается и Кочкарского месторождения, Итакинского, Советского и многих других с аналогичной рудно-структурной обстановкой размещения оруденения. Поэтому при отсутствии прогнозируемого тела, его положение должно быть проверено веером буровых скважин в диапазоне не менее 200–400 м глубже оцениваемого уровня. Действительно, на Дарасунском месторождении параллельные рудные тела непрерывно прослеживались от верхней «кромки» до выклинивающегося «хвоста» их в северо-восточном рудоносном блоке в вертикальном диапазоне 500–800 м, а в юго-западном блоке – ещё глубже – до 800–1000 м (рис. 1) и ([5], рис. 56, с. 102).

Иногда кажется, что закономерная повторяемость отделяющихся боковых сколов и приуроченных к ним золоторудных тел и участков богатых руд не находит объяснения. Однако один из лидеров рудно-структурного направления в рудной геологии Е.Ш. Хиллс [13] нашел ответ на этот вопрос.

Действительно, золоторудные тела на некоторых месторождениях используют серии боковых оперяющих сколов и узлы отделения их от трещинообразующих локальных рудоконтролирующих нарушений. При этом они прослеживаются с постоянной повторяемостью, на одном и том же расстоянии вдоль таких разрывов. Именно это и обуславливает проявление «шага размещения». Е.Ш. Хиллс, помимо многолетнего изучения рудоносных трещинных нарушений, провёл многочисленную серию экспериментов, объясняющих процесс образования разрывов и отделяющихся от них оперяющих боковых сколов. В результате он пришёл к следующему выводу.

Любое достаточно протяжённое трещинное нарушение формируется в зоне сосредотачивающихся максимальных тектонических напряжений в результате слияния в этой зоне серии секций, звеньев трещин в единое целое образование. При этом боковые оперяющие сколы появляются в местах, где разрастающееся нарушение и движущийся при этом вдоль него блок пород встречает какой-либо упор. Им могут быть препятствующие движению изгибы нарушения, поперечные разрывы и контакты различных пород, смена ориентировки слоистости на близкую к поперечной, скопления ксенолитов, повторяющиеся и располагающиеся на примерно одном расстоянии (в «шаге размещения»). В однородной среде длина, протяжённость секций нарушений преимущественно составляет 50–200 м. Фланги, концы сочленяющихся секций, звеньев при смыкании перегибаются. При этом многие секции, звенья образуют на фланге вогнутую поверхность. Именно она и представляет упор для разрастающегося и движущегося при этом блока породы (рис. 4). При упоре, как бы при сдерживании движущегося блока, от перегиба нарушения в боковую породу отделяется оперяющий скол. Задерживающееся движение основного блока частью про-

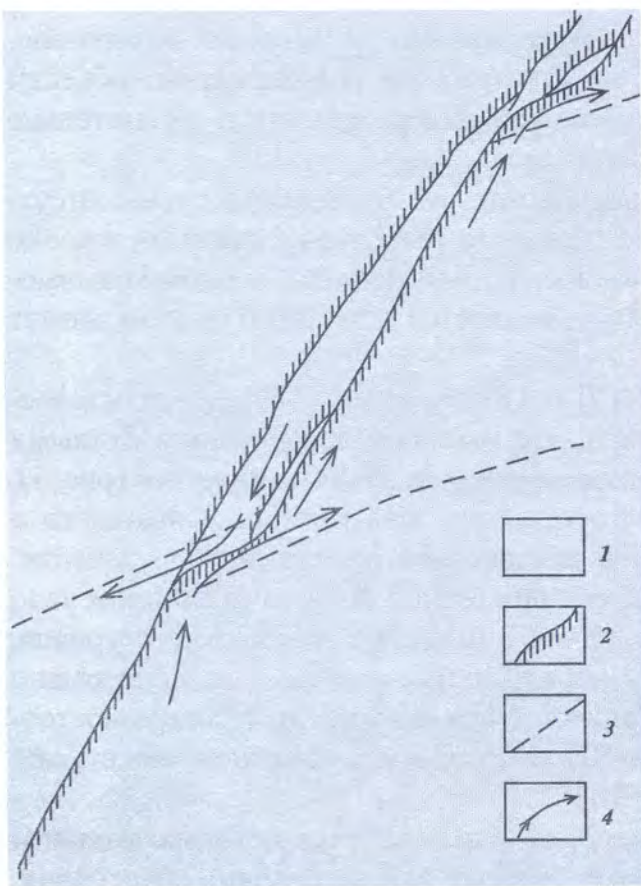


Рис. 4. Схема перемещений и образования трещинных полостей, которые могут залечиться рудным веществом, по [1]; план: 1 – рудовмещающие породы; 2 – блоки пород и трещинные полости, ограниченные стенками дорудных разрывов; 3 – боковые опережающие сколы; 4 – направления движений блоков пород вдоль стенок разрывов

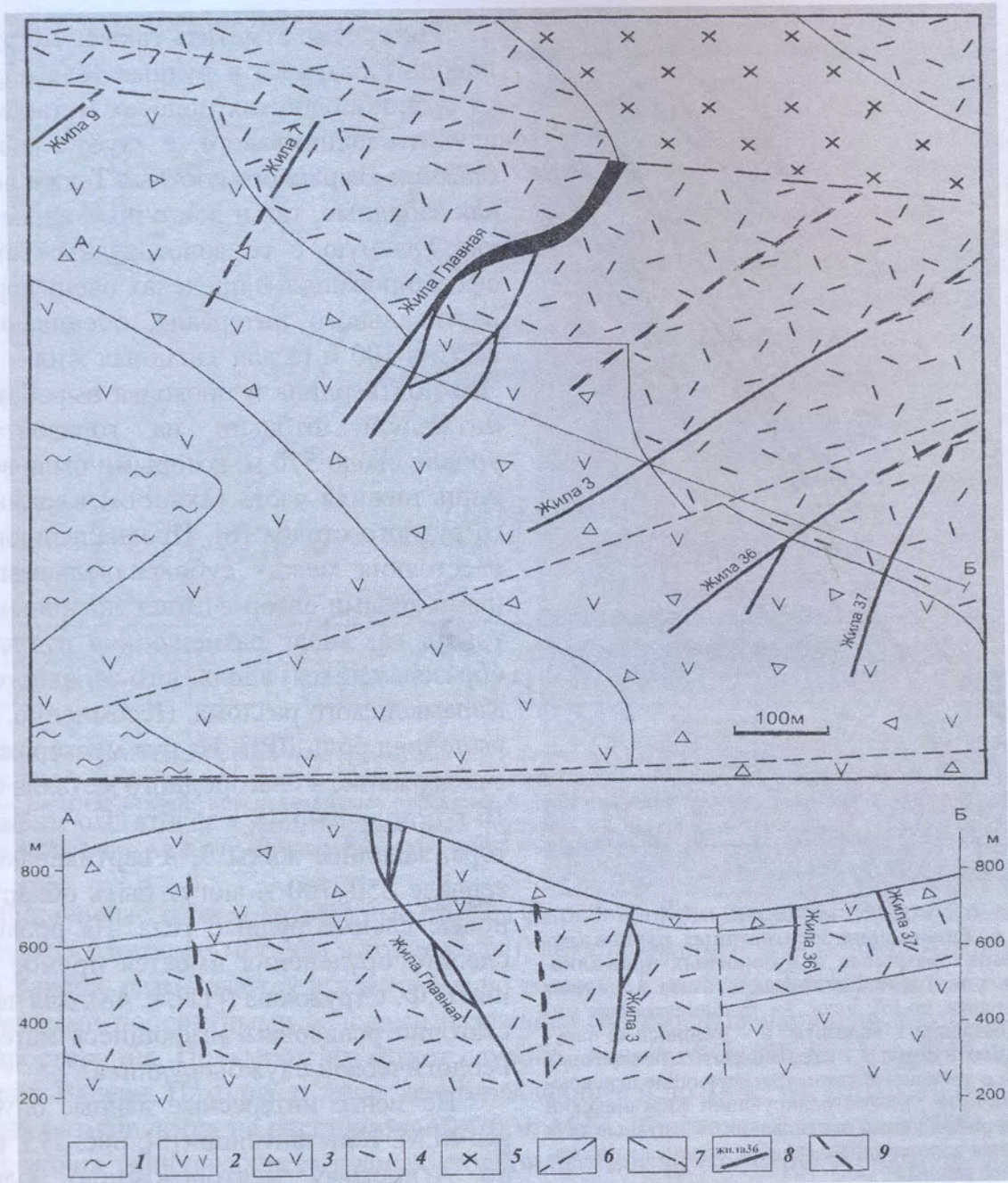
долгается вдоль скола, частью вдоль основного нарушения – вправо от последнего. Это вызывает появление полостей в основном и боковом нарушениях, а затем залечивание их жильным и рудным веществом. При повторяемости смыкающихся звеньев возникают повторяющиеся на равном расстоянии одно от другого рудные тела, т. е. в «шаге размещения». Указанная закономерность отмечается для многих отечественных золоторудных месторождений глубинного генезиса, что чётко отражено М.М. Константиновым [5]. В частности, подобный «шаг размещения» субпараллельных рудных тел, закономерно расположенных на равном расстоянии одно от другого, изображён на планах и разрезах следующих отечественных месторождений: Советское, Итакинское, Ключевское, Майское, Школьное, Павлик, Маломырское, Салют, Кючус, Нежданское, на месторождениях Приморского, Аркачанского и Дrajного и других рудных полей, где обнаружена рудно-структурная связка разрывов типа ЛРН и отделяющихся от них серий рудоносных опережающих сколов.

Как будет показано ниже, рассматриваемая закономерность характерна и для многих близповерхностных месторождений золото-

серебряных и теллуридных руд. Примером их на территории нашей страны (в частности, на крайнем Востоке) могут служить Карамкенское, Агинское, Озерновское, Мутновское месторождения, Дукатское, Джульетта и др.

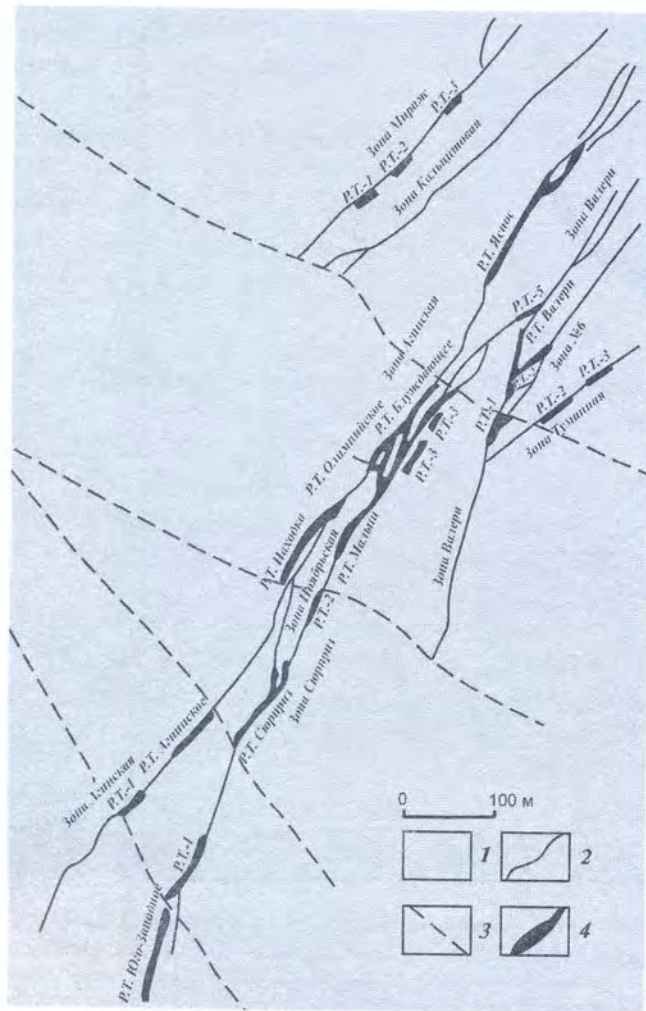
Кратко изложим рассматриваемую проблему на примере Карамкенского, Агинского (Россия) и Кусикино (Япония) месторождений.

Карамкенское месторождение расположено на юго-западном фланге Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, в 104 км на север от г. Магадан, почти на берегу Охотского моря. Месторождение образовалось вдоль широтного Карамкенского разлома в позднемеловых андезитах и дацитах, а местами в их лавобрекчиях и прорывающих мелких штоках и дайках дацит-риолитовых порфиров [1]. Карамкенский разлом выполняет роль локального рудоконтролирующего нарушения (рис. 5). От его поверхности на юго-запад отделяется система чередующихся опережающих сколов. К ним приурочены рудные тела жильно-жильных близповерхностных золотосеребряных руд. Таких тел (называемых жилами) насчитывается на месторождении не менее семи. Залечиваемые ими боковые рудоносные нарушения плавно отгибаются от тектонической поверхности разлома (впрочем, также и на глубокообразованном Дарасуне). На протяжении первых метров они представлены сомкнутыми дугообразными трещинами с глиной трения. Лишь на удалении 5–8 м от разлома они приобретают юго-западное направление (при крутом падении на юго-восток).



**Рис. 5.** Геологическая схема месторождения Карамкен (план) и разрез вдоль юго-западного бока Карамкенского разлома [1]; арабскими цифрами поименованы основные жилы и жильные зоны; на схеме чётко виден «шаг размещения» чередующихся рудоносных прожилково-жильных зон. Позднемеловые вулканиты: 1 – игнимбриты и туфы риолитов; 2 – раннемеловые туфы риодацитов, андезиты; 3 – раннемеловые лавобрекчии андезитов; 4 – поздне-меловые субвулканические дациты, риолиты; 5 – позднемеловые диориты; 6 – разломы; 7 – рудоподводящий Карамкенский разлом; 8 – рудные тела и их обозначения; 9 – предполагаемые слепые рудные тела

Начиная от этой точки в их зонах появляется тектоническая брекчия. Она цементируется обволакивающим их жильным ритмично-полосчатым, сульфидно-кварцевым веществом с золотосодержащими пиритом и арсенопиритом. Оно также содержит низкопробное золото. Указанные золоторудные тела везде закономерно располагаются вдоль разлома на одинаковом расстоянии в плане: одно от другого – от 250 до 400–450 м. В вертикальном интервале западные жилы 9 и 7 располагаются относительно Главной жилы на абсолютных отметках 830–840 м, а восточные жилы 3, 36 и 37 – на высотах 730–740 м (рис. 5), [11].

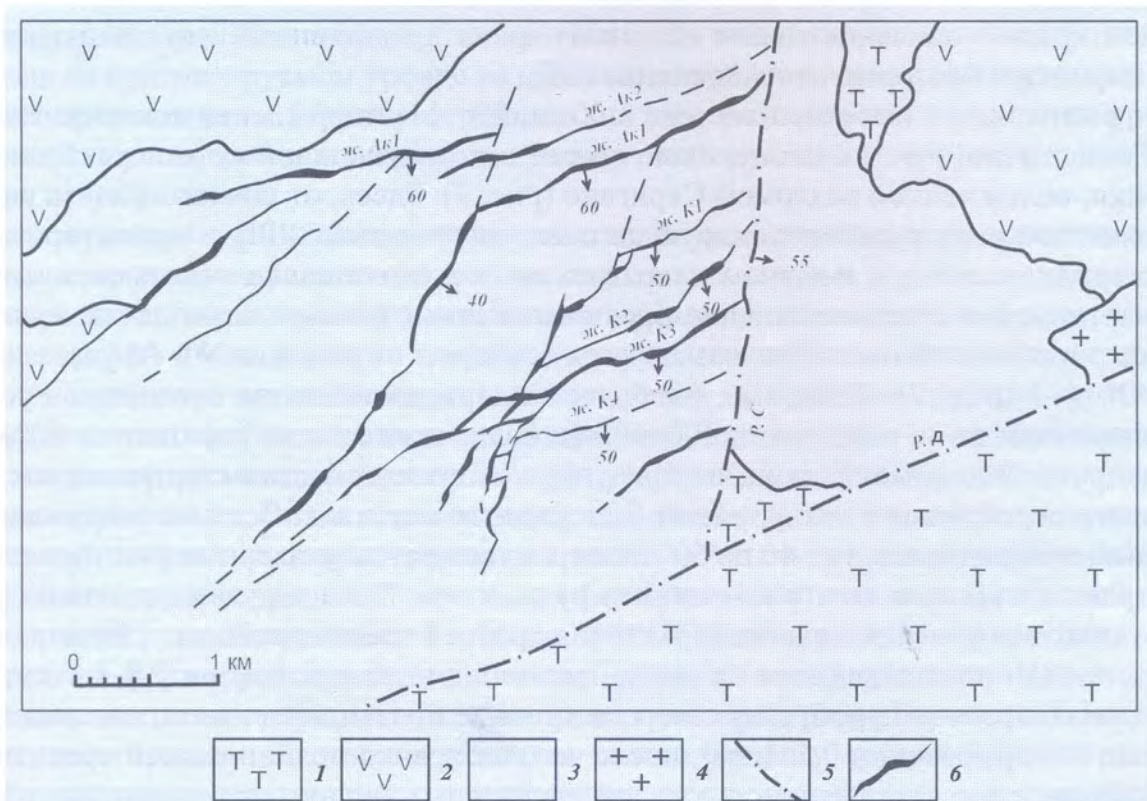


**Рис. 6.** Размещение золоторудных пучков (рудовмещающих разрывов и рудоносных прожилково-жильных тел) в андезито-базальтах на Агинском месторождении, по [8]; план; 1 – рудовмещающие миоценовые базальты и андезиты; 2 – рудоносные нарушения рудных пучков; 3 – следы скрытых поперечных нарушений и трещиноватости, трассирующие перекрытый вулканитами рудоконтролирующий Кирганикский разлом северо-западного направления; 4 – рудные тела (РТ), включая золоторудные столбы; подписаны названия наиболее важных

живший ряд погоризонтных планов этого месторождения и проанализировавший их М.М.Константинов [5], показали, что Агинский пучок золоторудных тел северо-восточного простирания распространяется как на северо-восток, так и на юго-запад от полосы, скорее всего, сомкнутых (и поэтому слабо развитых и плохо картируемых) поперечных разрывов (рис. 6). Они трассируют перекрытый позднемиоценовыми вулканитами (андезитами, андезито-базальтами) поперечный (северо-западный) Кирганикский разлом. Видимо, подобные разрывы, как следы поперечных нарушений и трещиноватости, проявляются на юго-западных флангах сопутствующих рудных зон Мираж, Кальцитовая, Туманная, Сюрприз и Валери (рис. 5). Отделяющиеся от них рудоносные разрывы и рудные тела (северо-восточного направления) размещаются на расстоянии от 30 до 70 м друг от друга. Они протягиваются как в главном Агинском рудном пучке, так и в упомянутых пучках Мираж, Валери, Туманный и других на северо-восток от полосы поперечных разрывов и, очевидно,

Интересно отметить также, что рудовмещающие разрывы и рудные тела образуются в глиноподобных полосах метасоматитов алуни-каолининового, а глубже – в зонах брекчии кварцевого состава. Таким образом, как западные, так и восточные жилы, включая Главную с её золоторудным столбом, сформировались в пределах очень короткого вертикального интервала, оценивающегося всего в 100 м (а для западных жил – 130 м). Это подтвердила и проходка выработок Капитальной штольни на горизонтальном уровне около 570 м, которыми была вскрыта лишь нижняя часть («хвост») Карамкенского рудного столба [6]. Проанализированные расстояния между субпараллельными рудными телами автор считает логичным трактовать как «шаг размещения» рудных тел, образовавшихся вдоль юго-западного бока Карамкенского разлома. Несомненно, что он выполнял роль ЛРН. Из руд месторождения, с содержанием благородного металла от 4 до 16 г/т, получено 38 т золота. По мнению автора, западнее жилы 9, в вертикальном интервале 850–700 м могут быть обнаружены новые слепые рудные тела. На проявление слепого оруденения имеется прямое указание С.Ф. Стружкова ([11], с. 48), для чего достаточно ревизовать имеющиеся материалы Геологической службы рудника.

Не менее интересные данные опубликовал М.М. Константинов ([5], рис. 175, с. 273) по Агинскому месторождению золотосеребряных руд. И.Д. Петренко [8], составивший ряд погоризонтных планов этого месторождения и проанализировавший их



**Рис. 7. Геологическая схема месторождения Куикино** (со снятыми рыхлыми отложениями), по [11]; план: 1 – плейстоценовые спёкшиеся туфы; 2 – плиоценовые андезиты; 3 – миоценовые андезиты, их лавобрекчии и туфы; 4 – малые штоки постмиоценовых кварцевых порфиров; 5 – рудоуправляющие разломы: С – Серигава, Д – Джотандагава; 6 – рудные жилы золотосеребряных руд с теллуридами благородных металлов (Первая и Вторая жилы Акенобе: ж. Ак 1 и ж. Ак 2, четыре жилы Куикино: ж. К1 – ж. К 4)

на глубину. Более того, золоторудные столбы с чрезвычайно высоким содержанием золота (несколько килограмм металла в тонне руды), локализованные в основной Агинской зоне и зоне Валери, размещаются исключительно только в узлах ограничения или пересечения упомянутыми поперечными «следами разрывов» рудоносных нарушений северо-восточного простирания. Примером их может служить Агинский столб или столб № 1, столбы Сюрприз, Валери, Находка, рудное тело Блуждающее и др. (рис. 6). Столбы и рудные тела в пучках размещаются на расстоянии 50–70 м. М.М. Константинов показал ([5], рис. 176, с. 276), что на зарисовках всех рудных столбов неотъемлемым структурным элементом их являются оруденелые поперечные зоны дробления. Очевидно, в пределах рудных столбов наиболее чётко проявилась рудоуправляющая и контролирующая роль поперечных разрывов-экранов (рис. 5) – следов проявления крупного Кирганикского, возможно, рудоуправляющего разлома ([5], рис. 174, с. 273). Указанное расстояние также может трактоваться как «шаг размещения» субпараллельных рудных тел, проявляющийся вдоль разлома и позволяющий прогнозировать новые слепые рудные тела вдоль него в вулканитах.

Изложенные материалы нашли подтверждение также на ряде зарубежных месторождений золота. «Шаг размещения» субпараллельных рудовмещающих разрывов и рудных тел достаточно достоверно чаще выявляется для месторождений сравнительно глубинного генезиса, образовавшихся в хрупких гранитоидных породах, в гнейсах и гранито-гнейсах, в песчаниках и умеренно метаморфизованных сланцах. Для близкоповерхностных месторождений примером его проявления, как упоминалось, могут служить золотосеребряные объекты Японской островной дуги, многократно освещённые в геологической литературе.

Приведём краткое описание только одного из ярких представителей вулcano-тектонической постройки – месторождения Куסיкино [13].

Оно расположено на северо-востоке о. Хоккайдо. Месторождение локализовано в северной и восточной частях миоценовой, скорее всего, купольной вулканотектонической постройки, осложнённой разломом Серигано (рис. 7). Здесь, от южного фланга разлома, выполняющего роль рудоконтролирующего нарушения типа ЛРН и ориентированного почти меридионально, в западном направлении последовательно отделяются наиболее чётко картируемые рудовмещающие брекчиевые зоны и залечивающие их золоторудные тела жильного облика. Они называются (с севера на юг) жилами Арукава и Куסיкино №№ 1–4 (рис. 7). Северные, наиболее выдержанные жилы Арукава и Куסיкино 1, 2 располагаются на расстоянии 300–600 м, более южные – на расстоянии 100–250 м друг от друга. Жильные зоны характеризуются золотосульфидно-кварцевым составом. Руды золотосеребряные с теллуридами благородных металлов. Все они погружаются на юг–юго-восток под углами от 40 до 60°. Автор полагает, что указанные расстояния могут также трактоваться как «шаг размещения» рудных тел. Полоса рудовмещающих разрывов и рудных тел унаследует два направления древней трещиноватости: сначала, вблизи разлома, жилы прослеживаются на запад–юго-запад не менее чем на 0,5–1,7 км, затем резко перегибаются и, приобретая северо-восточное простирание, вытягиваются на юг–юго-запад (на протяжении 0,5–1 км), после чего возвращаются к прежней ориентировке (рис. 7). Полностью протяженность каждой из северных жильных зон превышает 4–5 км. В плоскости рудных жил развиты столбы богатых руд, которые склоняются на юго-запад под углами 45–60°. Оруденение и столбы протягиваются непрерывно по падению на глубину до 300–350 м. Таким образом, «шаг размещения», протяжённость оруденения по падению и другие особенности повторяют параметры, характерные для вышеуказанных отечественных месторождений.

### Заключение

Изложенный фактический материал настоящей статьи достаточно убедительно свидетельствует о следующем.

1. Как на глубинных, так и на близповерхностных месторождениях золота при проявлении рудно-структурной связки «локальное рудоконтролирующее нарушение (или ЛРН) и отделяющиеся от него (косо- или поперечно-ориентированные) золоторудные тела и рудовмещающие разрывы, закономерно формируются на одинаковом расстоянии одно от другого. Это расстояние трактуется как «шаг размещения» рудных тел. В плане на большинстве месторождений он составляет от нескольких десятков до 100–250 м. Указанное расстояние, возможно, определяется длиной секций (звеньев) разрастающихся тектонических нарушений (в том числе рудовмещающих) и появлением, согласно представлений Е.Ш. Хиллса, повторяющихся боковых оперяющих сколов на флангах стыкующихся секций (звеньев). При осуществлении такой ситуации в зонах возникающих оперяющих сколов образуются чередующиеся вдоль разрывов типа ЛРН параллельные рудные тела. Они залечивают зоны таких разрывов и перегибы секций на смыкающихся флангах. При этом в вертикальном разрезе на глубинных месторождениях указанный «шаг размещения» фиксируется на глубинах, распространяющихся до уровня 600–1000 м от современной поверхности. Нет нужды подтверждать, что, применяя «шаг размещения», возможно прогнозирование и обнаружение новых рудных тел вдоль и на флангах ЛРН, включая

слепые рудные тела. При этом необходимо обратить внимание на то, что отсутствие рудного тела на прогнозируемом уровне не означает его действительного отсутствия, а предполагает проявление их (преимущественно) на нижерасположенных уровнях прогнозирования. Для уточнения положения прогнозируемого рудного тела в разрезе необходимо бурение веера скважин.

Однако, на некоторых близповерхностных месторождениях «шаг размещения» рудных тел, в отличие от выше указанного, установлен в вертикальном диапазоне, характеризующимся чрезвычайно малым вертикальным интервалом – от современной поверхности до глубин всего 100–150 м. Вместе с тем, локально руды некоторых выявленных золоторудных столбов непрерывно прослеживаются от их верхней «кромки» на глубины до 400–500 м (в «хвосте» столба). Отдельные жилы непрерывно протягиваются на глубины до 700–900 м, например, на месторождении Байа-Сприе (Румыния). Чрезвычайно ограниченный вертикальный размах близповерхностного оруденения и, вместе с тем, непрерывность богатых руд и некоторых жил наводят на мысль: считать ли этот диапазон единственным уровнем оруденения, в частности, для близповерхностных месторождений, или это лишь верхний рудный ярус общей и более протяжённой «колонны оруденения». Напомним, что она формируется достаточно неглубоко от палеоповерхности. Именно, учитывая изложенное, можно предполагать, что руды некоторых разрабатываемых близповерхностных месторождений по сути являются только верхним ярусом более протяжённой в целом «колонны» оруденения», проявляющегося как на верхнем, так и, возможно, на более глубоком уровне. Напомним, что подобная ситуация установлена скважинами на Карамкене (в частности, в 500–700 м глубже нижней границы возможного верхнего яруса оруденения). О вероятной локализации на одном месторождении, т. е. одном рудоносном участке руд, образованных в пределах двух разобщённых (по вертикали) ярусов оруденения и прогнозирование его, высказывался М.М. Константинов ([5], рис. 208, с. 329), а ранее другие геологи [3, 10].

Автор, в пределах глыбово-складчатых сооружений вулканоплутонических поясов, исходя из наблюдаемых фактов, следующим образом представляет себе одновременное образование руд на двух различных ярусах (уровнях) оруденения.

По-видимому, сначала возникают рудовмещающие разрывы и трещиноватость на глубине 700–1000 м от палеоповерхности, в среде, метасоматически превращённой в карбонатно-кварцевые образования. Последние по сути представляют вторичные кварциты. Тектонически оживляясь и подвергаясь оруденению, на уровне нижнего яруса обособляются руды глубинного облика с высокопробным золотом. В частности, теллуриды из гидротермальных растворов здесь кристаллизуются редко. Нижний уровень оруденения, видимо, может прогнозироваться на многих близповерхностных месторождениях золота.

Вверх по разрезу карбонатно-кварцевые образования постепенно сменяются эпидот-карбонатно-кварцевыми, а затем несколько выше и гидрослюдисто-эпидот-корренсит (минерал из группы хлоритов) – кварцевыми. Ещё выше, на уровне верхнего яруса оруденения, примерно в 100–500 м ниже дорудной палеоповерхности, в зоне метасоматитов названного состава появляются преобладающий ещё выше каолинит, а также адуляр, и сохраняются реликтовые скопления хлорита (в том числе корренсита) и гидрослюды. На этом уровне в глиноподобных метасоматических зонах и рассекающих разрывах происходит формирование близповерхностных ритмично-полосчатых руд низкопробного золота, серебра и теллуридов верхнего рудного яруса, охватывающего очень малый вертикальный диапазон (100–150 м, реже до 300 м и более). Под подошвой палеоповерхности рудовмещающие раз-

рывы, отделившиеся в виде серии сколовых ветвей от нарушений типа ЛРН, тектонически оживляются в главенствующих каолининовых зонах.

3. Необходимо упомянуть также о чётко выдвинувшейся в последнее время роли рудоконтролирующих разломов и разрывов типа ЛРН при поисках близповерхностных руд. Действительно, на ряде месторождений всё больше подтверждается главенствующая роль рудоконтролирующих нарушений (разломов и разрывов типа ЛРН), с которыми пространственно увязываются отделяющиеся от них мощные рудоносные зоны экономически-промышленных близповерхностных руд (месторождения Карамкен, Дукат, Джульетта, Аметистовое, Кубака и Биркачан, Купол, Агинское, Озерновское и др.). Думается, что проявляющиеся вдоль и вблизи зон таких рудоконтролирующих нарушений мелкие одиночные прожилки, гнёзда, вкрапленность окисленных рудных минералов, несомненно свидетельствуют о двух перспективных геологических обстановках: 1) о проницаемости для гидротермальных растворов примыкающих пород и возможной локализации руд скрытого и слепого типа вблизи нарушений ЛРН; 2) поэтому представляется, что фланги рудоконтролирующих нарушений, накладывающихся на вулканотектонические постройки в нескольких километрах от обнаруженных (и названных) месторождений, должны быть вновь опоискованы или отревизованы, а участки с предпосылками оруденения детально изучены и разбурены.

4. Наконец, видимо, настало время напомнить о том, что близок пик (если уже не пройден) необычайно высокой и стабильной мировой цены на золото (40–45 долл/г, начиная с 2010 г), позволяющий рентабельно вести разведку и поиски некоторых несколько рискованных геологических объектов (например, возможно, весьма перспективных джаспероидных руд тонкого золота в известняках и доломитах на Ольче, слепых рудных тел на Балее, Дарасуне, Кочкаре, Многовершинном месторождениях и др.), а также разработку руд на глубинах около 1000 м и даже более от поверхности на ряде истощённых месторождений, но с сохранившейся инфраструктурой, не требующей новых капитальных вложений.

## Литература

1. Бородаевский Н.И., Черемисин А.А. Критерии прогнозирования жильного оруденения на рудных полях Урала // Тр. ЦНИГРИ. 1983. Вып. 173. С. 13–21.
2. Бородаевский Н.И., Черемисин А.А., Покусаев В.И., Яновский В.М. Кочкарское месторождение. Геология золоторудных месторождений СССР. М., 1984. Т. 1. С. 59–95.
3. Вольфсон Ф.И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. М. Госгеолтехиздат, 1953. 305 с.
4. Вольфсон Ф.И., Некрасов Е.М. Основы образования рудных месторождений. М.: Недра, 1986. 204 с.
5. Золоторудные месторождения России. / Отв. ред. М.М. Константинов. М.: ООО «Акварель», 2010. 349 с. Приложения.
6. Некрасов Е.М. Возможное проявление слепого оруденения на нижних уровнях месторождения Балей и механизм формирования богатых руд на близповерхностных месторождениях золота и серебра // Изв. вузов. Геология и разведка. 2017. № 5. С. 40–51.
7. Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Кортаев В.А., Поленов Ю.А. Месторождения золота Урала. Екатеринбург, 2001. 621 с.
8. Петренко И.Д. Золотосеребряная формация Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Изд-во Спб карт. фабрики ВСЕГЕИ, 1999. 116 с.
9. Смолин А.П. Результаты геолого-структурных наблюдений в пределах Кочкарского гранитоидного массива. С. 980–173. // Структурная документация золоторудных месторождений. М.: Недра, 1975. 236 с.
10. Смирнов В.И. Гидротермальные месторождения. С. 234–345. Геология месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1976. 698 с.

11. Стружков С.Ф., Константинов М.М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Научный мир, 2005. 320 с.
12. Тимофеевский Д.А. Геология и минералогия Дарасунского золоторудного региона. М.: Недра, 1972. 260 с.
13. Хиллс Е.Ш. Элементы структурной геологии. М.; Недра, 1967. 478 с.
14. Mutsuhisa Y. Oxygen and Carbon Isotope in Gold-bearing Hydrothermal Veins in the Kushikino mining area, Japan // Econ. Geol. 1985. V. 80. № 2. P. 283–293.

## О РУДОПОДВОДЯЩИХ КАНАЛАХ БЛИЗПОВЕРХНОСТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТОСЕРЕБРЯНЫХ РУД

*Показано, что на многочисленных близповерхностных месторождениях золотосеребряных руд (иногда с теллуридами), развитых на Востоке России, удаётся выявить рудоподводящие каналы трещинного типа. От последних начинаются пучки и серии жильно-прожилковых рудных тел или зон золотосодержащих метасоматитов. В тех и других вблизи рудоподводящих каналов устанавливаются участки с бонанцевыми содержаниями благородных металлов. Доля их запасов в сумме иногда достигает 70 %. Разведочное бурение вдоль безрудных флангов рудоподводящих каналов может выявить новые скрытые руды в интервале глубин от 100–200 до 400 м и более и пополнить запасы месторождений.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а: месторождение; рудоподводящее нарушение; рудные зоны; рудные тела; золото; серебро; теллуриды благородных металлов.*

*(Известия вузов. Геология и разведка. 2017. № 1. С. 37–49).*

В связи с существенным смещением разведки и эксплуатации месторождений золота в крайние восточные районы нашей страны, в пределы развития передовых околоконтинентальных вулканоплутонических поясов и систем островных вулканоплутонических дуг, проблема выявления рудоподводящих каналов может оказаться актуальной для проведения геологоразведочных работ (ГРР).

Действительно, в этих районах процессы близповерхностного интрузивного магматизма и вулканизма были чрезвычайно сближены во времени проявления и местами чередовались, а возможные пути движения рудоносных гидротермальных потоков и образование молодых раннечетвертичных месторождений могли существенно зависеть от особенностей развития и положения рудоподводящих нарушений. Естественно, от понимания подобной геологической ситуации во многом зависят результаты ГРР.

Авторы приводят лишь краткое обобщённое и отчасти упрощённое описание результатов своей работы на примере близповерхностных месторождений Камчатки и Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП), местами сопоставляя приведённые данные с особенностями широко проявленных в примыкающих районах зарубежных месторождений рассматриваемого типа.

В пределах Камчатки и ОЧВП давно установлено, что близповерхностные месторождения золотосеребряных, а иногда и теллуридных руд принадлежат к месторождениям трещинного типа, которые одним из первых выделил Ф.И. Вольфсон [1]. Рудные тела их представлены линейными прожилково-жильными сульфидно-кварцевыми и кварцевыми

образованиями, развитыми преимущественно в аргиллизированных и пропилитизированных вулканитах или в изменённых субвулканических – гипабиссальных интрузивных породах. Изредка рудные тела образуют зоны различных метасоматитов от кварцевого и кварц-мусковит-серицитового до кварц-хлоритового, кварц-адуляр-алунит-гидрослюдистого и карбонатного или эпидот-тремолит-карбонатного составов. Напомним также, что все наиболее молодые близповерхностные месторождения локализованы в пределах палеовулканов. Здесь месторождения формируются в эффузивно-экструзивных, жерловых и пластовых телах, иногда в проникающих в них штоках и дайках гипабиссальных интрузивных пород. Все перечисленные образования используют частью приоткрытые тектонические нарушения и в целом слагают вулканотектонические постройки (ВТП). Последние принадлежат преимущественно к двум структурно-морфологическим типам – кальдерным и вулканокупольным образованиям.

Подавляющее большинство рудных тел – секущие слоистость вулканитов и осложняющих их вулcano-плутонических форм. Среди месторождений по различию морфологических черт и «рисунка» рудовмещающих нарушений обычно выделяют три типа: 1) пучки сближенных и обычно соединяющихся жильно-прожилковых тел или пучки линейно-вытянутых золотосодержащих метасоматитов; 2) одиночные жильные тела и метасоматические залежи; 3) намного реже встречающиеся трубки и воронкообразные взрывные брекчии. Наиболее часто вмещают руды окварцованные, аргиллизированные и, в меньшей степени, окаймляющие их пропилитизированные андезиты, базальты, иногда риолиты и пирокласты названных пород – туфы и туфобрекчии.

Как правило, обнаруживаемые пучки жильно-прожилковых рудных тел максимально прослеживаются (с перерывами) на 3–3,5 км. Местами они сменяются участками штокверковых руд. Чаше пучки рудоносных разрывов и золотосодержащих метасоматитов характеризуются протяжённостью от нескольких сотен до 500–800 м при мощности, изменяющейся от нескольких долей метра до нескольких метров. Лишь на перегибах и сочетающихся с ними разветвлениях золотосеребряных рудных тел мощность с боковыми золотосодержащими метасоматитами и прожилками возрастает до 10–15 м, а иногда в участках обильного разветвления достигает даже 30 м и более на сравнительно непротяжённых (несколько десятков метров) интервалах. В пучках, сложенных протяжёнными рудными телами, между расходящимися граничными разрывами, жилами или прожилками, нередко возникают довольно многочисленные оперяющие их сколы и отрывы, также залечивающиеся рудами. При достаточно обильной локализации таких образований, содержания золота, включая примыкающие метасоматиты, характеризуются бонанцевыми значениями. В подобных участках и рудных столбах содержания золота вырастают до нескольких сотен грамм на тонну, а изредка измеряются несколькими килограммами металла в тонне руды. К сожалению, по вертикали и склонению подобные рудные тела прослеживаются обычно только на несколько десятков метров. Дело в том, что их контролируют исчезающие (или выпрямляющиеся) перегибы и разветвления рудовмещающих разрывов, которые постепенно обедняются сопровождающими их прожилками, содержащими благородные металлы. Подобные ситуации наблюдаются при проявлении диагонально протягивающихся соединительных разрывов и развитых в узлах смыкания золоторудных жил и прожилков.

Обычный вертикальный размах золотосеребряного (иногда и золототеллуридного) жильного оруденения, а также и золотосодержащих метасоматитов на месторождениях колеблется от 50 до 300–400 м. Однако в отдельных стержневых жилах с сопутствующими

прожилками оруденение обнаруживается непрерывно на протяжении 500–700 м. На трёх месторождениях – Сильвертон-Теллурид и Крипл-Крик в США, а также Байя-Сприе в Румынии оруденение либо приближается к вертикальному размаху в 1 км, либо несколько превышает его [3].

Главным минералом руд выступает кварц. В жильных рудах содержание рудных минералов (сульфидов, сульфосолей, теллуридов и др.) колеблется от 0,5 до 2–3 %, но местами поднимается до 10–20 %. Золото наблюдается в самородных выделениях неправильной формы, размером обычно до 10 мкм и, кроме того, присутствует в виде микропросечек и редко самостоятельных вкрапленных микрозёрен в пирите, халькопирите, блёклых рудах, галените, а также в довольно часто распространенных теллуридах и очень редких селенидах. Для руд наиболее характерны крустификационные и колломорфно-полосчатые текстуры, нередко с проявлением как бы «обволакивания» тектонических обломков изменённой породы. Часто встречаются руды брекчиевой текстуры. Руды многостадийные и их образование всегда завершается выделением кальцита и некоторых других карбонатов и, в том числе, карбонатов марганца. Описанный комплекс минералов характерен как для жильных руд, так и для руд представленных метасоматитами.

Метасоматиты, как правило, образуют полосы брекчий, заключённых между тектоническими разрывами или примыкают к ним с одной или обеих сторон, распространяясь в стороны на несколько метров. Разрывы в метасоматитах часто сближены, сопровождаются опережающими трещинами и залечивающими их нередко очень мелкими (до волосовидных) прожилками.

Состав метасоматитов разнообразен. Среди дорудных, незолотоносных, развиты кварцевые и пирит-кварцевые, а местами пирит-серицит-кварцевые разновидности. Метасоматиты, содержащие золото, часто характеризуются кварцевым и кварц-серицит-адуляр-гидрослюдистым, кварц-хлоритовым с адуляром, кварц-каолинит-монтмориллонит-алунитовым составами. Как правило, в метасоматитах довольно широко распространены гидрослюдистые минералы, адуляр и алунит. Поздние метасоматические образования, помимо карбонатов (преобладающего кальцита), иногда заключают эпидот и тремолит.

Концентрации золота характеризуются очень широким диапазоном. Рядовые жильные и метасоматические руды содержат золото от нескольких долей до нескольких десятков граммов на тонну и более. Особенностью близповерхностных руд является нередко наложение мелких и мельчайших прожилков существенно сульфидно-кварцевого состава с довольно обильными золотинками, чешуйками, плёнками и золотосодержащими рудными минералами, теллуридами золота и серебра в прожилках и боковых метасоматитах. Изредка встречаются участки с тонкой вкрапленностью сульфидов, теллуридов и золота, а также с волосовидными сульфидно-золотоносными прожилками в метасоматитах. Напомним, что такие участки жильных и метасоматических руд характеризуются бонанцевыми содержаниями золота, достигающими от несколько сотен грамм до нескольких килограмм металла в тонне руды. Чаще объём таких руд, сравнительно небольшой, ограниченный в плане и в вертикальном направлении преимущественно первыми десятками метров. Естественно, такие руды резко увеличивают запасы металла на месторождении. Нередко золото в столбах составляет до 70 % запасов. Подмечено, что расстояние между подобными богатыми участками в одной рудной зоне, включая золоторудные столбы, чаще составляет от 50–150 до 300–500 м [2].

На близповерхностных, как и на прочих месторождениях, в дорудные этапы подготовки трещинной структуры возникают и сохраняются «сухими» некоторые из разрывов,

как об этом недавно напомнили авторы настоящей статьи [3, 4]. Упомянутые разрывы остаются таковыми, не развиваясь в течение, может быть, даже нескольких этапов трещинообразования, не сопровождавшихся появлением на их уровне минерализованных растворов. Однако в отличие от более глубоких месторождений формирование близповерхностных золотосеребряных месторождений, а также их участков с теллуридными рудами происходит сравнительно быстро и кратко, сразу же в период или вслед за трещинообразованием, с которым синхронно проникают рудоносные гидротермальные потоки.

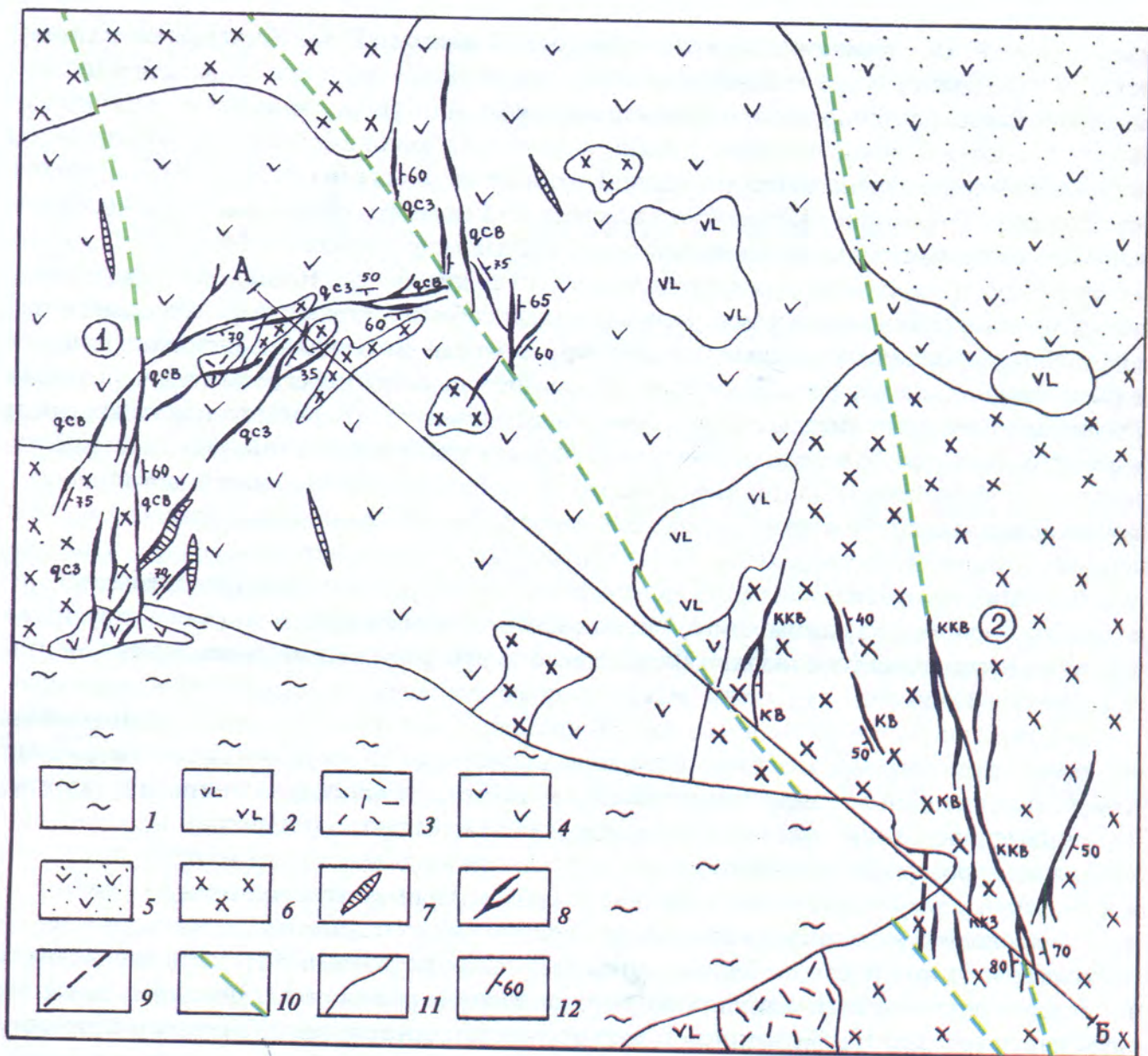
Если «сухие» трещины успевают экранироваться дорудными (существенно кварцевыми) метасоматитами или «закрываются» иными способами и стенки разрывов смыкаются, а на глубине из-за краткого периода развития и вязкости сохраняются микрополости, подобные «корни» оказываются доступными для поступающих перегретых и находящихся под сильнейшим давлением флюидов, содержащих элементы гидротермального золотосодержащего раствора. В результате от корневой части таких нарушений поднимается к палеоповерхности поток гидротермального раствора. Именно он заполняет любую систему разрывов, связанных на верхних уровнях с ранее «сухими» трещинами, трансформирующимися в рудоподводящие каналы.

Действительно, такая ситуация могла сложиться на ряде близповерхностных месторождений, например, Родниковом и Вилютинском, Оганчинском, Агинском и других на Камчатке, наконец, на Карамкене и Джульетте, а за рубежом – на месторождениях Марта-Хилл (Новая Зеландия), Хишикари, Накасэ и других на Японских островах.

Так, на Родниковом и Вилютинском месторождениях (рис. 1) в пределах Верхнепаратунского рудного узла подобные рудоподводящие каналы оказались представленными сравнительно мощными разрывами северо-западного – меридионального направления. Это «живые» нарушения. Их южные фланги являлись открытыми и доступными для поднявшихся гидротермальных растворов и подверглись оруденению, как и отделившаяся от них система субмеридиональных оперяющих сколов. Примечательно, что жильное оруденение в последних по мере удаления от «питающего» рудоподводящего канала постепенно сокращается по мощности и обедняется благородными металлами [9]. Постепенно сходит на нет и оруденение в самом канале, и исчезают боковые рудные тела, связанные со сколовыми нарушениями. На Вилютинском месторождении оруденение в боковых оперяющих сколах также сопровождается только оруденелый южный фланг субмеридионального разлома (рис. 1), а боковые рудные жилы всяческого бока начинаются только от одного участка среднего рудоподводящего канала, оказавшегося доступным для растворов.

Ещё более поразительная картина открывается на северном фланге Мутновского месторождения. Оно также приурочено к кальдерной постройке почти правильной округлой формы. Поперечник её превышает 3 км (рис. 2). Кальдера заполнена миоцен-плиоценовыми базальтами и андезитами, а на южном фланге постройки – их туфами и агломератами. В северной части её они прорваны небольшим гипабиссальным штоком диоритов. Здесь в наименее эродированной части кальдеры развилась система мало- и убогосульфидно-адуляр-карбонатно-кварцевых, а также сульфидно-адуляр-кварцевых жил с пиритом, халькопиритом, блеклыми рудами, сфалеритом, галенитом и другими реже встречающимися рудными минералами. Самородное золото локализуется в кварце. Наряду с ним развиты теллуриды золота и серебра.

Система жил различной протяжённости насчитывает почти 100 единиц. В центральной части среди полосы рядовых жил мощностью около 1 м локализовались 2–3 наиболее мощные ствольные жилы. Главной выступает жила Определяющая, мощность которой



СЗ

Разрез по линии А-В

ЮВ

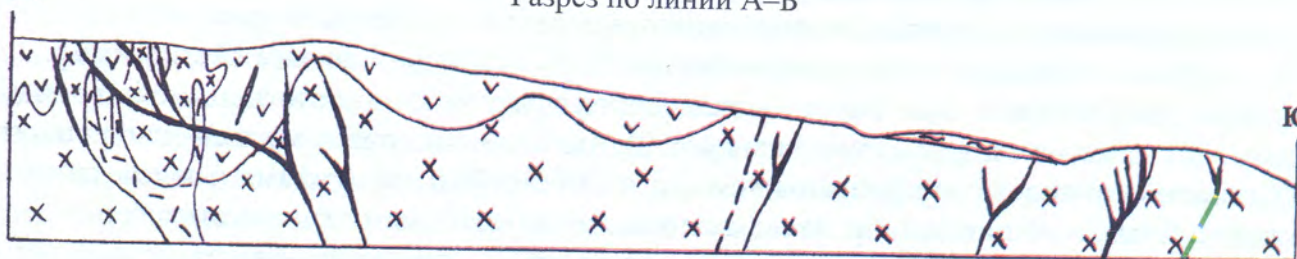


Рис. 1. Геолого-структурная схема фрагмента ещё недостаточно разведанного Верхнепаратунского узла, Вилучинского (Вилучинского) (1) и Родникового месторождений (2) [9]; масштаб условный: 1 – среднечетвертичные игнимбриты дацитового состава; 2–3 – позднемиоцен-плиоценовая базальт-андезит-дацит-риолитовая формация: 2 – андезитобазальты, андезиты, их туфы, агглютинаты; 3 – субвулканические тела дацитов, риодацитов, риолитов; 4–7 – миоценовая андезит-диоритовая формация: 4 – андезиты и их туфы, 5 – туфы андезитобазальтового, андезитового составов, андезитобазальты, андезиты, 6 – интрузивы диоритов, диоритовых порфиритов, габбро-диоритов, 7 – дайки диоритовых порфиритов, андезитов; 8 – жилы кварцевые (q), кварц-карбонатные (kk), карбонатные (k) с сульфидами менее 1 % и с повышенным (до 10–15 %) количеством сульфидов (с), жилы выполнения трещин (ккв) и замещения (з); 9 – разрывные нарушения; 10 – рудоподводящие разломы; 11 – предполагаемые рудоподводящие каналы – тектонические швы; 12 – элементы залегания жил

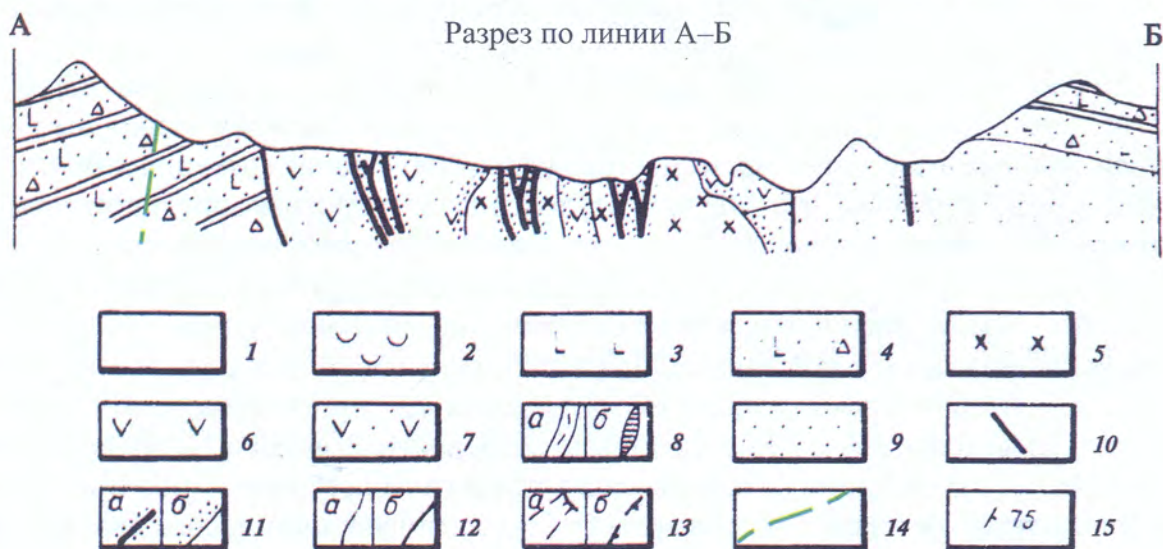
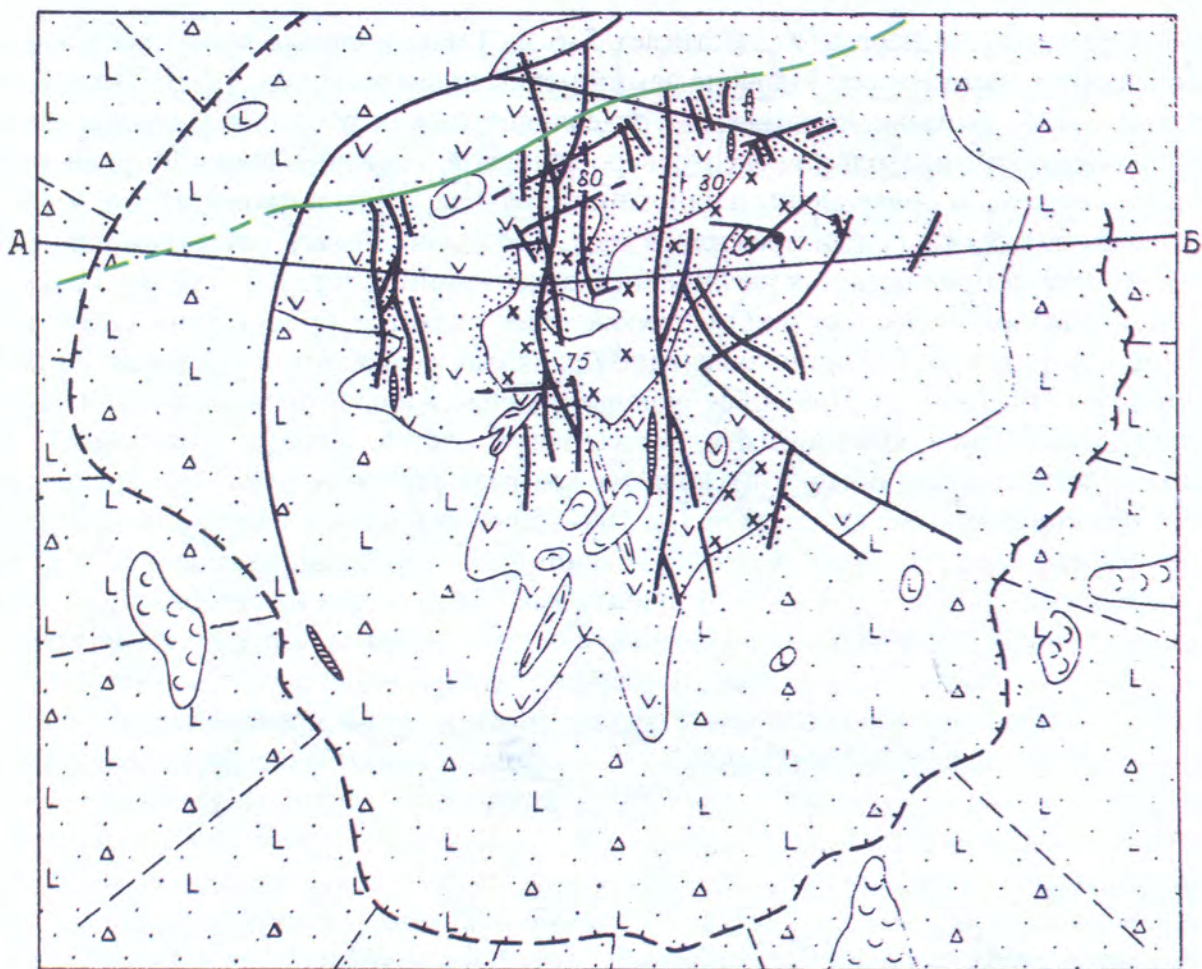


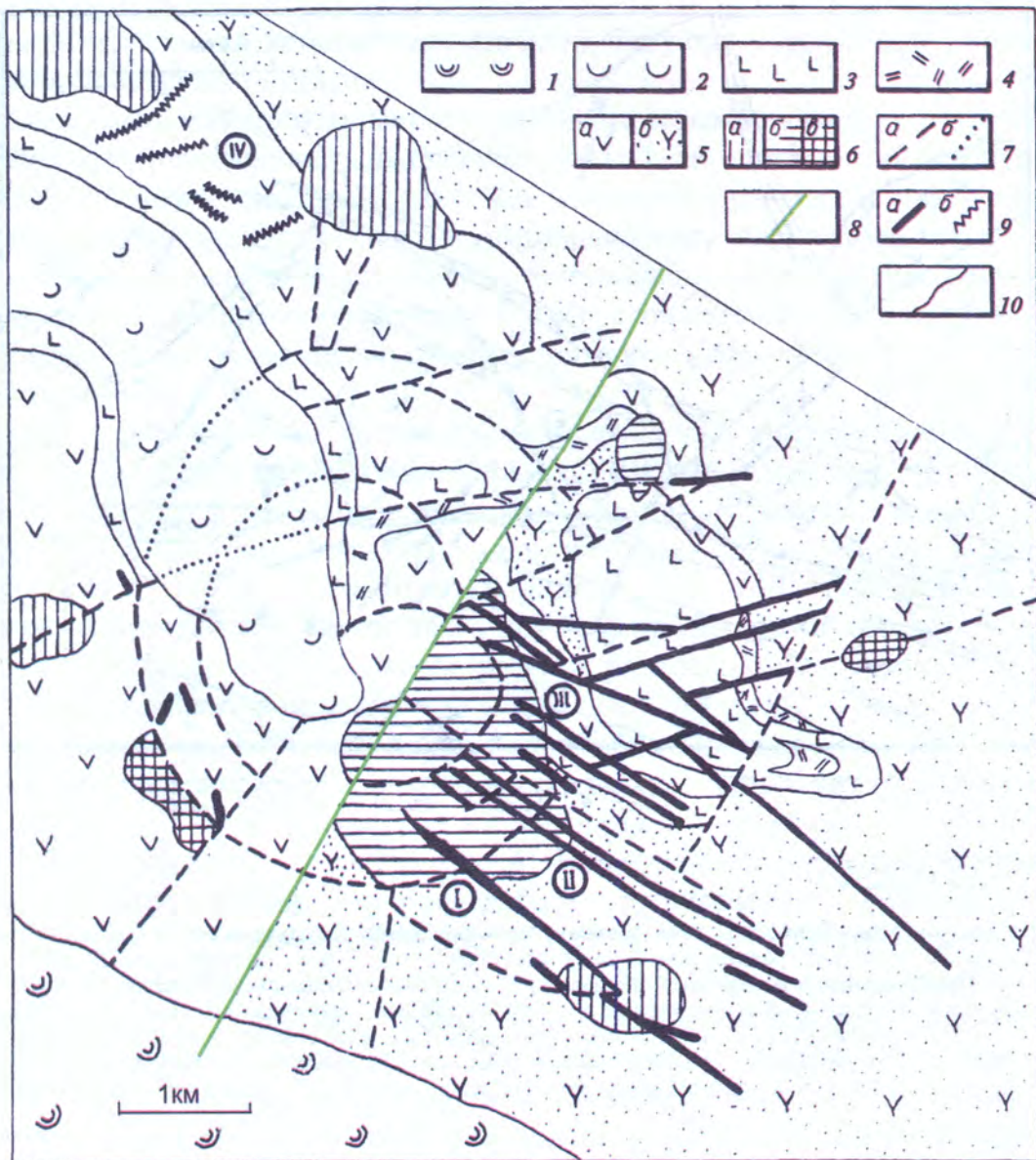
Рис. 2. Схема размещения рудных тел на недостаточно разведанном Мутновском месторождении; рудные тела отделяются и распространяются на юг от поверхности рудоподводящего тектонического канала (по материалам [2, 9] с дополнениями авторов); масштаб условный: 1-2 – четвертичные образования: 1 – рыхлые отложения, 2 – потоки раннечетвертичных базальтов; 3-4 – позднемиоцен-плиоценовая базальт-андезит-дацит-риолитовая формация: 3 – субвулканические тела и дайки базальтов, андезитобазальтов, 4 – нерасчленённые базальты, андезиты и их туфы, агломераты; 5-8 – интрузивы: 5 – диориты, 6 – субвулканические тела и дайки андезитов, 7 – андезиты и их туфы, 8 – дайки риолитов (а), базальтовых андезитов (б); 9 – нерасчленённые вулканогенно-осадочные образования; 10 – кварцевые жилы; 11 – кварц-серицитовые метасоматиты (а), роговики (б); 12 – границы геологические (а) и тектонические (б); 13 – склоны палеовулкана (а) и граница его кальдеры (б); 14 – рудоподводящий канал – тектоническое нарушение и его фланги; 15 – элементы залегания жил

местами в раздувах на перегибах достигает 5–6 м. Такие плавные перегибы и в других рудовмещающих нарушениях довольно закономерно проявлены через 200–300 м в «шаге размещения». При этом они сочетаются с отделяющимися от разрывов многочисленными боковыми оперяющимися сколами север–северо-западной и северо-западной ориентировок. Они также залечены и превращены в однотипные рудные жилы и прожилковые зоны. Развитие трещиноватости, гнёзд и прожилков между отделяющимися боковыми нарушениями, как правило, сопровождается увеличением содержаний золота в 2–3 раза и более.

Однако главной особенностью месторождения является присутствие слабо проявленной на поверхности, частично залеченной редкими желваками и прожилками кварца, субширотной зоны (рис. 2). Почти все рядовые рудные жилы и прожилки начинаются от этого нарушения, имея золотосульфидно-кварцевый состав. Правда, содержания золота невысокие, достигающие обычно нескольких граммов на тонну руды при сравнительно высоких значениях количества серебра (до 100–150 г/т и более). Содержание цветных металлов в сумме также высокое для месторождений рассматриваемого типа – 3–5 % [9]. По мере удаления от субширотной зоны скопления как благородных металлов, так и цветных постепенно снижаются, а маломощные жилы местами сменяются прожилками или вовсе исчезают. Аналогичная ситуация наблюдается и с жильно-прожилковым оруденением в оперяющих сколах. Всё изложенное заставляет считать, что в южном направлении, при удалении от «питающей» субпоперечной зоны, происходило обеднение рудоносных растворов. Предполагается, что они явно поступали из более глубоких уровней указанной поперечной зоны, которая выполняла роль рудоподводящего нарушения – канала. Изложенные факты подтверждаются на примере и стволых жил, прослеженных от поперечной зоны-канала более чем на 2 км. В них также сокращается концентрация золота (за счёт убывания числа включений самородных золотинок и теллуридов в кварце, а также, видимо, за счет уменьшения концентрации золотосодержащих пирита, блёклых руд и халькопирита). Южные фланги стволых жил почти всюду кварц-кальцитовые и содержат совершенно небольшую долю рудных минералов. Мощности рудных образований убывают, и они выклиниваются в агломератах и туфах базальтов. При наличии одиночных мелких жил, обнаруженных в восточной части месторождения, описанная ситуация позволяет считать почти подтверждённым, что в период оруденения субширотная зона, протягивающаяся вдоль северной границы месторождения, служила рудоподводящим каналом.

В отличие от рассмотренных выше, золоторудные тела другого северокамчатского месторождения – Озерновского, представлены мощными метасоматитами. Месторождение приурочено, по-видимому, к вулканокуполу, ядерная часть которого сложена четвертичными андезитами (иногда базальтами), а также обрамляющими их туфами. Поперечник постройки, скорее всего, превышает 5–6 км. Кое-где названные покровные вулканы прорваны мелкими, видимо, жерловыми телами базальтов, андезитов и гипабиссальных диоритов.

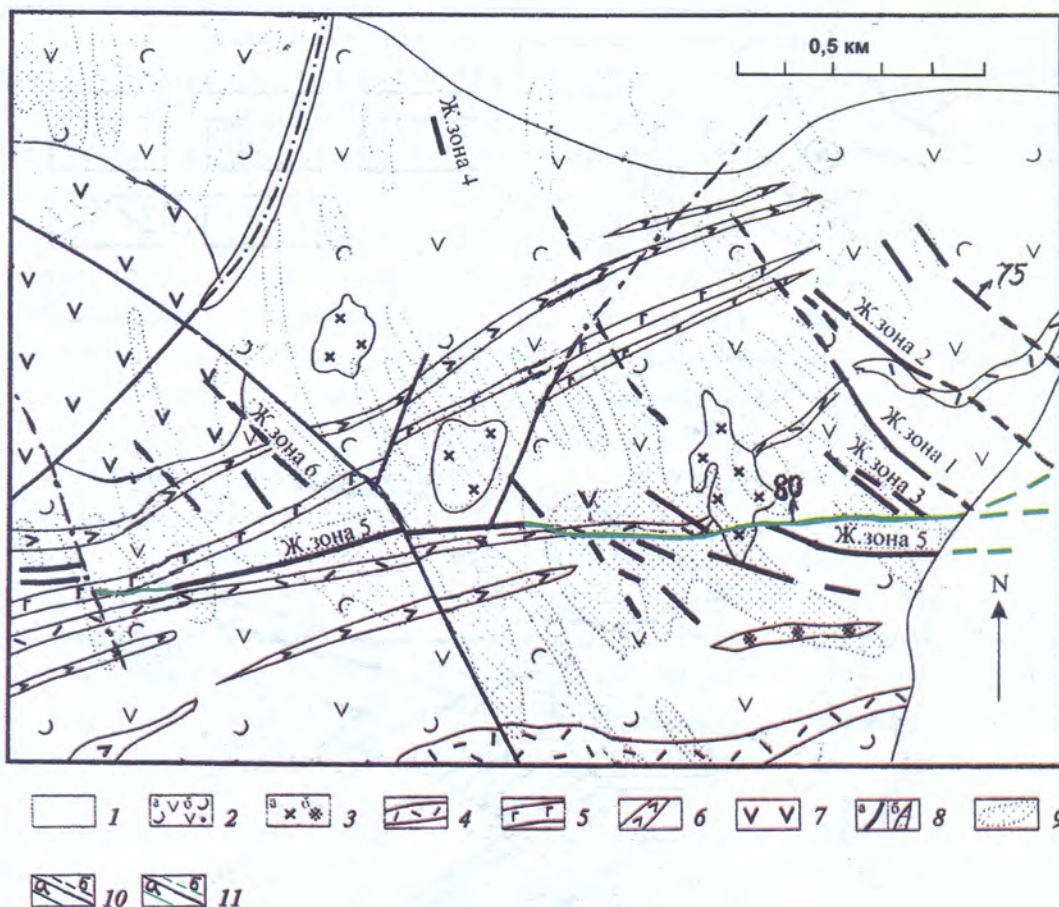
На месторождении удалось проследить брекчированную зону небольшой мощности, непрерывно пересекающую центральную часть описываемой постройки с северо-востока на юго-запад. Она как бы делит месторождение на две части. Юго-восточная вмещает львиную долю золотосеребро-теллуридного оруденения. Оно развито в мощных (изредка до 120 м) субпараллельных зонах метасоматитов северо-западного простирания, komponующихся в три участка (рис. 3), названных (с юга на север) БАМ или Бамский (I), Промежуточный (II) и Хомут (III). Протяжённость первого превышает 8 км, но разведанное оруденение локализуется в существенно меньшем интервале (около 1200 м), примыкающему к поперечному северо-восточному нарушению. Аналогичная ситуация характеризует и два



**Рис. 3. Строение Озерновского месторождения** (по материалам [2, 9], с дополнениями авторов); I–IV отдельные участки месторождения: I – Бамский, II – Промежуточный, III – Хомут, ГУ – Прометей; 1 – позднечетвертичные базальты; 2 – раннечетвертичные базальты; 3–6 – неогеновые образования: 3 – базальты, андезито-базальты, реже их туфы и туфобрекчии, 4 – андезиты, дациты с прослоями туфов средне-кислого состава, 5 – андезиты (а) и их туфы (б), 6 – субвулканические тела базальтов, андезито-базальтов, андезитов (а), диоритовых порфиров и диоритов (б), дацитов (в); 7 – разрывы: прослеженные (а), перекрытые четвертичными отложениями (б); 8 – рудоподводящий канал – тектоническое нарушение и его фланги; 9 – метасоматиты вторичных кварцитов, рудоносные на значительных интервалах (а) и кварцевые жилы (б); 10 – геологические границы

других участка, расположенных параллельно Бамскому, но сложенных менее протяженными зонами оруденелых метасоматитов (рис. 3).

По сведениям, приведённым Ю.М. Щепотьевым [9], И.Д. Петренко [6], а в последнее время обобщённым М.М. Константиновым [2], руды развились среди площадных аргиллизитов (сменяющихся пропилитами), в которые были преобразованы четвертичные туфы андезитов палеовулкана. В аргиллизитах по тектоническим нарушениям сформировалась система зон вторичных кварцитов, в каждой из которых образовались жиллообразные тела с прихотливо изменяющейся мощностью от 6–10 до нескольких десятков метров. Вторичные кварциты сложены комплексами метасоматитов. Среди них существенно преоб-



**Рис. 4.** Схема золотосеребряного (с теллуридами) месторождения Джульетта (на поверхности западная часть рудоподводящего канала залечена сравнительно богатой жилой №5). 1, 2, 3, 4, 6 – рудные зоны (по материалам [2, 7]); 1 – четвертичные аллювиальные и ледниковые отложения; 2 – раннемеловые андезиты (а) и их туфы (б); 3 – раннемеловые штоки кварцевых диоритов (а) и диоритовых порфириров (б); 4–6: раннемеловые дайки: 4 – риолитов; 5 – риодацитов; 6 – дацитов; 7 – субвулканические андезиты; 8 – рудные тела: жильные зоны (а) и зоны минерализации (б); 9 – вторичные ореолы рассеяния золота; 10 – разломы прослеженные (а), перекрытые четвертичными отложениями (б); 11 – рудоподводящий канал, прослеженный (а), восточное продолжение рудоподводящего тектонического нарушения (б)

ладают дорудные кварцевые, которым подчинены золотосодержащие кварц-серицитовые, кварц-диккитовые и кварц-адуляр-каолинитовые, а также кварц-адуляр-монтмориллонит-гидрослюдистые комплексы.

Вблизи северо-восточного нарушения, которое, по-видимому, выступало рудоподводящим каналом, в зонах метасоматитов резко преобладают теллуриды золота и серебра. В юго-восточном направлении, по мере удаления от канала, они постепенно сменяются самородным золотом (с золотиными до 50–60 мкм в поперечнике) и незолотоносным голдфилдитом. Последний на фланге зон начинает преобладать, и оруденение сильно обедняется.

Тектонические швы, развитые в центральных частях метасоматических зон и контролируемые их, существенно сближены, нередко соединяются и разветвляются, а также оперяются оруденелыми сколовыми и, возможно, отрывными трещинами. В результате в пределах описанных участков широко развиваются желваки, мелкие гнезда, прожилки золотоносного кварца (вплоть до волосовидных), а также золотосодержащие комплексы метасоматических пород. Содержания золота поднимаются до бонанцевых. Максимально отмечены содержания благородного металла до 876 г/т, а в одном рудном столбе – 1530 г/т. К сожалению, подобная обстановка прослеживается от поперечного нарушения на протяжении 700–800 м, а далее на юго-восток оруденение, сохраняясь, существенно обедняется

благородными металлами. Установлено, что на глубину оно максимально прослеживается на 450–500 м, но обычно – меньше.

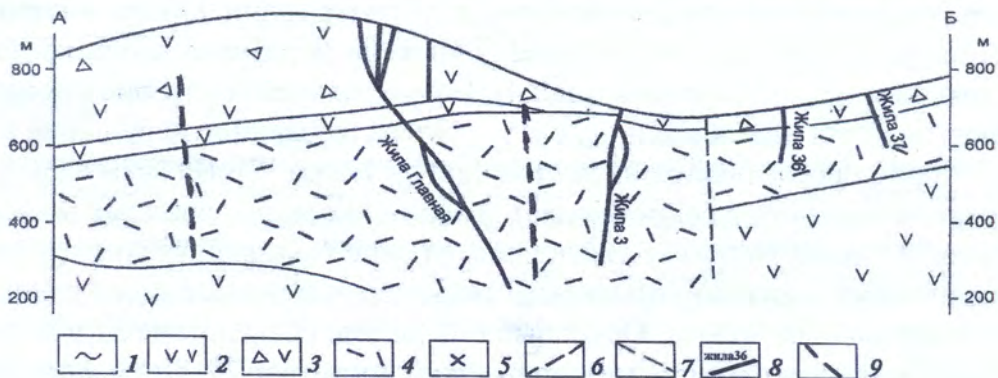
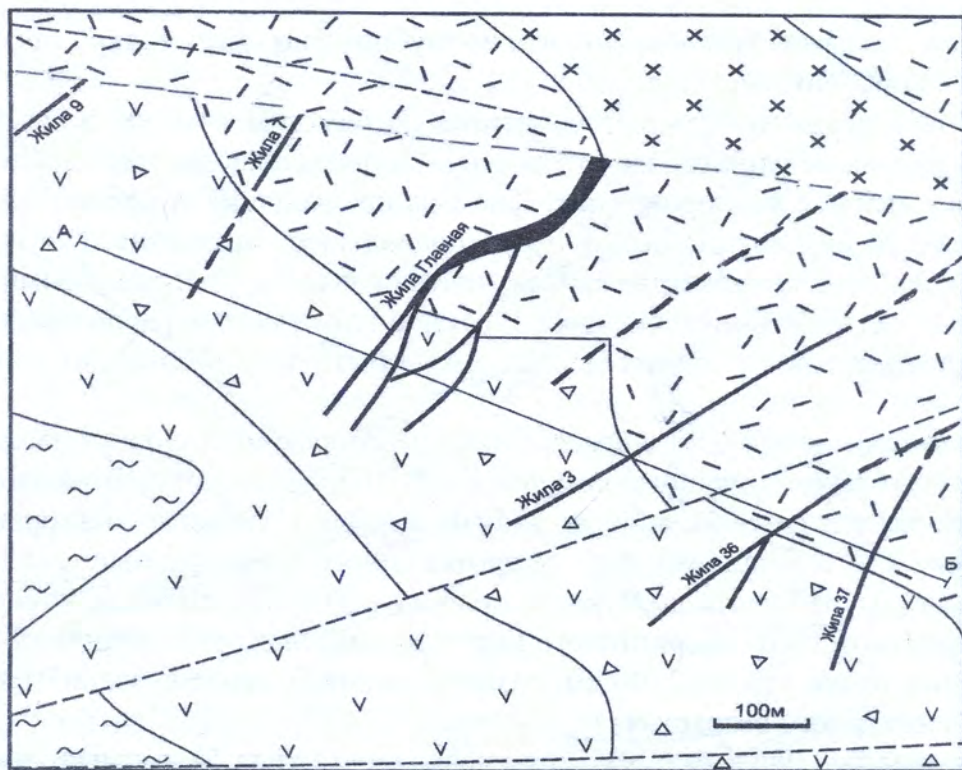
Значительная протяжённость метасоматитов на Бамском участке, отчасти – на Промежуточном и недоразведанность их юго-восточных флангов позволяет перспективно рассматривать описываемое месторождение. Как и на предыдущих объектах, существенную роль в локализации оруденения сыграло рудоподводящее нарушение. Его сравнительно глубокие корни выступали в качестве канала, «питающего» гидротермальными растворами отделяющиеся от него тектонические швы. В связи с этим участки, расположенные северо-восточнее метасоматитов и в других местах, могут быть доразведаны, хотя бы до глубин около 400 м.

Интересным примером могут служить также некоторые месторождения, локализованные в Охотско-Чукотском вулканогенном поясе (ОЧВП), – Джульетта, отработанный вблизи Магадана Карамкен (рис. 5), а также многие другие. Названные месторождения расположены ближе к юго-западному флангу протяжённого пояса, распространяющегося на северо-восток от Амура вплоть до Чукотки полосой в 100–300 км вдоль побережья Охотского и отчасти Чукотского и Берингового морей. В пределах этой обширной территории, протягивающейся более чем на 2500 км, развиты разнообразные вулканы и интрузивы мелового и палеогенового возрастов.

На месторождении Джульетта главное рудное тело (жила 5), развитое в нижнемеловых андезитах, прослеживается в западной части на протяжении 900 м в мощной (местами почти 100 м) широтной тектонической зоне – брекчии березитов вдоль контакта дайкообразного штока кварцевых диоритов (рис. 4). В центральной части оно проникает в диориты, трансформируется в маломощное, слабо минерализованное нарушение с сомкнутыми бортами, которое протягивается на восток ещё на 1,5 км [7]. На всём этом интервале в северном и южном бортах оно сопровождается сериями северо-западных жил золотосеребряных руд, иногда с теллуридами. Разведочное бурение показало, что на глубине недалеко от широтного тектонического шва проявлены также слепые рудные жилы с прихотливо изменяющимся содержанием золота. Основные его запасы сосредоточены в малообъёмных рудных столбах. Доля их запасов на месторождении достигает 70–80 %. Авторы не сомневаются в рудоподводящей роли широтного нарушения, наиболее открытого и оруденелого на западном фланге.

Другое месторождение – Карамкен – тяготеет к одному из широтных разломов – звеньев протяжённого пояса региональных разломов. Он сопровождает подвижную юго-восточную границу азиатской континентальной плиты. Разлом, который можно назвать Аганским [8], определяет южную границу депрессионной вулканотектонической постройки. К крайнему восточному углу её приурочено месторождение Карамкен. Как и у прочих разломов, вдоль него севернее (около 1 км) проявился Карамкенский разлом-сателлит также субширотного направления. По-видимому, он обладает встречным южным падением. Очевидно, на сравнительно небольшой глубине он сочленяется с региональным Аганским нарушением.

Месторождение Карамкен вытягивается вдоль одноимённого разлома, размещаясь в его висячем (борту) боку (рис 5). Пространственно он связан с жерловым телом поздне-меловых дацитов, которое в верхней части, наподобие «гриба», трансформировалось в силлообразные пластовые образования, залегающие между перекрывающимися лавобрекчиями андезитов раннемелового возраста и подстилающими туфами нижнего мела.



**Рис. 5.** Схема и разрез по линии А – Б золотосеребряного месторождения Карамкен. (по материалам [8]); 1 – верхнемеловые игнимбриты и туфы риолитов, андезито-базальтов; 2 – нижнемеловые туфы риодацитов, андезиты; 3 – раннемеловые лавобрекчии андезитов; 4 – поздне меловые субвулканические дациты, риолиты; 5 – поздне меловые диориты; 6 – разломы; 7 – рудоподводящий Карамкенский разлом; 8 – рудные тела и их обозначения; 9 – предполагаемые слепые рудные тела

Оруденение локализовано в породах жерловой фации и силлов дацитов. Представлено оно жильными телами, приуроченными к системе северо-восточных трещинных нарушений, отделяющихся от поверхности Карамкенского разлома. Они постепенно затухают по мере удаления от разлома в юго-западном направлении.

Наиболее промышленно важной (70 % запасов металлов) является жила Главная (рис. 5). Она представлена несколькими сближенными оруденелыми разрывами, расщепляющимися на ветви и вновь сливающимися воедино, соединяющимися диагональными сколовыми трещинами. Жилы сопровождаются боковыми сколами-апофизами преимущественно субмеридионального направления. Вверх по восстанию большинство жил разветвляется на прожилки. Мощность рудной зоны, объединяющей указанное образование, вблизи разлома колеблется от 12 до 20 м. Примерно в 300 м южнее зона веерообразно расщепляется в плане и в виде самостоятельных рудоносных ветвей постепенно затухает

через 200–250 м. Примечательно, что оруденение Главной жилы на сопряжении с разломом распространяется также и в его коротких полостях, обнаруживаемых на глубинах до 300–400 м от поверхности.

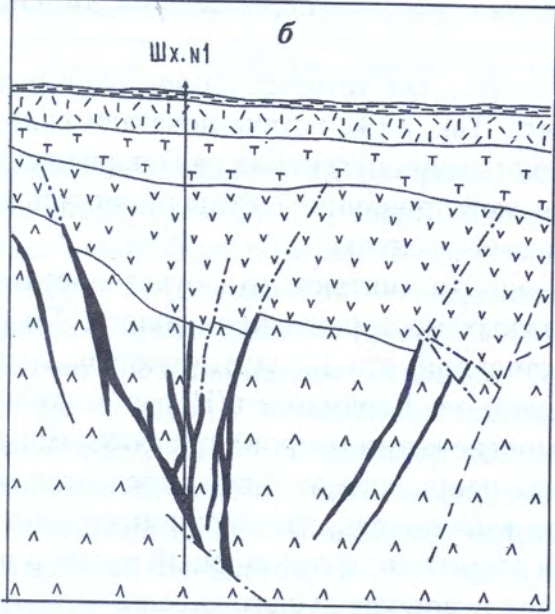
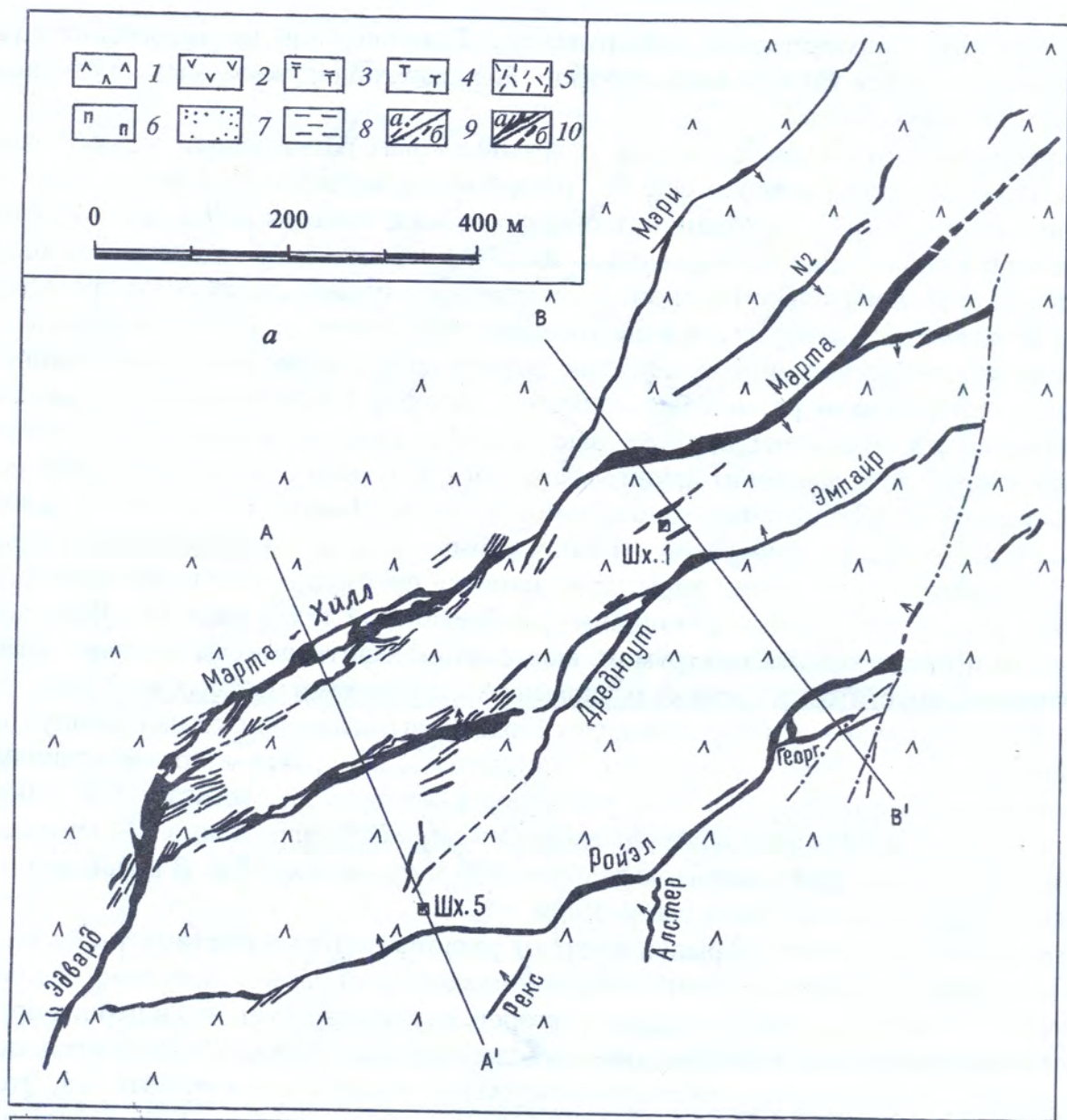
На расстоянии от 100 до 250 м одна от другой в «шаге размещения», вдоль Карамкенского разлома распространяются ещё 5–7 одиночных (считая слепые) рудных жил меньшей протяжённости (рис. 5). Мощность отдельных жил, включая жилы Главной зоны, не превышает 0,1–0,5 м. При этом «западные» жилы непосредственно отделяются от разлома, а «восточные» (относительно Главной) – постепенно затухают, не достигая его. Местами они проявляются вблизи разлома в виде прерывистых, притёртых (с трудом картируемых) тектонических поверхностей, хотя глубокие выработки подтверждают их сочленение.

Оруденение, видимо, развивалось в течение двух фаз. Первоначально на участках будущих рудных жил развились протяжённые линейные тела метасоматитов хлоритового и карбонат-хлоритового, каолинит-алунит-кварцевого, а несколько глубже – адуляр-кварцевого состава. Они обладают небольшими мощностями. Именно на них были наложены кварцевые руды (рудных минералов  $\approx 1\%$ ). Сформировались адуляр-карбонат-кварцевые жилы (с боковыми апофизами), характеризующиеся преимущественно колломорфно-полосчатой, фестончатой, крустификационной и брекчиевой текстурами [5]. Руды золото-серебряные и представлены электрумом, кюстелитом, акантитом, самородным серебром, пираргиритом, пруститом, а также сульфидами и сульфосолями цветных металлов. Основная доля руд локализована в чередующихся столбах, вытягивающихся на глубину (рис. 5) и склоняющихся в юго-западном направлении. Столбы приурочены к разветвлениям жил на их перегибах. На примере Главной жилы протяжённость их достигает 120–250 м при мощности до 3–5 м. Максимальные содержания в них достигали: золота 240 г/т и серебра 2,5 кг/т. Столбы были прослежены до глубины 400 м от поверхности. В целом вертикальный размах оруденения составил около 600 м.

Отделение рудоносных разрывов и жил от разлома (который местами также вмещает руду), максимальная сосредоточенность руд у поверхности разлома и их постепенное затухание по удалению от него, по мнению авторов, свидетельствует, что в период оруденения Карамкенский разлом выполнял роль рудоподводящего канала. По ряду предпосылок вдоль висячего бока разлома возможно обнаружение новых слепых рудных тел. Это подтверждается единичными разведочными скважинами, местами пересекшими жильные образования с содержанием золота до 40 г/т.

Описание отечественных месторождений, в пределах которых намечаются рудоподводящие нарушения, можно было бы продолжить. Так, в [4] авторы показали роль рудоподводящего канала (Широтного разлома) в локализации оруденения на Павликовском месторождении (юго-западная часть Колымо-Чукотской провинции). Руды развились здесь в рудных зонах, отделяющихся от Широтного разлома – канала.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы авторы считают, что будет достаточным краткое упоминание только о двух-трёх зарубежных месторождениях золота. Так, новозеландские геологи в начале прошлого века установили, что эксплуатирующаяся мощная жила Марта-Хилл (вытягивающаяся на 1,5 км) на п-ове Карамандел (Новая Зеландия) начинается вместе со своими протяжёнными (на многие сотни метров), оперяющимися её скловыми ветвями от скрытого субмеридионального нарушения, которое определяет восточную границу месторождения (рис. 6). При этом выяснилось, что верхний уровень этого рудоподводящего канала оказался тектонически закрытым, и рудоносный раствор в рудовмещающие полости поступал из нижних уровней рудоподводящего канала.



**Рис. 6.** Геологическая схема и разрез северо-восточной части золотосеребряного месторождения Марта-Хилл (Уайхи, Новая Зеландия): *а* – шахтный план горизонта № 295 м от современной поверхности; Шх – стволы шахт (по материалам [10]); *б* – разрез месторождения по линии В–В', 1 – пироксеновые дациты 1–2-го этапов образования ( $N_{1,2}$ ); 2 – андезиты 2-го этапа образования ( $N_2$ ); 3 – туфолавы и лавы риолитов 3-го этапа образования ( $N_3$ ); 4 – туфы и туфобрекчии риолитов 3-го этапа образования ( $N_3$ ); 5 – послерудные риолиты; 6 – послерудные порфириты; 7 – пески (Q); 8 – преобладающие озёрные глины (Q); 9 – рудоподводящие каналы (тектонические швы), прослеженные (*а*) и предполагаемые (*б*); 10 – золотосеребряные жилы (*а*) и прожилки (*б*)

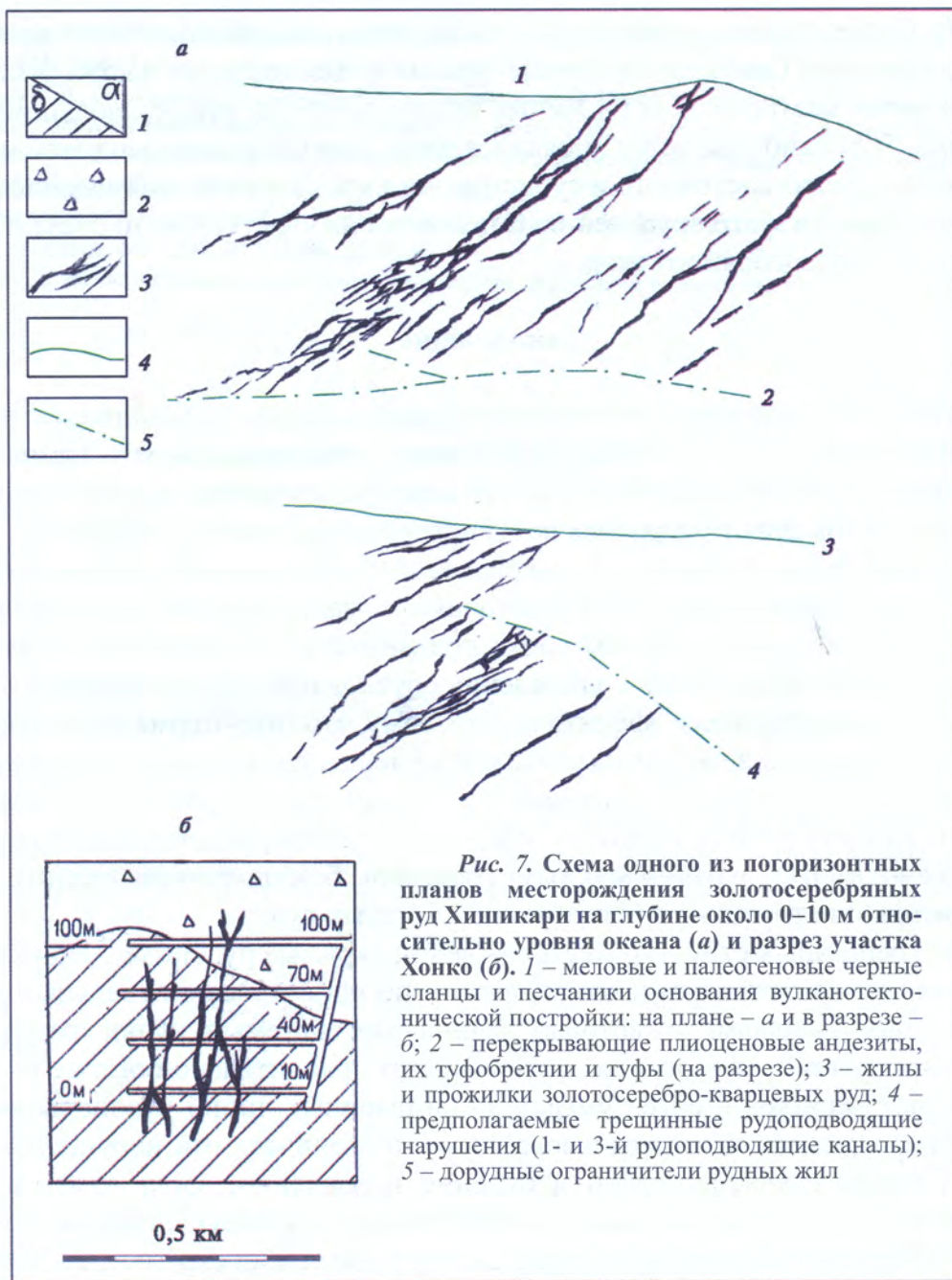


Рис. 7. Схема одного из погоризонтных планов месторождения золотосеребряных руд Хишикари на глубине около 0–10 м относительно уровня океана (а) и разрез участка Хонко (б). 1 – меловые и палеогеновые черные сланцы и песчаники основания вулканотектонической постройки: на плане – а и в разрезе – б; 2 – перекрывающие плиоценовые андезиты, их туфобрекчии и туфы (на разрезе); 3 – жилы и прожилки золотосеребро-кварцевых руд; 4 – предполагаемые трещинные рудоподводящие нарушения (1- и 3-й рудоподводящие каналы); 5 – дорудные ограничители рудных жил

Не менее интересным является и структура хорошо известного по литературе крупного японского месторождения золотосеребряных руд Хишикари, расположенного в северной части о. Кюсю. Месторождение (рис. 7, а) представлено двумя рудоносными участками – северным – Хонко-Санджин (Sanjin) и южным – Ямато. Оруденение почти целиком локализовано в меловых черных сланцах и песчаниках (рис. 7, б), которые местами, в погруженных участках, локально перекрыты эоценовыми и ещё более молодыми вулканитами.

Рудоносные жилы в обеих частях месторождения начинаются своими северными флангами от почти прямолинейных субширотных линий, в частности, на участке Хонко-Санджин – от намечаемого нарушения 1 (рис. 7, а). При этом на северном участке в пучке разрывов северо-восточного простирания развились богатейшие прожилково-жильные руды со средним содержанием золота около 70 г/т. Постепенно в южном направлении, по мере удаления, видимо, от питающего рудоподводящего канала, содержание золота снижи-

лось до 40 г/т. Существенно сократилось и число участков с бананцевыми содержаниями благородных металлов. Снизилась их концентрация в обогащённых частях жил.

В южной части месторождения – Ямато, предполагаемый рудоподводящий канал (нарушение 3, рис. 7, а) наиболее четко проявился лишь в своей северо-западной части. Здесь в пучке разрывов северо-восточного и субширотного простираний наблюдались только отдельные «всплески» богатого оруденения. В целом же на участке Ямато оказались развиты рядовые руды золотосеребряного типа.

### Заключение

Обзор структуры золоторудных месторождений показал, что наиболее тесной пространственной связью с рудоподводящими каналами – трещинными разрывами – обладают близповерхностные месторождения руд золота, серебра, а иногда и теллуридов. Сами рудоподводящие каналы на верхних уровнях палеоповерхности являются скрытыми нарушениями, часто с сомкнутыми стенками и перекристаллизованными боковыми породами. Только кое-где следы каналов проявляются одиночными кварцевыми включениями, гнёздами и прожилками. В связи с этим каналы плохо поддаются диагностированию. В результате отсутствие или слабое проявление подновления обуславливает и их закрытость. Вместе с тем, проявление экранирующего эффекта ведёт к тому, что гидротермальные растворы, достигавшие корней рудовмещающих разрывов, перемещались в их полостях на сравнительно глубоких или средних уровнях. Они свободно поступали в трещины, которые остались достаточно открытыми на этих глубинах. Вблизи них растворы поступали в разрывы наиболее интенсивно. Будучи экранированными, растворы быстро раскристаллизовывались и залечивали раскрытые трещины с образованием богатых руд.

На планах трещинных структур месторождений скрытые рудоподводящие каналы выглядят условно прямыми линиями, выявляемыми по присутствию отдельных включений кварца, его гнёздами, жилками, от которых начинаются системы и пучки сразу нескольких рудоносных нарушений и зон, обычно заключающих сравнительно богатые руды. Иногда они не достигают десятков и сотен метров до намеченных линий рудоподводящих каналов, будучи представлены неминерализованными тектоническими нарушениями с глиной трения. В любом случае разведочное бурение, проведённое вдоль намеченных линий рудоподводящих структур (вдоль поверхностей питающих нарушений) до глубин около 400 м, может обнаружить в стороне от разведанных рудных жил скрытые на глубине новые рудные тела, которые могут пополнить запасы месторождений благородными металлами. Такие перспективные участки пока не разведаны на многих месторождениях.

### Литература

1. Вольфсон Ф.И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. М.: Госгеолтехиздат, 1953, переизд.: М.: АН СССР. 1962. 305 с.
2. Золоторудные месторождения России / Отв. ред. М.М. Константинов М.: ООО «Акварель», 2010. 349 с.
3. Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А., Дудкин Н.В. Особенности геологии и структуры крупнейших золоторудных месторождений эндогенного класса. М.: Астрейя-центр, 2015. 191 с.
4. Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А., Дудкин Н.В., Косовец Т.Н. Ускоренный поиск смещённых, ограниченных и магматически нарушенных золоторудных тел. М.: ООО «Золото и технологии», 2017. 65 с.
5. Некрасова А.Н., Дёмин Г.П. О соотношении золотосеребряной и оловосеребряной минерализации на вулканогенном месторождении // Геология рудных месторождений. 1977. Т. 19. № 2. С. 105–108.

лось до 40 г/т. Существенно сократилось и число участков с бонанцевыми содержаниями благородных металлов. Снизилась их концентрация в обогащённых частях жил.

В южной части месторождения – Ямато, предполагаемый рудоподводящий канал (нарушение 3, рис. 7, а) наиболее четко проявился лишь в своей северо-западной части. Здесь в пучке разрывов северо-восточного и субширотного простираний наблюдались только отдельные «всплески» богатого оруденения. В целом же на участке Ямато оказались развиты рядовые руды золотосеребряного типа.

### Заключение

Обзор структуры золоторудных месторождений показал, что наиболее тесной пространственной связью с рудоподводящими каналами – трещинными разрывами – обладают близповерхностные месторождения руд золота, серебра, а иногда и теллуридов. Сами рудоподводящие каналы на верхних уровнях палеоповерхности являются скрытыми нарушениями, часто с сомкнутыми стенками и перекристаллизованными боковыми породами. Только кое-где следы каналов проявляются одиночными кварцевыми включениями, гнёздами и прожилками. В связи с этим каналы плохо поддаются диагностированию. В результате отсутствие или слабое проявление подновления обуславливает и их закрытость. Вместе с тем, проявление экранирующего эффекта ведёт к тому, что гидротермальные растворы, достигавшие корней рудовмещающих разрывов, перемещались в их полостях на сравнительно глубоких или средних уровнях. Они свободно поступали в трещины, которые остались достаточно открытыми на этих глубинах. Вблизи них растворы поступали в разрывы наиболее интенсивно. Будучи экранированными, растворы быстро раскристаллизовывались и залечивали раскрытые трещины с образованием богатых руд.

На планах трещинных структур месторождений скрытые рудоподводящие каналы выглядят условно прямыми линиями, выявляемыми по присутствию отдельных включений кварца, его гнёздами, жилками, от которых начинаются системы и пучки сразу нескольких рудоносных нарушений и зон, обычно заключающих сравнительно богатые руды. Иногда они не достигают десятков и сотен метров до намеченных линий рудоподводящих каналов, будучи представлены неминерализованными тектоническими нарушениями с глиной трения. В любом случае разведочное бурение, проведённое вдоль намеченных линий рудоподводящих структур (вдоль поверхностей питающих нарушений) до глубин около 400 м, может обнаружить в стороне от разведанных рудных жил скрытые на глубине новые рудные тела, которые могут пополнить запасы месторождений благородными металлами. Такие перспективные участки пока не разведаны на многих месторождениях.

### Литература

1. Вольфсон Ф.И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. М.: Госгеолтехиздат, 1953, переизд.: М.: АН СССР. 1962. 305 с.
2. Золоторудные месторождения России / Отв. ред. М.М. Константинов М.: ООО «Акварель», 2010. 349 с.
3. Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А., Дудкин Н.В. Особенности геологии и структуры крупнейших золоторудных, месторождений эндогенного класса. М.: Астрейя-центр, 2015. 191 с.
4. Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А., Дудкин Н.В., Косовец Т.Н. Ускоренный поиск смещённых, ограниченных и магматически нарушенных золоторудных тел. М.: ООО «Золото и технологии», 2017. 65 с.
5. Некрасова А.Н., Дёмин Г.П. О соотношений золотосеребряной и оловосеребряной минерализации на вулканогенном месторождении // Геология рудных месторождений. 1977. Т. 19. № 2. С. 105–108.

6. Петренко И.Д. Золотосеребряная формация Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Изд. СПб карт. ф-ки ВСЕГЕИ, 1999. 116 с.
7. Рыжов О.В., Стружков С.Ф., Аристов В.В., Григорьев Н.В. Геологическое строение и состав руд золотосеребряного месторождения Джульетта (Северо-Восток России). М.: Руды и металлы. 1995. № 2. С. 66–78.
8. Стружков С.Ф., Константинов М.М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Научный мир, 2005. 318 с. Приложения.
9. Щепотьев Ю.М., Вартанян С.С., Орешин В.Ю., Гузман Б.В. Золоторудные месторождения островных дуг Тихого океана. М.: ЦНИГРИ, 1989. 244 с.
10. Шер С.Д. Металлогения золота (Северная Америка, Австралия и Океания). М.: Недра, 1972. Т. 1. 295 с.

## ВОЗМОЖНОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ СЛЕПОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА НИЖНИХ УРОВНЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАЛЕЙ И МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ БОГАТЫХ РУД НА БЛИЗПОВЕРХНОСТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА

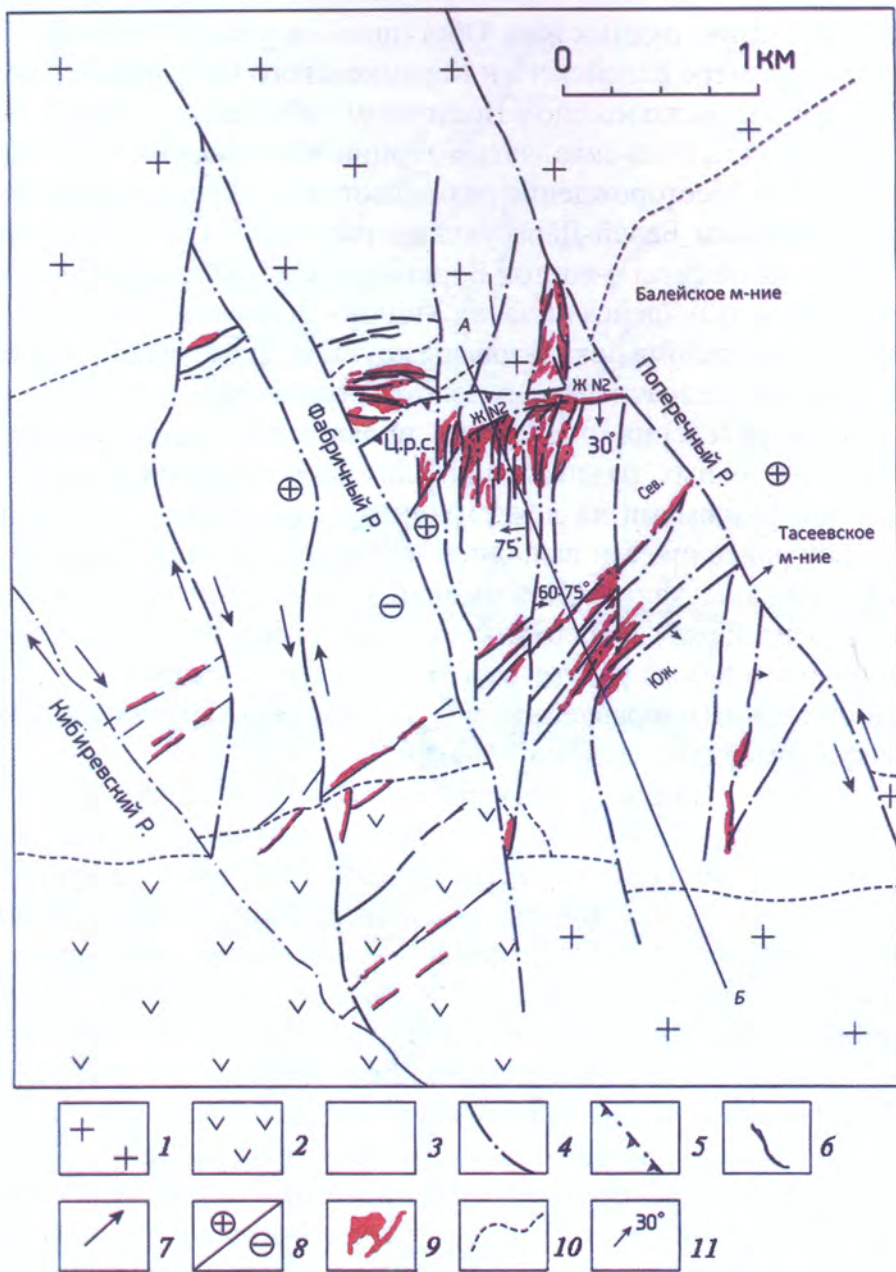
*Показано, что на близповерхностных месторождениях золотосеребряных руд развиты золоторудные столбы двух типов: крупнообъёмные прожилково-гнездово-жильных руд штокверкового облика и мелкие обогащённые участки рудных тел, проявленные либо в одиночных жилах, либо в жилах, входящих в состав широких рудных пучков. Примером первых служит Центральный рудный столб Балейского и столб Главной жилы Карамкенского месторождений. Детальный анализ графического материала, составленного на Балее Н.В. Петровской, подтверждает, что под подошвой рудоконтролирующей пологой жилы № 2 в вертикальном интервале от 100 до 250–350 м могут быть распространены богатые руды в зонах, видимо, сочленяющихся с рудными телами Тасеевского участка. Здесь возможно обнаружение новых золоторудных столбов крупнообъёмного типа. В связи с этим необходима доразведка юго-восточного фланга Балейского участка, что может привести к обнаружению новых крупнообъёмных золоторудных столбов.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* месторождения; золото; серебро; золоторудный столб; жила.

*(Известия вузов. Геология и разведка. 2017. № 5. С. 40–51).*

В отечественной геологической литературе уже многократно рассмотрены строение и образование крупнообъёмных золоторудных столбов, развитых на месторождениях глубинного генезиса, таких как Дарасунское, Кочкарское, Бериккульское, Холбинское, Итакинское, Нежданинское, Советское и многих других. Поэтому повтор выявленных закономерностей, характерных для глубокосформированных месторождений золота, скорее всего, не смог бы раскрыть некоторые особенности локализации обогащённых участков золоторудных тел близповерхностного генезиса. В связи с этим, автором проанализированы только столбы некоторых близповерхностных месторождений.

Формирование богатых руд на близповерхностных месторождениях своеобразно. В первых, примеров их немного. В России, помимо считающихся отработанными богатыми руд на Балейском месторождении, подобные руды были установлены на месторождениях Карамкен, Хаканджа, возможно, Купол и, несомненно, на Агинском месторождении.



**Рис. 1. Схема Балей-Тасеевского месторождения, по [5].** Балейское месторождение: Ц.р.с. – Центральный рудный столб, жила № 2 – ж № 2, на Тасеевском месторождении – рудные зоны Южная – Юж, Северная – Сев.; 1 – герцинские щелочные граниты и гранодиориты; 2 – верхнеюрские андезиты и их туфы; 3 – верхнеюрские конгломераты с подчинёнными прослоями песчаника; 4 – наиболее крупные дорудные блокообразующие разломы, в том числе, рудоподводящие – Р; 5 – малоамплитудные разрывы-надвиги, осложняющие северную границу грабена; 6 – прочие разрывы рудовмещающего направления; 7 – возможные направления перемещений по разрывам в период оруденения, в плане; 8 – то же, в разрезе, плюс – воздымание, минус – погружение пород; 9 – золоторудные тела; 10 – границы различных пород; 11 – углы падения разрывов и рудных тел

За рубежом они описаны на Крипл-Крике, Марта-Хилле (или Уайхи) в Новой Зеландии, Эль-Индио в Перу, Хишикари, Садо и других месторождениях Японской островной дуги.

Многолетняя разведка и эксплуатация близповерхностных золотосеребряных месторождений показала, что в природе существуют два основных типа обогащенных участков таких месторождений: 1) гнездово-прожилково- жильных скоплений объёмного штокверкового облика; 2) прожилково-гнездовых образований богатых руд умеренного масштаба

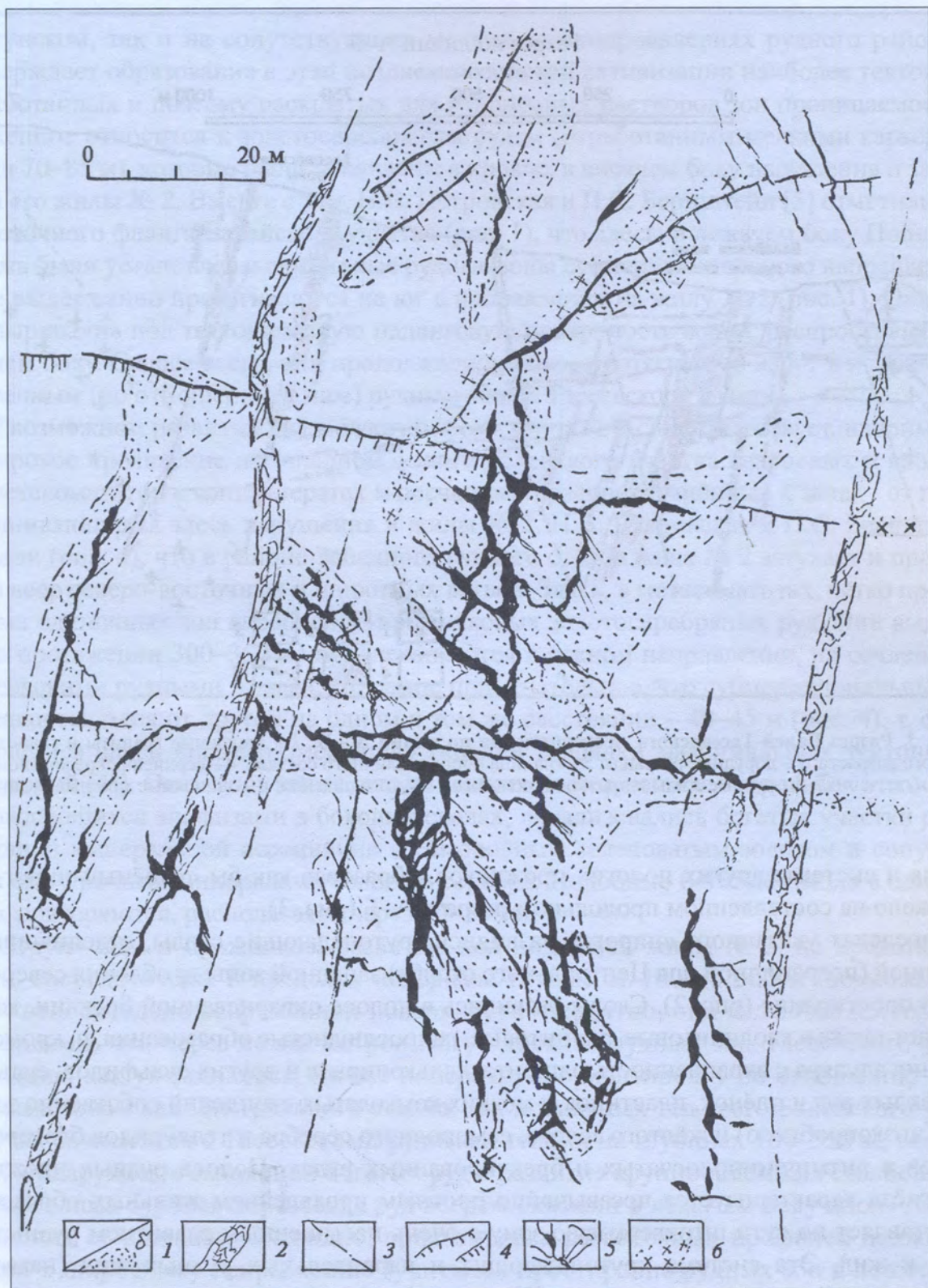
на перегибах и расщеплениях рудных жил. Обогащенные участки первого типа могут быть охарактеризованы на примере БалеЙского и Карамкенского месторождений.

Напомним, что первое расположено в Восточном Забайкалье, в 200–210 км на юго-восток от Читы в пределах глыбово-складчатых герцинских сооружений (структур) северо-восточного простирания. Месторождение размещается в узле пересечения, этих структур с протяженным поперечным БалеЙ-Дарасунским разломом. Он служит границей между далеко вытягивающимся на северо-восток Борщовочным интрузивом щелочных гранитов и гранодиоритов и протягивающейся на запад Ундино-Даинской депрессии. На противоположном северном фланге разлома локализованы крупное Дарасунское золоторудное месторождение и несколько менее значительных золотопроявлений.

БалеЙский узел пересечения отличается проявлением многочисленных разломов. В связи с серией поперечных разломов-сателлитов, сопровождающих основное нарушение, между такими разломами на ложе гранитов образовался довольно протяжённый грабен широтного направления. Он выполнен верхнеюрскими мелкогалечниковыми конгломератами с прослоями песчаника. В дорудный этап мезозойской активизации вдоль северной границы грабена между Поперечным и Фабричным разломами проявилась серия сближенных (расположенных на расстоянии 50–80 м одно от другого) дорудных зон дробления субмеридионального направления (рис. 1). Они как бы расчленили конгломераты и песчаники на пачку субмеридиональных пластин.

Некоторые мощные трещинные нарушения этой серии оказались в благоприятной обстановке и подверглись оруденению золотосеребряными рудами. При этом ряд разломов северо-западного простирания, оконтуривающих грабен с востока и запада (Поперечный, Фабричный, Кибиревский, рис. 1), играли роль рудоподводящих каналов, от которых отделились оперяющие их трещинные нарушения. В зонах последних, расположенных вдоль северного борта грабена, локализовались скопления руд БалеЙского участка (месторождения), а почти в центре грабена – руд Тасеевского участка. Руды обоих месторождений (особенно БалеЙского участка) местами отличались очень высокими содержаниями золота. Именно это вызвало особый интерес к изучению их формирования. Все субмеридиональные зоны дробления круто падают на запад и, таким образом, расчленяют БалеЙский участок на серию протяжённых пластин, вытягивающихся с севера на юг. Конгломераты и песчаники, слагающие эти пластины, оказались раздробленными и минерализованными. При этом рудовмещающие конгломераты и песчаники преобразовались в каолинитовые метасоматиты и брекчию кварцевого состава. Они заключают прожилковые, жильные и гнездовые скопления каолинита, алунита, диккита и гидрослюд, а также адуляра и сопутствующую им вкрапленность наложенных сульфидов, сульфоселей и теллуридов, в том числе золота и серебра. Руды обоих месторождений отличаются высокими содержаниями золота, которые местами достигали 1 кг благородного металла в 1 т руды. Наиболее представительным и характеризующим подобные руды выступает Центральный рудный столб.

Н.В. Петровской [5] была осуществлена детальная зарисовка Центрального рудного столба БалеЙского месторождения, на которой зафиксировано, что от Поперечного рудоподводящего разлома отделилось пологое широтное нарушение, залеченное рудной жилой, названной жилой № 2 (рис. 1, 2). Она протянулась на запад почти на 1 км и контролирует развитие оруденения на всём БалеЙском участке. Нарушение и жила № 2 полого погружаются на юг под углами около 25–30°. Всё оруденение БалеЙского участка размещается висячем боку этой жилы. Над кровлей и под подошвой её проявились параллельные на-



**Рис. 2. Строение Центрального рудного столба, по [4], в плане: 1 - а - верхнеюрские конгломераты и песчаники; б - метасоматиты и их брекчия кварцевого состава с гнездово-прожилково-жильными скоплениями каолинита, гидрослюд, адуляра и вкрапленностью сульфидов, минералов золота и серебра; 2 - дорудные зоны дробления, местами с метасоматитами; 3 - маломощные и непротяжённые разрывы; 4 - ранние жилы и прожилки халцедон-кварцевого состава с наложенными золотосеребряными рудами; 5 - рудные жилы, прожилки и гнёзда; 6 - крупные скопления раннего дорудного кварца и халцедона**

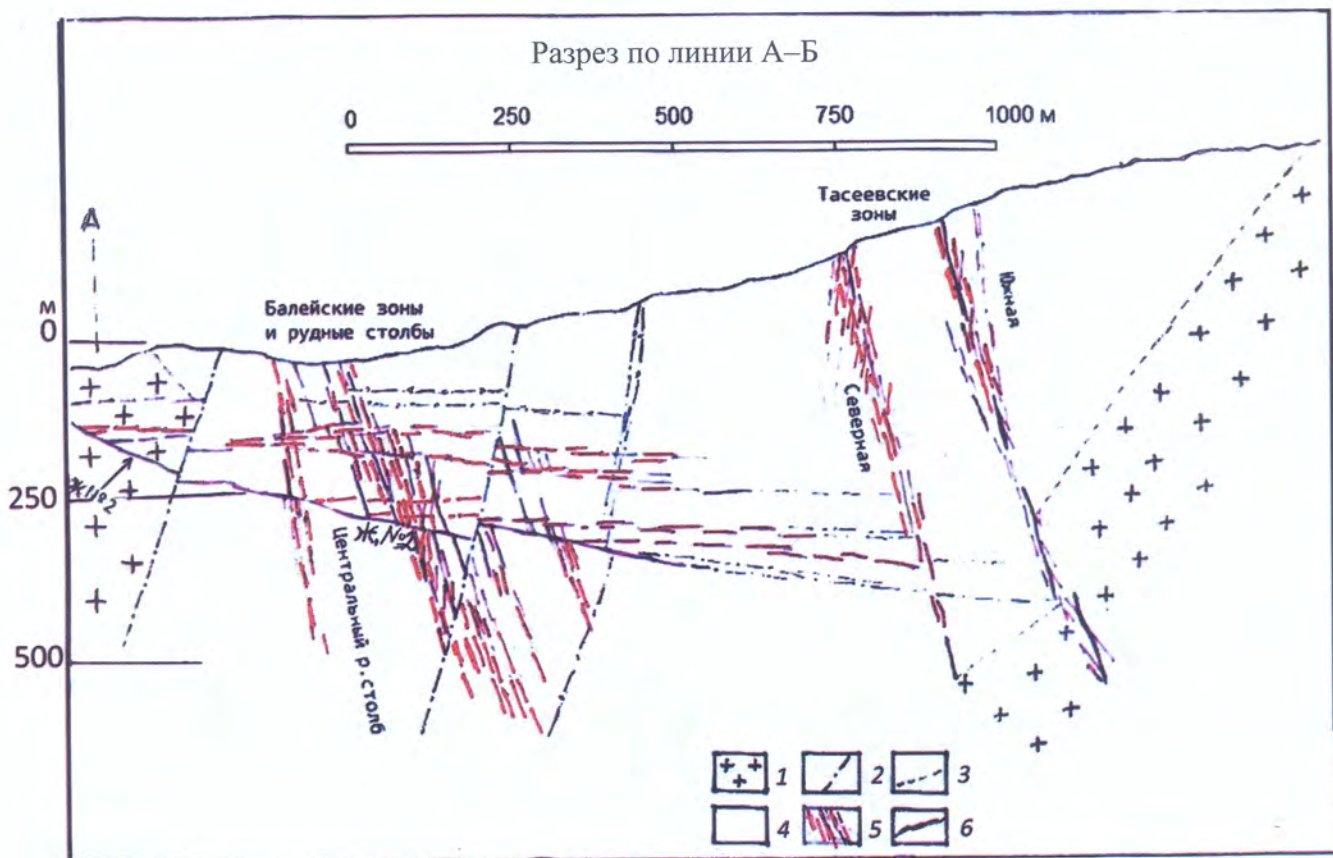


Рис. 3. Разрез Балей-Тасеевского месторождения по линии А - Б: 1 – щелочные граниты и гранодиориты герцинского возраста; 2 – дорудные разрывы; 3 – граница пород различного состава; 4 – верхнеюрские конгломераты с прослоями песчаника; 5 – рудные жилы и прожилки пологого и крутого падения; 6 – одиночные мощные рудные жилы

рушения и системы других пологих прожилков, образовав как бы «слоёный пирог». Это отображено на составленном продольном разрезе А-Б (рис. 3).

В пределах указанного «пирога» развились крутопадающие сколы, отделившиеся от поперечной (пограничной для Центрального столба) западной зоны дробления северо-восточного простирания (рис. 2). Сколы развились в полосе окварцеванной брекчии, которая включает также и каолинитовые, алунитовые, гидрослюдистые образования, и, кроме того, скопления адуляра с вкрапленностью пирита, халькопирита и других сульфидов, сульфосолей, блёклых руд и плёнок, пластинок и мелких комковатых скоплений собственно зеленоватого (низкопробного) и жёлтого золота, самородного серебра и теллуридов благородных металлов в ритмично-полосчатых и брекчированных рудах. Полоса рудных прожилков, жил и гнёзд характеризуется чрезвычайно плотным проявлением жильных образований и представляет по сути штокверковую зону с очень насыщенным развитием рудных прожилков и жил. Эта система крутопадающих и параллельных рудных жил (названных Н.В. Петровской жилами-«соседками» [5]).

Указанная ориентировка пучка («струи») жил-соседок, по Н.В. Петровской [5] прожилков и гнёзд, которые протягиваются непрерывной полосой по азимуту около  $125^\circ$  на юг-юго-восток, не случайна. Штокверковая зона пересекает все пологопадающие поперечные жилы и прожилки «слоёного пирога» (рис. 3, 4), т. е. проникая в метасоматиты, расположенные как выше кровли, так и ниже подошвы жилы № 2. Ориентировка штокверковой зоны совпадает с поперечным направлением золоторудных жил как на Балейском,

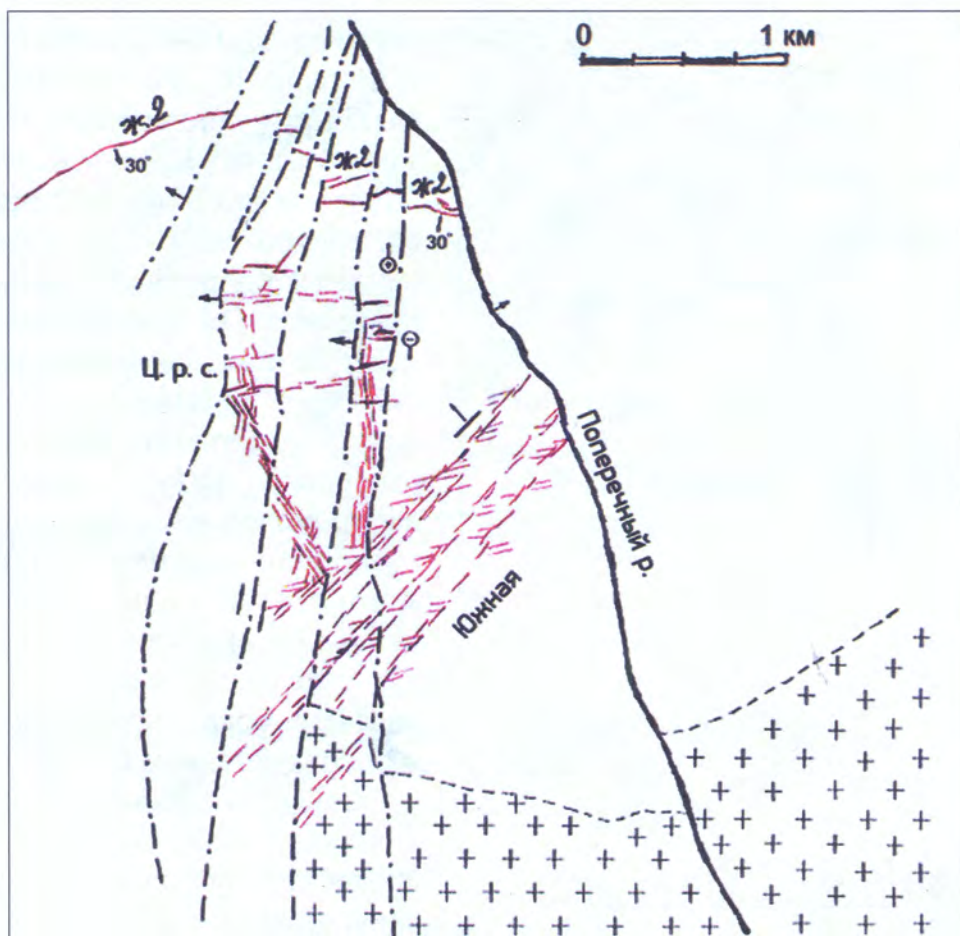
Дарасунском, так и на сопутствующих мелких золотопроявлениях рудного района. Она подтверждает образование в этап позднемезозойской активизации наиболее тектонически проработанных и поэтому раскрытых для рудоносных растворов зон проницаемости. Всё изложенное относится к золотосеребряным рудам (отработанным мелкими карьерами до глубин 70–85 м), которые были проявлены в кровле, в висячем боку нарушения и залечивающей его жилы № 2. Вместе с тем, Н.В. Петровская и П.С. Бернштейн [5] отметили на схеме восточного фланга Балейского участка (рис. 1), что здесь, в лежащем боку Поперечного разлома были установлены единичные рудные зоны субмеридионального направления, которые выдержанно протягиваются на юг в направлении на жилу № 2 (рис. 1). Они как бы «подныривали» под тектоническую надвиговую поверхность жилы, распространяясь в её лежащем боку. Скорее всего, они продолжались здесь, протягиваясь на юг в направлении к поперечным (по отношению к ним) рудным зонам Тасеевского участка.

О возможном развитии руд в лежащем боку жилы № 2 свидетельствует, например, также широкое проявление на западном фланге Балейского участка кварцевых и каолинитовых метасоматитов в конгломератах и песчаниках, распространённых к западу от границы выклинивающихся здесь нарушения и жилы № 2. Н.В. Петровская и П.С. Бернштейн [5] показали (рис. 4), что в районе Западного рудного столба жила № 2 затухает и преобразуется в веер северо-восточных и широтных ветвей. Здесь, в метасоматитах, чётко проявлена система одиночных зон вкрапленно-прожилковых золотосеребряных руд. Они выдержанно (на протяжении 300–350 м) прослеживаются в южном направлении, на сочленение их с Тасеевскими рудными зонами. Но самое примечательное, что субмеридиональные жилы размещаются одна от другой на одном и том же расстоянии – 40–45 м (рис. 4), т. е. в проявляющемся здесь «шаге размещения» («шаге» разрядки максимальных тектонических напряжений [4]). Оказалось также, что на мелких повторяющихся перегибах этих жил, сопровождающихся апофизами в боковых сколах, локализовались богатые участки руд продуктивной минеральной ассоциации с самородным зеленоватым золотом и сопутствующими ему прочими минералами золота и серебра. Подобные богатые гнёзда в одиночных жилах повторяются, располагаясь через 50–100 м.

«Струи» жил и прожилков, развитые под подошвой жилы № 2, по представлению автора, сосредоточены в пределах интервала глубин от 100 до 300 м (возможно, 250–400 м) относительно современной поверхности. Вероятно, они являются настолько выдержанными, что через сотни метров могут достичь рудных зон Тасеевского участка. Последние, как упоминалось, имеют поперечную ориентировку по отношению к штокверковым зонам как Центрального столба, так и жильных тел всего Балейского участка. В местах сочленения с Тасеевскими рудными телами на глубинах 100–350 м, также возможно обнаружение скоплений богатых руд и развитие крупнообъёмных столбов. Поэтому необходима буровая доразведка руд веером скважин в лежащем боку жилы № 2, подстилающих её подошву. Очевидно, ориентировка разведочных профилей должна быть близкой к широтному направлению (учитывая простирание рудных зон в лежащем боку жилы № 2).

По сведениям Б.И. Беневольского [2], из руд мелких карьеров Балейского участка (глубиной от 50 до 85 м) с 1955 по 1991 гг. было извлечено 37 т золота со средним содержанием 2,47 г/т (в период 1955–1966 гг. – 13, 4 т с содержанием от 2,9 до 12,0 г/т). По мнению Б.И. Беневольского [2], недра участка в вертикальном диапазоне от 100–150 до 250–400 м ниже современной поверхности разведочными скважинами не изучались. По устному сообщению одного из хороших знатоков Балей В.Г. Хомича, в конце 1990-х гг.





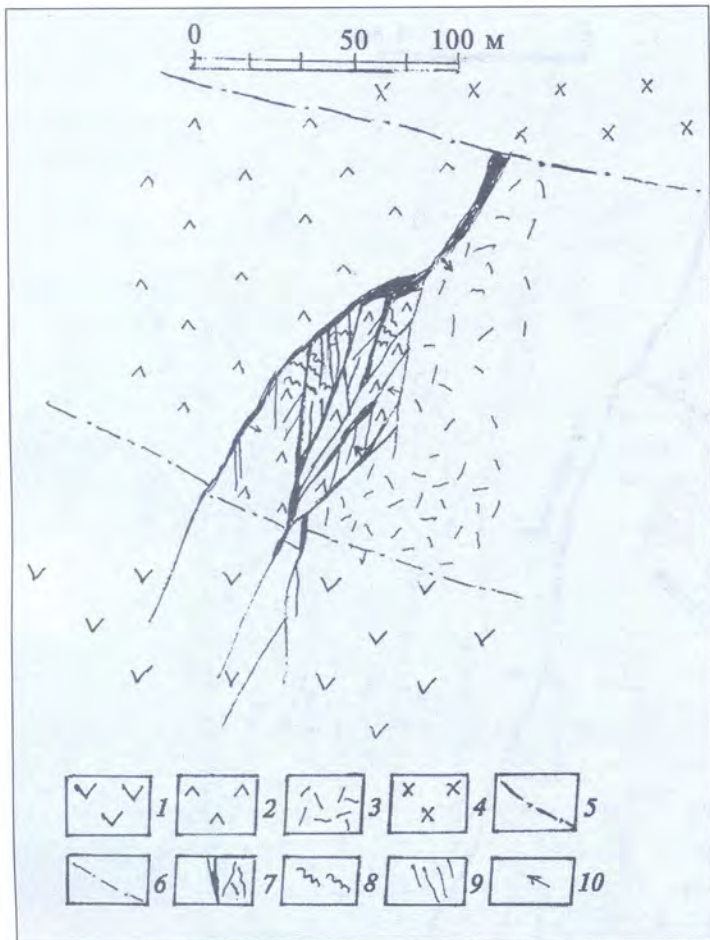
**Рис. 5.** Предполагаемое положение штокверковой зоны Центрального рудного столба (Ц.р.с.) Балейского участка под подошвой (в лежачем боку) жилы № 2 и сочленение Балейских зон с Тасеевскими рудными зонами на горизонтальном уровне около 100–250 м от современной поверхности; усл. обознач. – см. рис. 1 и 3. Поперечный разлом – Р., Юж – Южная и Сев. – Северная зоны Тасеевского участка

вблизи Центрального рудного столба была пройдена разведочная шахта. Она пересекла рудные образования с содержанием золота около 3 г/т, но их не оконтуривала. Шахта затоплена и недоступна для наблюдений.

В настоящее время при необычно высокой и устойчивой с 2010 г. мировой цены на золото (45–50 долл/г) рудные образования с указанными содержаниями подвергаются тщательной ревизии и доразведке.

Наконец, учитывая рудно-структурную позицию Балейского месторождения (рис. 1), размещающегося между двумя рудоконтролирующими и одновременно рудоподводящими разломами – Поперечным и Фабричным, следует считать, что аналогичной позицией характеризуется и Тасеевское месторождение. Очевидно, оно также размещается между двумя поперечными разломами – Фабричным и Кибиревским. Таким образом, необходима буровая доразведка и юго-западного фланга Тасеевского месторождения на уровне не только ныне затопленной Капитальной штольни, но выше и ниже её. Скорее всего, на юго-западном фланге Тасеевского месторождения между Фабричным и Кибиревским разломами возможно обнаружение слепых богатых руд, наподобие балейских.

Другой крупнообъёмный золоторудный столб был отработан на месторождении Карамкен. Напомним, что это месторождение локализовано в прогибе верхнемеловых вулканитов, расположенном в центрально-юго-западной части Охотско-Чукотского вулканоген-



**Рис 6.** Схема Карамкенского золоторудного столба Главной жилы, в плане, по [1, 6]: 1 – верхнемеловые андезиты и их туфы; 2 – дациты и риодациты субвулканического штока; 3 – риолиты субвулканического штока; 4 – поздне-меловые диориты; 5 – Карамкенский рудоподводящий разлом; 6 – дорудные разрывы; 7 – рудные жилы и прожилки в трещинах скола; 8 – то же в оперяющих трещинах отрыва; 9 – зоны прожилков высокой плотности; 10 – направления падения рудных жил и прожилков

дробления. Вблизи разлома рудный пучок достигает мощности (ширины) в десятки метров (до 20–25 м). Он протягивается на юго-запад. Примерно в 50–70 м от Карамкенского разлома рудоносное нарушение главной жилы образует широтный перегиб. Он довольно круто погружается на север–северо-запад. На перегибе жила разветвляется на две части – на Западную и Восточную ветви. От подошвы Западной ветви жилы внутрь столба отделяется пучок многочисленных сближенных маломощных зон дробления (рис. 6). Они полого погружаются в север–северо-западном направлении (под углом около 30°). Эти пологие зоны с многочисленными апофизами залечены рудоносным халцедон-кварцевым веществом, в котором содержания золота достигают десятков грамм на тонну руды. Именно подобные руды слагают Карамкенский рудный столб. Восточная ветвь Главной жилы, представленная маломощной рудоносной зоной дробления, обладает встречным падением и выступает восточной границей рудоносных метасоматитов и рудного столба. Между обеими ветвями жилы метасоматиты слагают как бы полого погружающийся на юг блок веретенообразной формы, достигающий в поперечнике 30–50 м. Он протягивается в плане на 100–150 м (рис. 6) и на глубину более 100 м.

ного пояса (ОЧВП), в 104 км на север от г. Магадан [6]. Рассматриваемый столб связан с рудно-структурными элементами Главной Карамкенской жилы [6]. Эта жила, как и другие, сопутствующие ей, приурочена к рудоподводящему Карамкенскому разлому субширотного направления. Он развился вблизи восточной границы упоминавшегося прогиба, видимо, висячем боку регионального Аганского разлома. Таким образом, Карамкенский разлом выступает, скорее всего, разломом-сателлитом последнего названного нарушения. Главная жила, как и другие, расположенные западнее (жилы 9 и 7) и восточнее (жилы 3, 36 и 37), отделяются и распространяются от висячего бока Карамкенского разлома на запад–юго-запад. Они проявлены в раннемеловых лавобрекчиях андезитов и породах субвулканического штока – риодацитах и краевых андезитах, обрамляющих шток с запада. В вертикальном разрезе жильное оруденение распространяется на глубину до 350–400 м (в интервале от 700 до 500 м) от современной поверхности. Главная жила в плане отделяется от разлома в виде плотного пучка сближенных жильных халцедон-кварцевых образований с рудными минералами. Они развились в мощной зоне

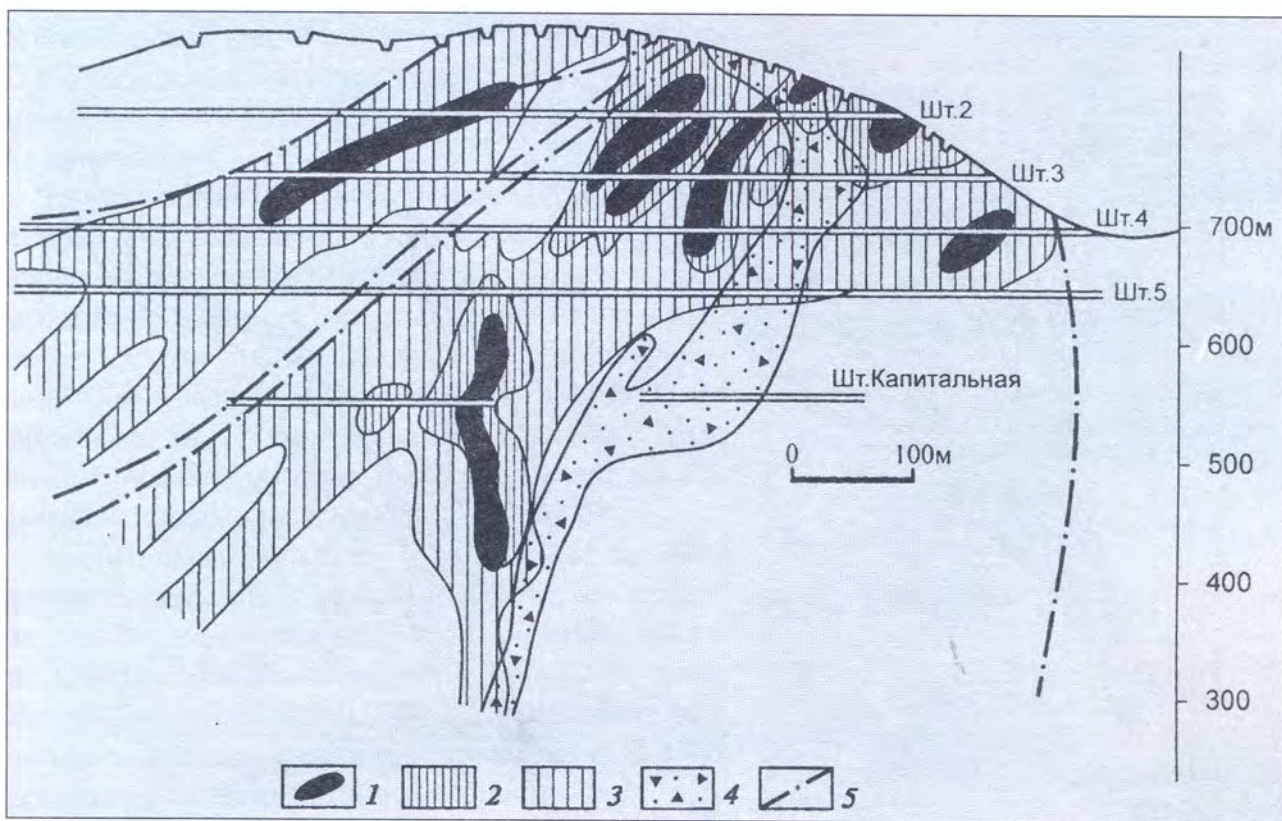
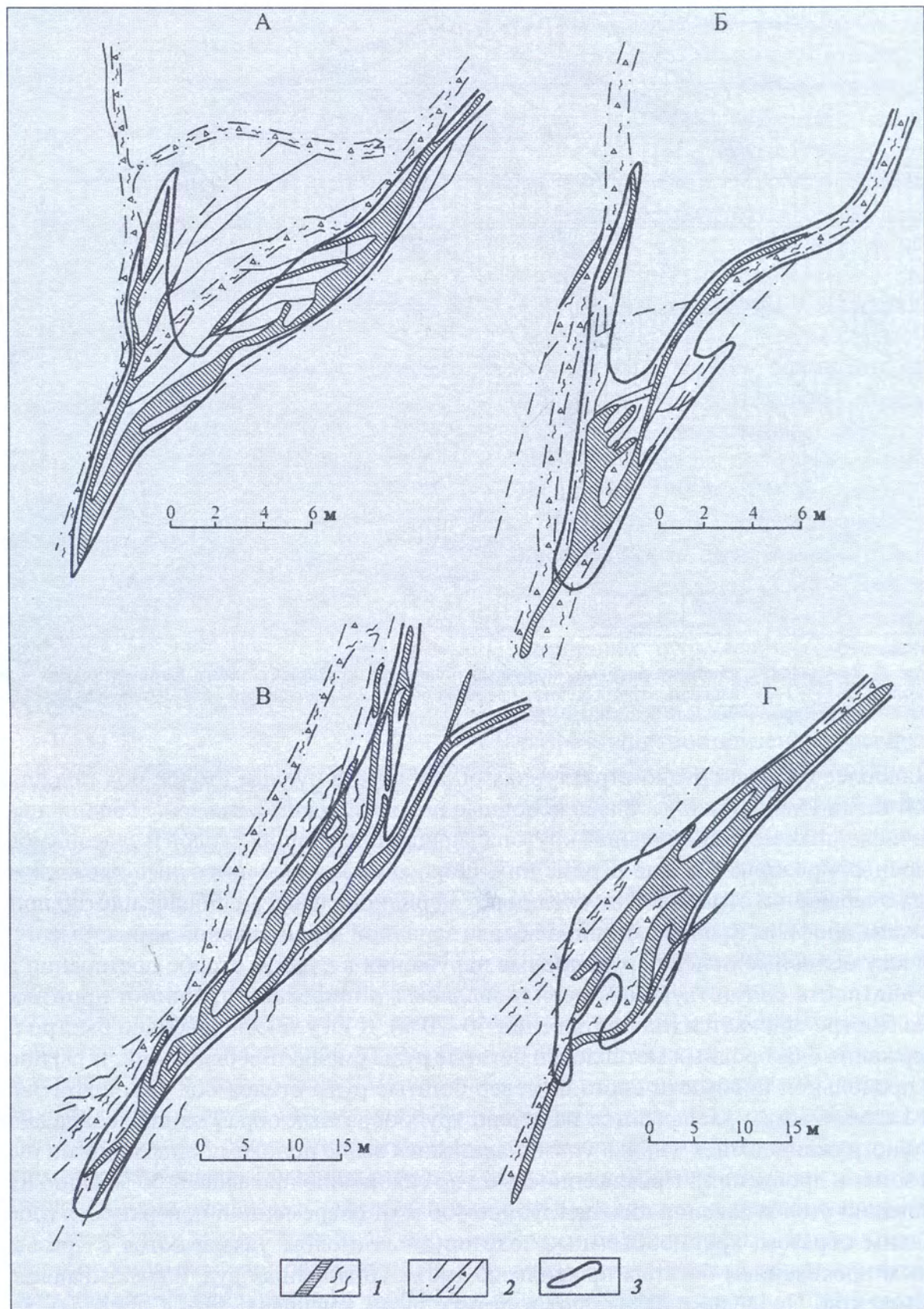


Рис. 7. Размещение наиболее богатых «струй» в плоскости крупнообъемного Карамкенского золоторудного столба, по [1]: 1–3 – изоконцентраты золота: 1 – более 64 г/т; 2 – в диапазоне 16–64 г/т; 3 – то же в диапазоне 4–16 г/т; 4 – зона гидротермальных брекчий; 5 – разрывы

Наиболее сложная рудно-структурная обстановка в рудном столбе под подошвой Западной ветви Главной жилы. Здесь основные пологие рудоносные зоны соединены сетью многочисленных меридиональных крутопадающих оперяющих сколов и залечивающих их рудоносных прожилков и жил. Кроме них, широко проявлены широтные прожилки в изогнутых оперяющих отрывах. Они соединяют меридиональные, наиболее плотно проявленные сколы-апофизы непосредственно вблизи западной ветви Главной жилы.

К югу основные пологие рудоносные нарушения в рудном столбе постепенно затухают, а плотность сопутствующих меридиональных и широтных трещин и прожилков довольно быстро снижается (на протяжении 50–70 м). К югу также довольно быстро падают и содержания благородных металлов, и богатые руды сменяются рядовыми. В [1] показано, что в продольной плоскости с юга на север богатые руды столба под подошвой Западной ветви Главной жилы распадаются на серию трубообразных образований (совпадающих с полого погружающимися на юг и упоминавшимися выше пологими оперяющими рудоносными зонами дробления). Протяжённость их по склонению превышает 50 м. Одно из таких образований столба закончилось на глубине 400 м от современной поверхности (рис. 7).

Таким образом, крупнообъемные золоторудные столбы увязываются с чрезвычайно плотным проявлением богатых прожилково-гнездово-жильных руд, накладывающихся на метасоматиты. Последние возникают в структурных ловушках, т. е. в пределах трещинных образований, замыкающих и оконтуривающих столбы – «трубы» и блоки метасоматитов, подвергающихся дроблению и трещинообразованию в период рудной минерализации. Можно также предположить, что с юго-западным флангом рудоносного нарушения Главной жилы и сопровождающими его разрывами может сочлениваться зона Третьей жилы



**Рис. 8.** Агинское месторождение. Морфология и внутреннее строение небольших по объёму золоторудных столбов с очень высокими содержаниями золота, в плане, по [2]: А – рудный столб Сюрприз, горизонт 1260 м; Б – то же, горизонт 1210 м; В – рудный столб Малыш, горизонт 1210 м; Г – рудный столб Агинский, поверхность; 1 – рудные кварцевые жилы и прожилки; 2 – дорудные зоны дробления; 3 – контуры рудных столбов

(расположенной юго-восточнее) на глубине около 400 м от современной поверхности. Этот узел сочленения также должен быть отревизован буровыми скважинами.

Чем больший объём занимают дорудные метасоматиты и наложенные на них жильные рудоносные образования, тем большие запасы золота сосредотачиваются в крупнообъёмных рудных столбах. В этом отношении чрезвычайно перспективно Озерновское месторождение с мощными кварцевыми и каолиновыми метасоматитами большой протяжённости. Детальная разведка наверняка выделит в них участки богатых руд.

Значительно меньшие по объёму и соответственно с меньшими запасами золота золоторудные столбы выделены на Агинском месторождении. Это сравнительно мелкие столбы 2-го типа. Они локализовались (рис. 8) на перегибах, разветвлении и расщеплении одиночных рудоносных разрывов и залечивающих их рудных жил. Как разветвляющиеся жилы, так и упомянутые рудные столбы формируются в полосах и лентах глиноподобных метасоматитов кварцевого и каолинит-гидрослюдисто-адуляр-алунитового состава. Параметры их несравнимо меньше по сравнению с рассмотренными примерами крупнообъёмных столбов. Как подтверждают их зарисовки, приведенные М.М. Константиновым ([3], с. 277), протяжённость их в плане и разрезе не превышает 15 м, а мощность жильного выполнения – 5–7 м, включая боковые оруденелые метасоматиты. Однако содержания золота в них местами высочайшие и достигают 5–11 кг/т за счёт образования в оперяющих трещинах богатого золотом жильного выполнения. Оно представлено накладывающимися одна на другую несколькими продуктивными и богатейшими минеральными комплексами (ассоциациями минералов) с самородным золотом, серебром, аргентитом, сульфосолями и теллуридами благородных металлов. Например, на Агинском месторождении четырех: 1) золото-пирит-адуляр-корренситовой, 2) золото-адуляровой, 3) золото-калаверитовой и 4) золото-гессит-корренситовой ассоциациями. Жильное выполнение накладывается на метасоматиты и оказывается заключённым в чехле каолинит-корренситовых метасоматитов. Необходимо упомянуть, что рудные жилы и прожилки, например, на Агинском месторождении, размещаются в пределах достаточно широких рудных пучков таких жил. На этом и некоторых других восточных месторождениях России подобные рудные пучки пространственно увязываются с разломами, пересекающими вулканотектонические постройки нередко в их краевых частях, например, на Бараньевском, Родниковом, Озерновском и других месторождениях Камчатской золотоносной провинции. Не секрет, что

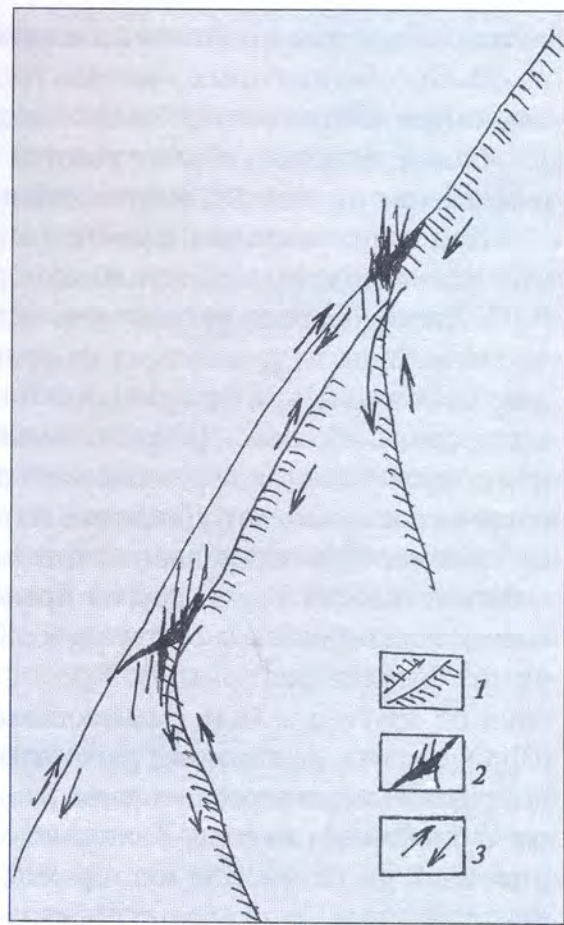


Рис. 9. Схема движения блоков пород, ограниченных стенками трещинных нарушений, в плане, по [7], и образование в узлах отделения оперяющих сколов и отрывов повторяющихся рудных гнёзд с бонанцевыми содержаниями золота в одиночных разрывах и залечивающих жилах: 1 – движущиеся блоки пород, ограниченные стенками трещинных нарушений; 2 – швы трещинных и оперяющих нарушений с гнёздами богатых руд на изгибах и в местах отделения оперяющих сколов и отрывов; 3 – направления движения блоков пород, ограниченных стенками трещинных нарушений

только выявление в одиночных жилах или жилах рудного пучка чередующихся небольших по объёму обогащённых участков рудных тел приводит к экономически обоснованной эксплуатации некоторых небольших месторождений золотосеребряных руд.

Самые малые по объёму участки обогащённых руд приурочиваются к узлам перегибов и отделения от главных нарушений и жил оперяющих рудоносных сколов.

При этом жильное рудное выполнение образуется в узлах проявления трещинных элементов, провоцирующих образование боковых оперяющих трещин. По мнению Е.Ш. Хилса [7], если рассмотреть механизм формирования рудовмещающих нарушений и залечивающих их рудных тел на примере некоторых очень чётко проявленных золоторудных месторождений трещинного типа, то упомянутый процесс может быть представлен следующим образом. Действительно бесспорно, что формирование трещинного нарушения сопровождается перемещением пород, слагающих стенки одного или обоих его боков (висячего и лежащего). Движение их происходит до любого упора (иной породы, поперечной или косоориентированной трещины, проявления ксенолитов, инородных образований в магматических телах, других препятствующих элементов и т. п. [7]. Здесь фланг нарушения перегибается и осложняется боковым сколом, по которому продолжается перемещение блока пород (рис. 9). Такие перегибы расположены преимущественно в 50–200 м один от другого в виде смыкающихся звеньев образующегося протяженного нарушения [7]. Очевидно, на таком же расстоянии один от другого могут располагаться боковые сколы, разветвления и расщепления разрывов. С ними связаны обогащённые участки рудных тел с бонанцевыми содержаниями золота. Выше упоминалось, что в своё время они были отмечены на Балейском месторождении. Если принять справедливым такое изложенное представление, то возможно прогнозирование небольших по объёму рудных столбов (или, скорее, обогащённых участков жил) в одиночных рудоносных нарушениях. Уже упоминалось, что отработка многих месторождений близповерхностного генезиса оказывается экономически обоснованной только при обнаружении в разведываемых одиночных разрывах или в пучках ряда таких чередующихся малообъёмных участков богатых руд. Запасов благородных металлов в них оказывается достаточным для экономически выгодной отработки подобных руд.

## Выводы

1. Очевидно, что крупнообъёмные золоторудные столбы формируются в зонах существенно кварцево-каолинитовых метасоматитов, подвергшихся интенсивному трещинообразованию в период оруденения. При развитии пучка тесно сближенных трещинных нарушений в метасоматитах возникает (накладывается на них) «струя» – зона жил, прожилков и гнёзд штокверкового облика, характеризующихся очень высокой плотностью. В апофизах, залечивающих оперяющие сколы и отрывы, при этом обособляются прожилки, слагающиеся несколькими продуктивными ассоциациями с золотом, золотосодержащими минералами и собственными минералами золота и серебра. Всем этим достигаются высочайшие концентрации золота, местами превышающие первые килограммы благородного металла в тонне руды.

2. В расщепляющихся на перегибах одиночных ствольных жилах и образующейся при этом сети боковых рудоносных оперяющих сколов и отрывов (также накладывающихся на метасоматиты) развиваются обогащённые участки рудных тел, отличающиеся сравни-

тельно небольшими объёмами рудного жильного вещества с бонанцевыми содержаниями золота.

3. Если использовать опыт разведочных работ, проведённых в последние годы в восточных районах России, то, может быть, наиболее перспективным окажется следующая последовательность обнаружения наиболее продуктивных геологических элементов в месторождениях золота и серебра близповерхностного генезиса. Ниже приводится такая последовательность: 1) обнаружение пучков сближенных жил с золотосеребряными рудами в краевых частях вулканотектонических построек и пучков в чётко проявленных зонах глиноподобных метасоматитов кварцевого и каолинит-адуляр-гидрослюдисто-алунитового состава; 2) выявление в пучках перспективных рудных жил с перегибами, разветвлениями, расщеплениями и отделяющимися боковыми рудоносными оперяющими сколами и отрывами; 3) обнаружение и детальное прослеживание протяжённых жил пучка, характеризующихся развитием в них небольших по объёму богатых участков руд. Они располагаются в жилах в 50–200 м один от другого и приурочиваются к чередующимся и повторяющимся перегибам, разветвлениям и узлам отделения оперяющих сколов; 4) фиксирование максимального распространения подобных участков богатых руд на разных уровнях проявления в вертикальном интервале 350–150 м от современной поверхности, детальная разведка таких уровней.

4. Из приведённого материала следует, что проверкой бурением проявлений слепых руд в вертикальном диапазоне 150–350 м от современной поверхности следует обязательно провести на следующих месторождениях: Балей, Тасеевское, Карамкен, Агинское, Озерновское.

## Литература

1. Бельков Е.В., Бельчанская Л.Н., Красильников А.А. Месторождение Карамкен // Многофакторные прогнозно-поисковые модели месторождений золота и серебра Северо-Востока России / Под ред. М.М. Константинова, И.С. Розенблюма, М.С. Зиннатуллина. М., 1992. С. 67–72.
2. Беневольский Б.И. Золото России. Проблемы использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы. М.: ЗАО Геоинформарк, 2002. Изд. 2-е. исправл. и дополн. 464 с.
3. Золоторудные месторождения России / Под ред. М.М. Константинова. М.: ООО «Акварель», 2010. 349 с. Приложение.
4. Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А., Дудкин Н.В. Особенности геологии и структуры крупнейших золоторудных месторождений эндогенного класса. М.: Астрея-центр, 2015. 190 с.
5. Петровская Н.В., Бернштейн П.С., Мирчинк С.Г., Андреева М.Г. Геологическое строение, минералогия и особенности генезиса золоторудных месторождений Балейского рудного поля (Восточное Забайкалье). М., 1961. Тр. ЦНИГРИ. В. 45. Ч. 1. 93 с., Ч. 2. 128 с.
6. Стружков С.Ф., Константинов М.М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Научный мир, 2005. 318 с. Приложение.
7. Хиллс Е.Ш. Элементы структурной геологии. М.: Изд-во ИЛ., 1967. 478 с.

## ВОЗМОЖНЫЙ РОСТ РЕСУРСОВ ЗОЛОТА НА ТРЁХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ – БАМСКОМ, МНОГОВЕРШИННОМ, ОЛЬЧА

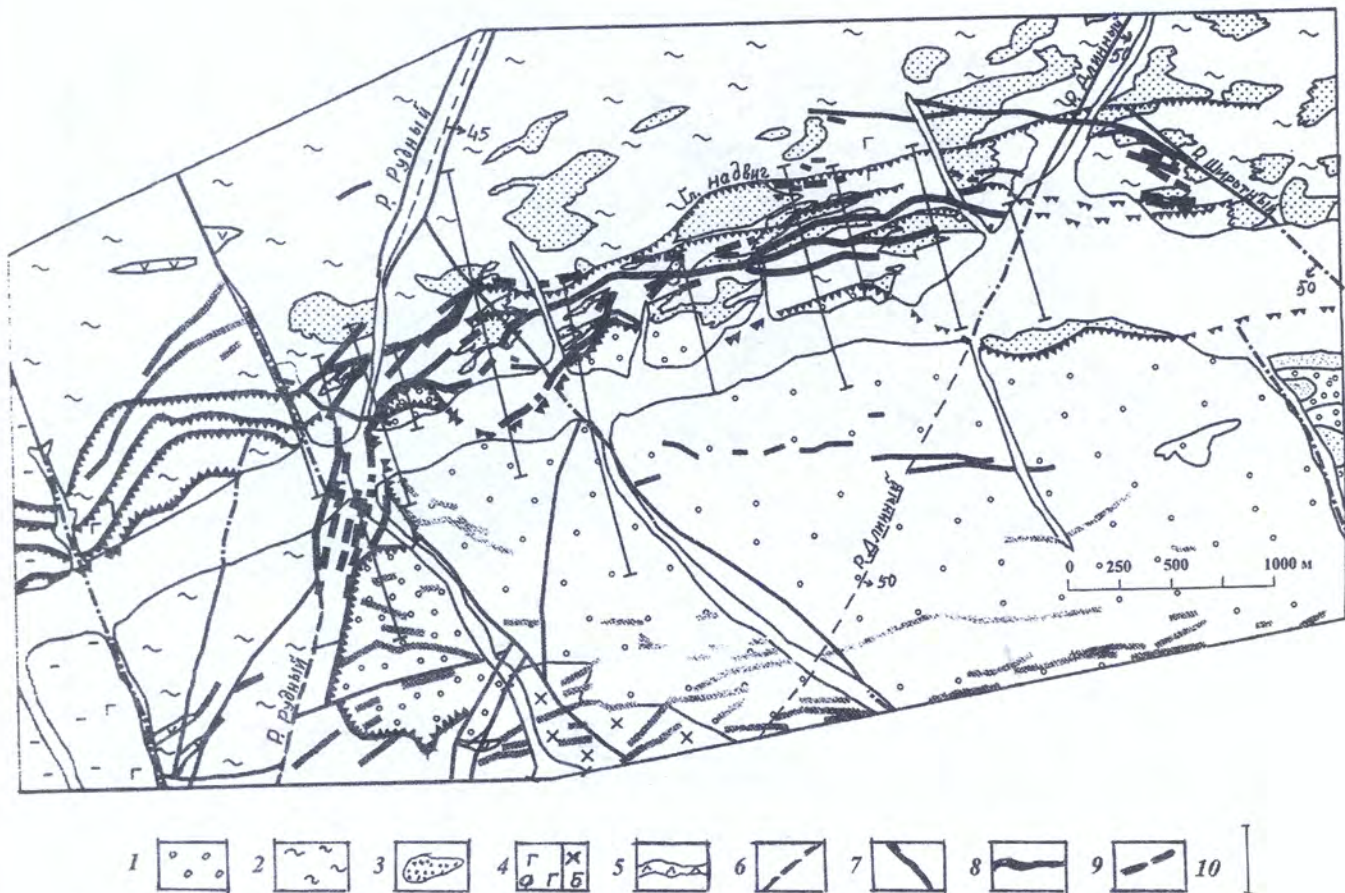
*Краткий обзор составлен в память о безвременно и неожиданно ушедшем от нас ведущем знатоке золоторудных месторождений России М.М. Константинове. Показано, что, используя его материалы при до-разведке трех крупных отечественных месторождений – Бамское, Многовершинное и Ольча, можно существенно увеличить ресурсы золота.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* месторождение; рудное тело; золото; серебро.

*(Известия вузов. Геология и разведка. 2017. № 6. С. 73–78).*

Как показано М.М. Константиновым в его последней книге [1], оруденение на Бамском месторождении заключено в пластине протерозойских и архейских гранитов, надвинутой и как бы наброшенной по Главному широтному надвигу на основание лейкократовых и биотитовых гранитов раннего протерозоя. Надвиг, погружающийся на юг, протягивается на восток более чем на 7 км. Местами ветви его прослеживаются как скрытые разрывы, залеченные зонами березитов и лиственитов. Оруденение на участке месторождения заключено между двумя поперечными дорудными разломами – Рудным и Длинным северо-восточного простирания ([1], рис. 116, с. 199). Они расположены на расстоянии около 3 км один от другого и на этом протяжении в надвинутой пластине гранитов установлены непрерывно прослеживающиеся рудные тела, расположенные один над другим и распространяющиеся на глубину до 300 м и более по падению. Кроме того, вдоль южного фланга Рудного разлома также протягивается серия сравнительно коротких золоторудных тел. К востоку от разлома Длинный обнаружен другой, третий, и, видимо, будут установлены другие субпараллельные ему рудоподводящие разломы. Между ними, скорее всего, также могут быть проявлены золоторудные тела. Разведка их может значительно увеличить ресурсы золота. При этом, в связи с эрозией верхней кромки надвинутой пластины, рудные тела, вероятно, будут обнаруживаться к востоку от разлома Длинный на всё большей глубине. Они могут быть выявлены и западнее разлома Рудного. В настоящее время сумма запасов и ресурсов золота на месторождении превышает 100 т металла при среднем содержании его 3,7 г/т.

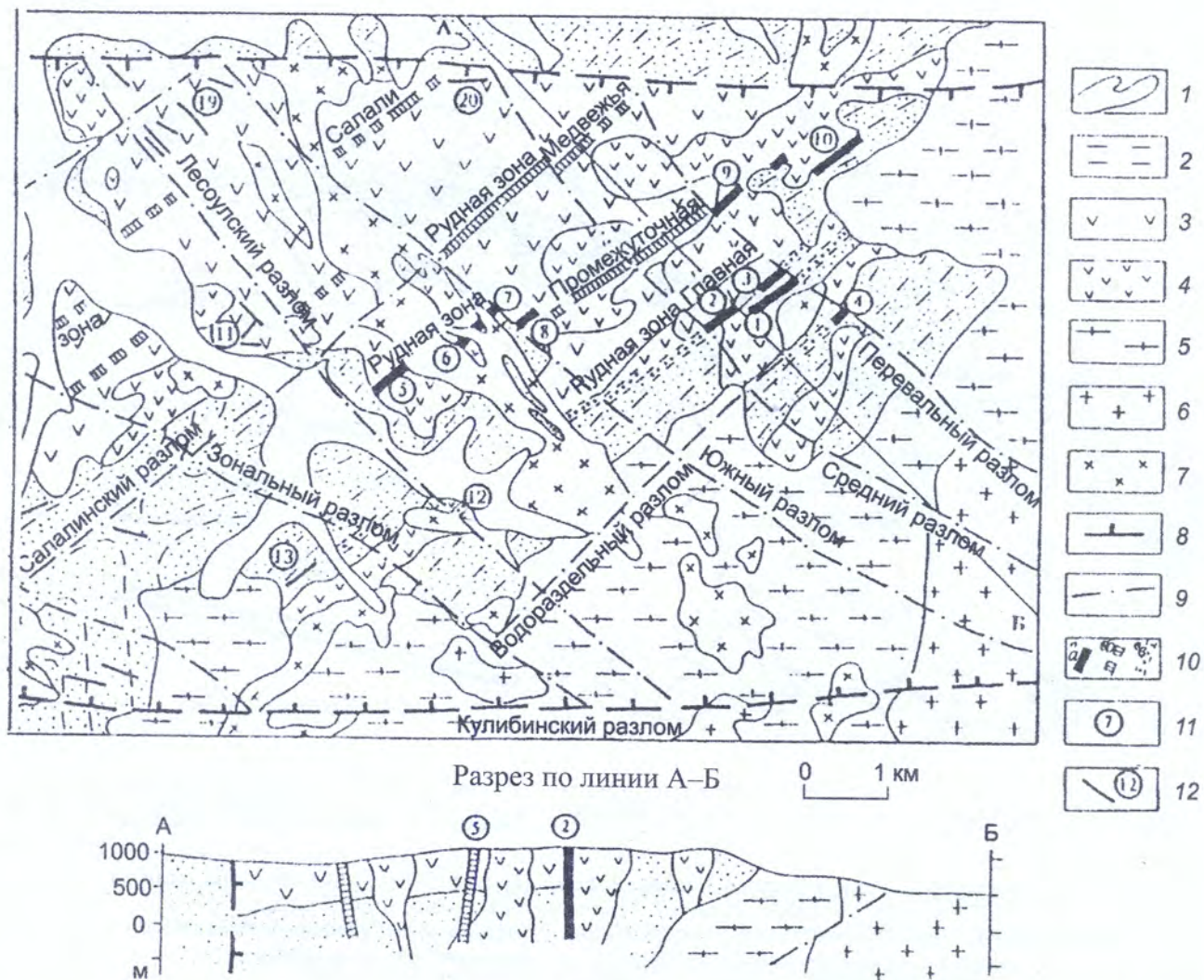
На Многовершинном месторождении золоторудные тела размещаются в андезитах и их лавобрекчиях нижнего палеогена. Они локализуются в четырёх золотоносных зонах разрывов, расположенных между двумя региональными широтными разломами – северным Среднеульским и южным Кулибинским. Золотоносные зоны кварц-адуляр-золотосульфидного состава, названы (с севера на юг) Салали, Медвежья, Промежуточная и Главная, основная, круто, под углами 75–80°, падают, как и рудные тела, на северо-запад.



**Рис. 1.** Геологическая схема Бамского месторождения [1]; дорудные рудоподводящие разломы: Р. Рудный, Длинный, Широкий, Гл. надвиг – Главный надвиг, 1 – гнейсовидные гранодиориты нижнего архея; 2 – биотитовые и лейкократовые граниты нижнего протерозоя; 3 – прерывистые и лентообразные тела биотитовых и гранатсодержащих гнейсов верхнего архея; 4 – позднеюрские образования: а – гранодиорит- и граносиенит-порфиры, б – биотитовые граниты; 5 – дайки и мелкие субвулканические тела гранодиорит- и граносиенит-порфиров юрского возраста; б – рудоподводящие разломы; 7 – прочие прослеженные разрывы; 8 – прослеженные рудные тела; 9 – рудные тела предполагаемые; 10 – разведочные буровые линии

Зоны протягиваются на расстоянии 1–1,5 (иногда 1,7) км одна от другой. На поверхности золоторудные тела обнаружены только в Главной и Промежуточной зонах (рис. 2) и ([1], рис. 156, с. 245). Рудоносные интервалы в зонах проявлены между поперечными нарушениями северо-западного простирания – сдвиго-надвигами, погружающимися на северо-восток под углами около 45–55°.

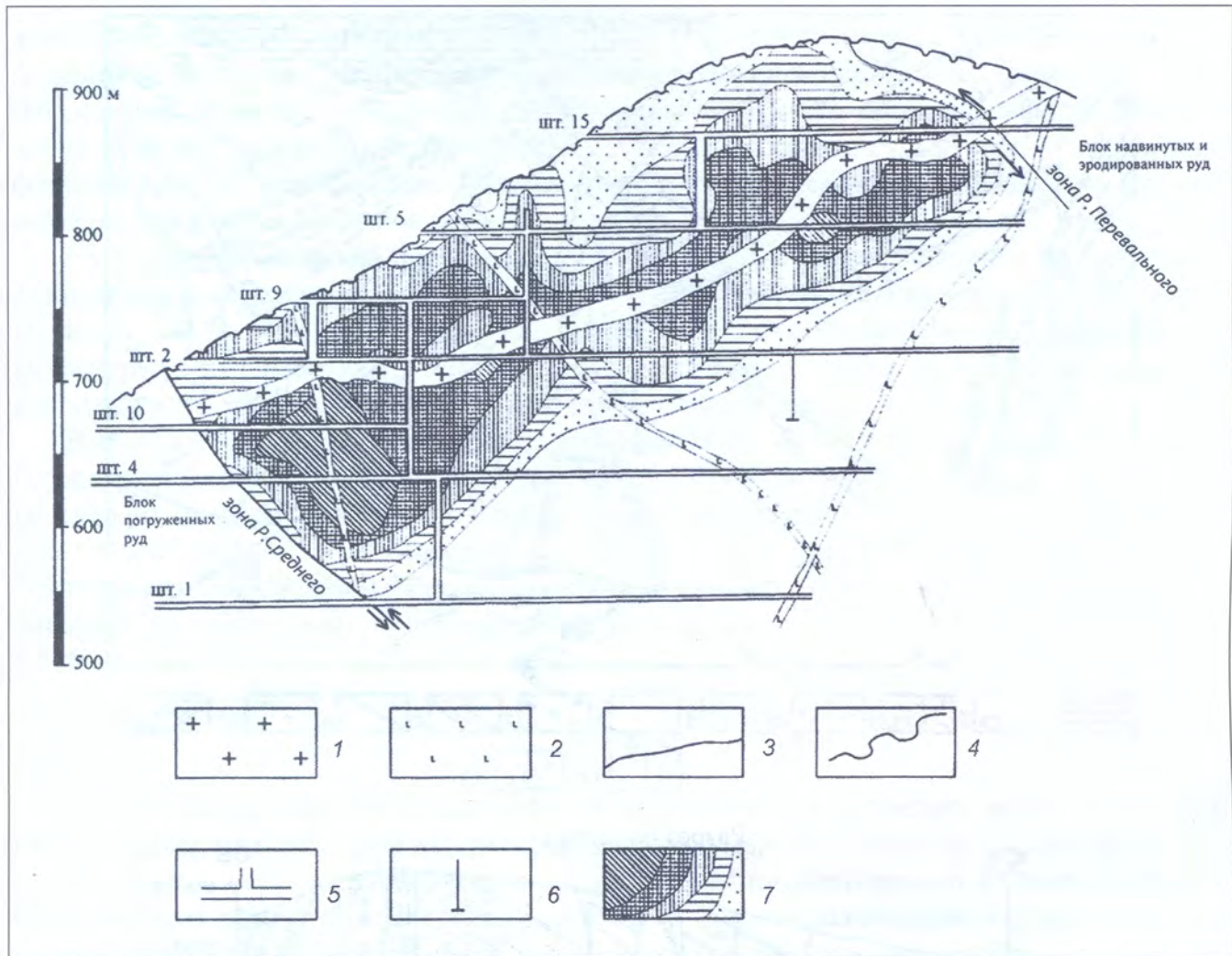
Скорее всего, разрывы указанной ориентировки выступали рудоподводящими нарушениями, между которыми в зонах локализовались золоторудные тела. Например, такой позицией обладает рудное тело Верхнее, заключённое с юга между разломом Средним и с севера – разломом Перевальным (рис. 3) ([1], рис. 158, с. 247). По названным разрывам происходили надвиги, которыми одни из блоков пород (в лежачем боку надвигов) были погружены на глубину около 150–200 м и являются оруденелыми, а другие (в висячем боку) были подняты, и руды в них эродированы. Наряду с указанными нарушениями проявлены также поперечные разрывы, крутопадающие в противоположном – юго-западном – направлении. Они сформировались в послерудное время и осложнили структуру месторождения. Вдоль них проявились взбросо-сдвиги (с вертикальной амплитудой 30–50 м, и в плане – с правосторонним сдвигом на первые сотни метров). В настоящее время отработаны золоторудные тела выше горизонта 540–545 м. На более глубоких уровнях



**Рис. 2.** Геологическая схема Многовершинного месторождения и разрез по линии А – Б (по Э.П. Хохлову, С.И. Косову): 1 – рыхлые аллювиальные отложения; 2 – верхнеюрско-нижнемеловые глинистосланцевые осадочные породы фундамента; 3 – нижнепалеогеновые андезиты и лавобрекчии андезитов, покровные; 4 – жерловые субвулканические породы; 5 – среднепалеогеновые гранодиориты; 6 – среднепалеогеновые лейкократовые граниты; 7 – среднепалеогеновые гранодиорит-порфиры; 8 – региональные разломы; 9 – прочие разрывы, в том числе, поперечные рудоподводящие, падающие на северо-восток; 10 – рудные тела: а – выходящие на поверхность, б – слепые, в – предположительно эродированные; 11 – рудные тела Главной Восточной зоны: 1 – Верхнее, 2 – Центральное, 3 – Оленье, 4 – Водораздельное; рудные тела зоны Промежуточной, их наименования: 5 – Промежуточное, 6 – Южное, 7 – Фланговое, 8 – Северное, 9 – Тихое, 10 – Валунистое; 12 – рудопроявления, их наименования: 11 – Медвежье, 12 – Бирсалали, 13 – Кварцевая сопка, 14 – Кулибинское, 15 – Эватак, 16 – Увальное, 17 – Зональное, 18 – Конечное, 19 – Озёрное, 20 – Ким

смещённые юго-западные отрезки рудных тел, залегающие, видимо, в глинистосланцевой толще юрско-мелового возраста ([1], рис. 159, с. 249) и расположенные юго-западнее, не были в своё время обнаружены, главным образом, в связи с бурением очень редких и неглубоких скважин. О возможности развития оруденения в глинистосланцевых породах свидетельствует геологическая схема месторождения (рис. 2), на которой в названных породах зафиксированы золотопроявления Кварцевая сопка, Бирсалали и др.

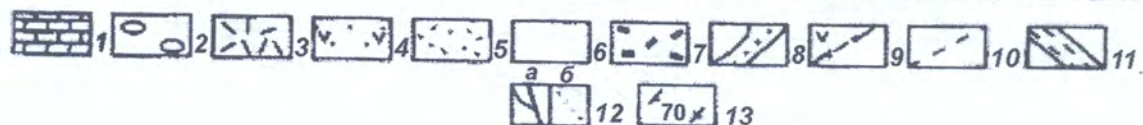
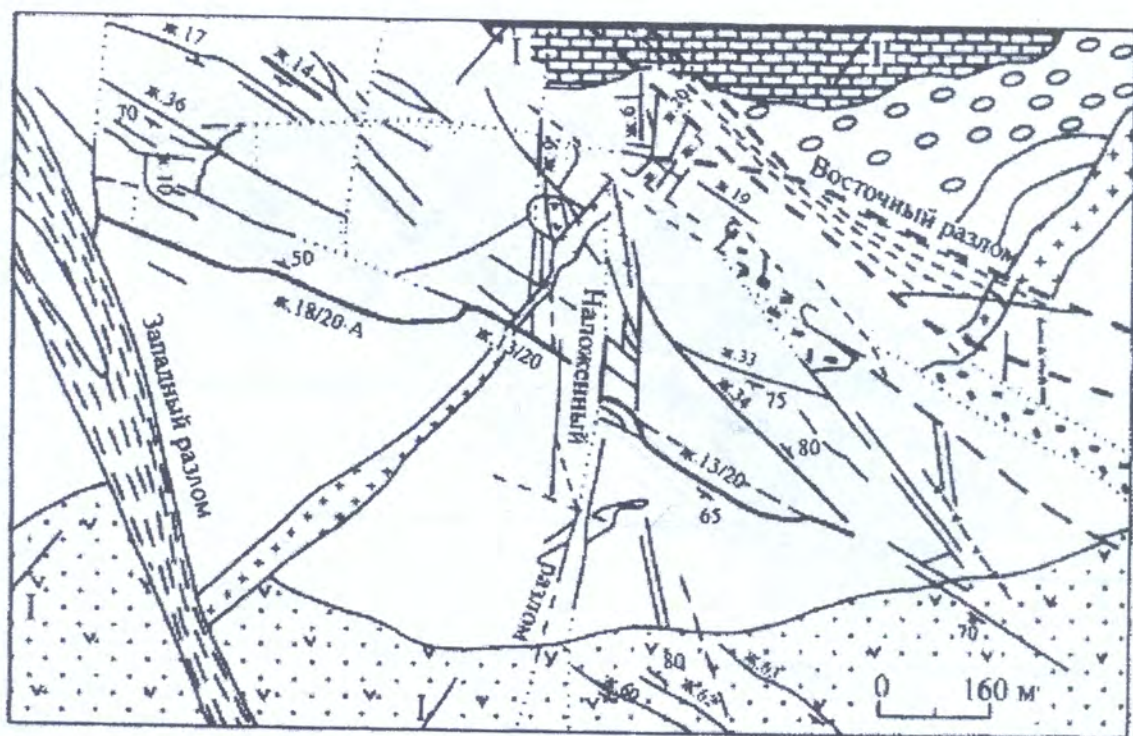
В северо-восточном направлении золотоносные зоны перекрываются «подушкой», видимо, «нашлёткой языка» среднепалеогеновых гранодиоритов, которые считаются послерудными образованиями. Скорее всего, мощность «подушки» не превышает по материалам ([1], рис. 156), 100–250 м. В связи с изложенным можно предполагать, что под указанными интрузивными образованиями в десятках метров ниже подошвы «подушки» должны со-



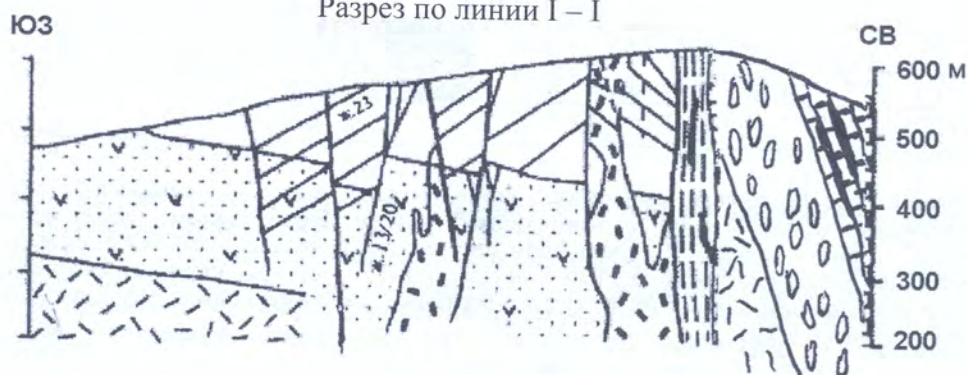
**Рис. 3.** Рудное тело Верхнее в плоскости Главной рудной зоны, расположенное между двумя рудоподводящими разломами: Средним – на юго-западном фланге и Перевальным – на северо-восточном фланге (по С.И. Косову). 1 – гранит-порфиры; 2 – диоритовые порфиристы; 3 – рудоподводящий разлом; 4 – канавы на поверхности; 5 – подземные горные выработки; 6 – буровые скважины; 7 – зоны распределения золота в плоскости рудного тела с различным содержанием его – от более 10 г/т в верхнем «северо-западном» углу условного знака, до 1–2 г/т – в нижнем «юго-восточном» углу

храниться руды, распространяющиеся на месторождении на глубину местами до 300 м и более от современной поверхности. Очень перспективен также поиск руд в андезитах зон Салали и Медвежьей вблизи швов Среднеульского разлома. Всё изложенное может привести к значительному росту ресурсов золота на месторождении, остаточные запасы которого не превышают в настоящее время 50 т при содержании золота 9,7 г/т.

Для месторождения Ольча приведённые М.М. Константиновым материалы (рис. 4) и ([1], рис. 45, с. 86), свидетельствуют о возможности рассматривать золотоносную зону месторождения с проявленной в ней полосой субпараллельных маломощных жил и прожилков золотосеребряных руд и, возможно, «межжильной» рудной вкрапленности, обладающих северо-западным направлением, как единое рудное тело. Действительно, оно протягивается вдоль Восточного разлома в вулканитах его юго-западного борта не менее чем на 2 км. Указанная полоса жил и прожилков характеризуется шириной от 100 до 300 м в различных частях зоны. При этом жилы и прожилки размещаются преимущественно менее чем в 5–10 м одна от другой. Почти все они выполняют маломощные зоны



Разрез по линии I – I



**Рис. 4.** Геологическая схема золотосеребряного месторождения Ольча и разрез по линии I–I: 1 – доломиты и известняки раннего кембрия; 2 – базальные полимиктовые валунно-галечниковые отложения средне-позднедевонского возраста; 3 – лавы и туфолавы риолитов с прослоями трахитов; 4 – туфы андезитов и дацитов; 5 – разнообломочные лавобрекчии андезитов; 6 – туфоконгломераты, туфопесчаники, туфоалевролиты; 7 – интрузивные риолит-порфиры девонского возраста; 8 – гранодиорит-порфиры девонского возраста; 9 – средне-позднедевонские штоки и дайки диорит-порфиров; 10 – тектонические швы разломов; 11 – мощные зоны катаклазированных и дробленных пород; 12 – золоторудные жилы: а – прослеженные, б – предполагаемые; 13 – наклонное и крутое залегание контактов пород

дробления, заключающие обильную брекчию вмещающих метасоматитов. Мощность рудных жил различна – от нескольких сантиметров до 1 м, а на перегибах – местами до 8 м. Жилы представлены агрегатом халцедона, адуляра и кварца, по зальбандам кальцитом и родохрозитом, с очень малым количеством рудных минералов – от долей процента до максимумно 2,5 %. Среди них преобладают пирит, сульфиды и сульфосоли меди, в частности, халькопирит и серебристый тетраэдрит. Золото тонкое, низкопробное, размером от 0,01 до 0,1 мм. При этом в межжильном пространстве проявлены синевато-чёрные полосы халце-

**Евгений Михайлович Некрасов,  
Людмила Алексеевна Дорожкина,  
Никита Владимирович Дудкин,  
Татьяна Николаевна Косовец**

**СИСТЕМАТИКА,  
СТРУКТУРА И ЗАПАСЫ  
ЗОЛОТОРУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Подписано в печать 09.01.2019. Формат 60х90/8  
Гарнитура «Times New Roman». Бумага офсетная. Печать офсетная  
Печ. л. 30,5. Тираж 250 экз. Заказ № 230

Выпущено ИПК «Астрейя-центр»  
115230, г. Москва, Каширское ш., д. 7, корп. 2  
(495) 775-45-28