

# Геология и полезные ископаемые

УДК 553.411.04/071(571.5)

## ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МЕЗОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА. Ч. 3. ПЕТРОХИМИЧЕСКИЙ И ГЕОХИМИЧЕСКИЙ КРИТЕРИИ

**Кучеренко Игорь Васильевич,**

д-р геол.-минерал. наук, профессор кафедры геологии и разведки  
полезных ископаемых Института природных ресурсов ТПУ,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30.  
E-mail: Kucherenko.o@sibmail.com

Актуальность работы определяется сохраняющейся в рудной геологии после столетних исследований необходимостью создания теории образования гидротермальных месторождений золота взамен существующих конкурирующих между собой гранитогенной, базальтогенной, метаморфогенной, полигенной гипотез рудообразования.

**Цель исследования:** петролого-геохимическое в сравнительном аспекте изучение рудовмещающих метасоматических ореолов в месторождениях золота, образованных в кристаллическом субстрате и толщах черных сланцев, на предмет доказательства их вещественно-генетической однородности или различий в условиях образования месторождений той и другой совокупности; разработка на основе полученных результатов петрохимического и уточнение геохимического прогнозно-поисковых критериев оценки территорий на золото.

**Методика исследования:** полевое изучение рудовмещающих метасоматических ореолов и отбор проб в ореолах и породах обрамления, диагностика метасоматических минералов, полный химический силикатный и атомно-абсорбционный на золото, серебро, ртуть анализы проб горных пород, петрохимические пересчеты по объемно-атомному методу химических анализов горных пород, балансовые расчеты с целью количественной оценки миграции и фиксации петрогенных компонентов в процессах метасоматизма и рудообразования, расчеты статистических параметров распределения металлов в метасоматических ореолах и вмещающих ореолах пород для реконструкции геологической истории рудогенных элементов.

**Результаты:** доказываемая геолого-вещественно-генетическая однородность оруденения, образованного в той и другой среде, и принадлежность околорудных метасоматических ореолов к сочетанию метасоматических формаций – березитовой в тыловых зонах и пропилитовой в периферийных. Формирование контрастных аномалий ассоциации фемофильных элементов в составе K, Ti, P, Mg, Fe, Ca, Mn в тыловых зонах ореолов в обрамлении глубинных разломов в сочетании со снижением содержаний Ti и P по мере удаления от разломов до кларковых уровней вследствие инверсии щелочного режима растворов в кислотный и перехода элементов в инертное состояние открывает возможности использования явления фемофильной специализации золотоносных березитов для доказательства генерации металлоносных растворов в очагах умеренно щелочных базальтовых расплавов. В качестве петрохимического прогнозно-поискового критерия эти факты обеспечивают положительный прогноз, диагностику раствороподводящих разломов, контролирующую размещение месторождений через раствороподводящую функцию, и локализацию площадей для поисков оруденения, в том числе не выходящего на дневную поверхность. В результате реконструкции по специальной методике геологической истории металлов в околорудном пространстве изученных месторождений диагностированы субкларковые их содержания, в частности, золота на уровне 0,5...3,0 мг/т в различных кристаллических породах и в черных сланцах вне и на дальней периферии околорудных метасоматических ореолов; параметры распределения повышенных и аномальных концентраций металлов прямо коррелируют с интенсивностью околорудных метасоматических преобразований пород. Эти данные доказывают образование месторождений в не специализированном на золото субстрате, включая черные сланцы, и синрудный статус геохимических аномалий.

На положительный прогноз по совокупности обсуждаемых и других ранее предложенных автором тектонического, геодинамического, петрологического критериев прогнозно-поискового комплекса в отличие от существующих популярных представлений не влияет уровень (кларковый, сверхкларковый) дорудной золотоносности черных сланцев.

### **Ключевые слова:**

Мезотермальные месторождения золота, прогнозно-поисковый комплекс, кристаллический субстрат, черные сланцы, петрохимический, геохимический критерии.

## Введение

В петролого-геохимической модели рудовмещающего гидротермально измененного субстрата мезотермальных месторождений золота южного горно-складчатого обрамления Сибирского кратона, которая приведена и обсуждается в [1], показана полная аутентичность минералого-петрохимической зональности околорудных метасоматических ореолов, образованных в разнообразных кристаллических породах и толщах черных сланцев, а также принадлежность ореолов к сочетающимся метасоматическим формациям – березитовой в тыловых и пропилитовой в периферийных минералого-петрохимических зонах.

В свою очередь, во всех вмещающих месторождения средах распределение рудогенных элементов в околорудном пространстве на сверхкларковых уровнях прямо коррелирует с минералого-петрохимической зональностью околорудных метасоматических ореолов. Результаты петролого-геохимического исследования использованы для уточнения одного из ключевых положений теории метасоматической зональности Д.С. Коржинского [2], разработки нового петрохимического и корректировки геохимического прогностико-поисковых критериев оценки территорий на золотое оруденение.

## Петрохимический критерий

Основные достигнутые научные результаты, использованные для разработки критерия, заключаются в следующем.

Типовая универсальная метасоматическая колонка, приложимая к кристаллическому и черносланцевому субстрату, включает следующие минералого-петрохимические зоны (подчеркнуты минералы, исчезающие в более тыловой зоне).

**Фронтальная зона:** Кварц + серицит + лейкоксен + рутил + магнетит ± пирит ± кальцит + альбит ± кероген ± хлориты ± цоизит ± актинолит ± тремолит

**Хлоритовая (эпидотовая, эпидот-хлоритовая) зона:** Кварц + серицит + лейкоксен + рутил + магнетит + пирит ± кальцит ± доломит + альбит ± кероген ± хлориты ± цоизит ± клиноцоизит ± эпидот

**Альбитовая зона:** Кварц + серицит + лейкоксен + рутил + магнетит + пирит ± кальцит ± доломит-анкерит ± сидерит ± апатит ± кероген + альбит

**Тыловая зона:** Кварц + серицит + лейкоксен + рутил + магнетит + пирит ± кальцит ± анкерит ± сидерит ± брейнерит ± апатит ± кероген

Балансовыми петрохимическими расчетами подтверждается образование березитов и березитоидов (березитов с альбитом в смежной с тыловой аль-

битовой минералого-петрохимической зоне) в условиях калиево-сернисто-углекислотного метасоматизма, сопровождаемого частичным (до 50 мас. %) выносом из исходных пород тыловых зон кремнезема, почти полной (до 90 мас. %) заменой натрия более сильным основанием калием и поступлением восстановленной серы и углекислоты.

Основная масса поступающих по разломам с металлоносными растворами петрогенных компонентов и металлов, в том числе золота, серебра и других, фиксируется в минералах тыловых зон и в абсолютном выражении регулируется диффузионным механизмом массопереноса [3]. Изменения минерального состава пород в периферийных фронтальной и промежуточной хлоритовой минералого-петрохимических зонах пропилитов осуществляются в основном посредством перераспределения петрогенных компонентов из исходных минералов в новообразованные, то есть за счет внутренних ресурсов пород, при том что этих зон достигает из тыловых, как правило, и незначительное количество наиболее подвижных серы, углекислоты, а также металлов.

Согласно теории [2], метасоматическая зональность околорудных метасоматических ореолов формируется вследствие последовательного перехода в подвижное состояние химических элементов от одной минералого-петрохимической зоны к другой по мере усиления метасоматических преобразований пород в направлении к тыловой зоне. При этом в каждой более тыловой зоне сравнительно со смежной более фронтальной число минеральных фаз уменьшается на единицу. Это всегда фиксируется в природных колонках: новообразованные во фронтальной зоне актинолит или тремолит полностью растворяются на ее внутренней границе, хлорит или эпидот замещаются на внутренней границе хлоритовой (эпидотовой) зоны, альбит замещается на внутренней границе альбитовой зоны. Однако березит в тыловой и кварцевая жила в осевой зонах остаются полиминеральными, равно как и метасоматит в смежной альбитовой зоне, состоящий не из двух, как предписано теорией, а из большего числа минералов.

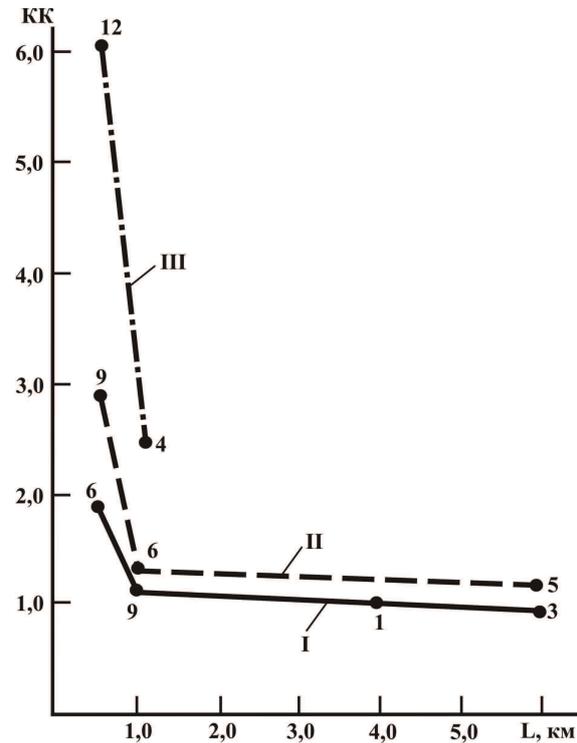
Представляется, что это различие между теоретической и природной метасоматическими колонками обусловлено не предусмотренным и не учитываемым теорией поступлением в формирующиеся метасоматические ореолы химических элементов и их соединений с металлоносными растворами извне. Основная масса поступающих компонентов, как отмечалось, оседает в тыловой и смежной альбитовой зонах, то есть в ближнем обрамлении раствороподводящих каналов и их конечном минеральном выполнении – жилах, что естественно в условиях диффузионного механизма массопереноса, доказываемого эмпирическими данными [3].

В рудовмещающих толщах черных сланцев полнопроявленная минералого-петрохимическая зональность околожилных ореолов с березитом в тыловой зоне формируется эпизодически. Доста-

точно редко березиты можно встретить в минерализованных зонах и залежах прожилково-вкрапленных руд, приуроченных, помимо тыловой березитовой, к альбитовой и хлоритовой зонам рудовмещающих метасоматических ореолов. Обычно породы в экзоконтактах крупных промышленных золотоносных кварцевых жил и мелких прожилков представлены черными сланцами, измененными на уровне альбитовой, промежуточной хлоритовой или даже фронтальной зон. Вместе с тем соседние промышленные золотоносные жилы или минерализованные зоны, локализованные в гранитах или ультраметаморфитах одного с рудными телами в черных сланцах месторождения и одного с ними возраста, то есть образованные в результате одного рудообразующего процесса, всегда обрамлены околорудными метасоматическими ореолами полного профиля с березитом в тыловой зоне. Следовательно, дефицит березитов в рудовмещающих черных сланцах обусловлен специфическим достоверно пока не установленным влиянием черносланцевой среды на взаимодействие растворов с породами, но не принципиальными различиями в геолого-генетической сущности процессов образования рудных тел и околорудных метасоматитов в кристаллических породах и черносланцевых толщах. Этот факт следует иметь в виду, поскольку дефицит или отсутствие березитов в рудовмещающих толщах черных сланцев используется сторонниками метаморфогенно-гидротермальной и полигенной концепций [4–6 и др.] как основание для противопоставления по геолого-генетическим показателям месторождений золота, образованных в том и другом субстрате.

Давно доказано, что региональный метаморфизм гидратации на так называемом регрессивном этапе представляет метасоматический процесс, реализуемый в одних термодинамических режимах с березит-пропилитовым метасоматическим процессом. При этом Петрографическим кодексом предписано термином «метаморфизм» обозначать только изохимический эндогенный процесс преобразования горных пород, производным которого не свойственна локальная метасоматическая зональность – неперемнная черта околорудных метасоматических ореолов. Сторонники метаморфогенно-гидротермальной концепции образования золоторудных месторождений в черных сланцах предпочитают идентифицировать минеральные зоны апочерносланцевых рудовмещающих метасоматических ореолов березит-пропилитового профиля с хлорит-биотитовой, хлорит-альбитовой, альбит-серицитовой и другими «субфациями регрессивного регионального метаморфизма» [7], что не корректно и вносит путаницу – одни и те же минеральные новообразования обозначаются разными терминами. Предпочтительное использование словосочетания «минеральная зона околорудного метасоматического ореола» определяется метасоматическим происхождением околорудно измененных черных сланцев.

Обогащение элементами феофильной ассоциации (P, Ti, Mg, Fe, Ca, Mn, K) тыловых минералого-петрохимических зон околорудных (рудовмещающих) метасоматических ореолов, образованных в кристаллическом субстрате и толщах черных сланцев, в обрамлении рудоконтролирующих глубинных разломов до уровней аномалий высокой контрастности (таблица) в сочетании со снижением по мере удаления от рудоконтролирующих глубинных разломов синхронно с промышленными параметрами руд аномальных концентраций титана (рисунок) и фосфора до кларковых уровней – факты, имеющие многоплановое теоретическое и прикладное значение.



**Рисунок.** Изменение коэффициента концентрации титана (КК) в золотоносных апогейсовых (I), апофельзитовых (III) березитах и апокальцифированных листоватых (II) тыловых зон околорудных метасоматических ореолов Иркиндинского рудного поля на разных расстояниях (L) от глубинного разлома. Цифры около фигуративных точек – число проб

В теоретическом плане они доказывают:

- прямую по глубинным разломам связь верхнекорковых блоков рудообразования с мантией;
- генерацию металлоносных растворов в мантийных очагах базальтовых расплавов;
- подвижность (миграционную способность) считающихся инертными при всех условиях [2] титана и фосфора – геохимических и металлогенических «близнецов» на путях подъема растворов и переход их в инертное состояние на уровнях рудоотложения;
- раствороподводящую функцию глубинных разломов, определяющую их рудоконтролирующую роль;

**Таблица.** Баланс (вынос-, привнос, в процентах) петрогенных элементов в зональных околорудных метасоматических ореолах мезотермальных золотых месторождений южной Сибири

Минеральная зона, подзона	Химические элементы													Δ
	Si	Al	K	Na	S <sup>*</sup>	C <sub>o</sub>	Ca	Mg	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Ti	P	Mn	
1. Месторождение Ирокинда														
1.1. Гранит мигматитовой выплавки, AR (3)														
Ву (5)	0	0	-10	-10	+	20	20	0	0	10	10	50	-60	1,2
Ви (6)	0	0	-10	0	+	220	70	30	30	70	20	110	0	3,1
Х (9)	-10	10	-40	40	0	500	70	60	0	60	-10	210	-50	6,9
А (8)	0	0	-20	-10	+	<b>870</b>	<b>10</b>	<b>60</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>70</b>	<b>250</b>	<b>10</b>	4,5
Вн (7)	-10	10	20	-90	+	<b>2400</b>	<b>200</b>	<b>220</b>	<b>100</b>	<b>230</b>	<b>250</b>	<b>650</b>	<b>30</b>	18,8
1.2. Фельзитовый микрогранит-порфир, PZ <sub>3</sub> (2)														
Х (4)	-10	10	10	0	-60	140	120	180	170	60	280	190	210	12,6
А (6)	-30	10	70	-50	<b>20</b>	<b>300</b>	<b>240</b>	<b>330</b>	<b>330</b>	<b>80</b>	<b>500</b>	<b>310</b>	<b>330</b>	27,0
Вн (6)	-30	20	160	-90	<b>1900</b>	<b>390</b>	<b>350</b>	<b>390</b>	<b>210</b>	<b>450</b>	<b>520</b>	<b>230</b>	<b>360</b>	36,8
2. Кедровское месторождение														
2.1. Альмандин-двуслюдяной плагиогнейс, PZ <sub>3</sub> (1)														
Ву (1)	-2	2,8	66	-55	-49	-48	-14	10	44	37	-12	143	-27	7,0
Х (1)	-4	8,4	14	-21	160	-27	36	-48	22	35	10	68	-35	6,0
Вн (1)	-48	-46	27	-96	<b>2140</b>	<b>1330</b>	<b>716</b>	<b>439</b>	<b>65</b>	<b>61</b>	<b>98</b>	<b>653</b>	<b>42</b>	45,0
2.2. Кварцевый диорит, гранодиорит, PZ <sub>3</sub> (6)														
Х (16)	0	0	0	0	1010	940	0	0	0	-10	0	0	10	4,0
А (6)	-10	-10	20	-10	<b>3170</b>	<b>2070</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>-30</b>	<b>90</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	12,0
Вн (1)	-50	-20	40	-80	<b>4270</b>	<b>4700</b>	<b>220</b>	<b>240</b>	<b>170</b>	<b>320</b>	<b>170</b>	<b>160</b>	<b>240</b>	41,0
Углеродистые полевошпат-кварцевые сланцы кедровской свиты, R <sub>3</sub>														
2.3. Метаалевропесчаник (1)														
А (1)	-17	4,9	248	-34	+	<b>1905</b>	<b>33</b>	<b>1053</b>	<b>282</b>	<b>340</b>	<b>82</b>	<b>300</b>	<b>374</b>	18,0
Вн (1)	-39	8,8	445	-93	+	<b>6913</b>	<b>880</b>	<b>1781</b>	<b>447</b>	<b>125</b>	<b>73</b>	<b>672</b>	<b>347</b>	43,0
3. Месторождение Чертово Корыто														
Углеродистые полевошпат-кварцевые сланцы михайловской свиты, PR <sub>1</sub>														
3.1. Крупнозернистый метаалевролит (5)														
У (2)	0	0	0	-10	-30	-10	50	20	0	30	10	0	0	2,9
Х (8)	-20	-30	-30	-70	<b>120</b>	<b>1400</b>	<b>1180</b>	<b>100</b>	<b>70</b>	<b>10</b>	<b>540</b>	<b>840</b>	<b>560</b>	29,7
Вн (1)	-40	-30	-10	-90	0	<b>2800</b>	<b>1920</b>	<b>170</b>	<b>30</b>	-90	<b>570</b>	<b>900</b>	<b>2110</b>	43,4
3.2. Мелкозернистый метапесчаник (5)														
У (1)	0	0	-30	80	180	40	30	10	0	-20	30	-30	100	3,5
У (3)	0	10	-20	10	130	100	80	120	30	70	20	0	150	6,5
Х (6)	-40	0	-20	-70	<b>430</b>	<b>1910</b>	<b>1400</b>	<b>330</b>	<b>160</b>	<b>30</b>	<b>820</b>	<b>890</b>	<b>1750</b>	34,9
Вн (1)	-30	-10	-10	-90	<b>10</b>	<b>1980</b>	<b>1260</b>	<b>260</b>	<b>110</b>	<b>180</b>	<b>790</b>	<b>870</b>	<b>3620</b>	32,5
3.3. Разнозернистый метапесчаник (1)														
У (1)	0	0	70	-70	1130	10	-40	110	60	90	30	-50	0	7,94
Х (4)	-30	-10	0	-85	<b>1640</b>	<b>1370</b>	<b>510</b>	<b>420</b>	<b>240</b>	<b>80</b>	<b>840</b>	<b>450</b>	<b>600</b>	31,4
Вн (1)	-50	-30	-10	-90	<b>6570</b>	<b>3180</b>	<b>1300</b>	<b>690</b>	<b>250</b>	<b>490</b>	<b>490</b>	<b>640</b>	<b>4600</b>	55,6

Примечание: 1) Минеральные зоны и подзоны околорудных метасоматических ореолов: Ву, Ви – подзоны умеренного и интенсивного изменения фронтальной зоны, У, Х, А, Вн – соответственно углеродистая, хлоритовая, альбитовая, тыловая зоны. 2) S<sup>\*</sup> – сера сульфидная, C<sub>o</sub> – углерод окисленный (карбонатный), «+» – привнос S при содержании ее в исходной породе ниже предела чувствительности анализа. 3) В скобках – число проб, участвующих в расчете средних. 4) Δ – удельная масса перемещенного (привнесенного и вынесенного) вещества в процентах к массе вещества исходных пород в стандартном геометрическом объеме 10000 Å<sup>3</sup>. 5) Полные химические силикатные анализы горных пород выполнены в Центральной лаборатории ПГО «Запсибгеология» и в Западно-Сибирском испытательном центре (г. Новокузнецк) под руководством И.А. Дубровской и Г.Н. Юминовой.

• геолого-вещественно-генетическую однородность месторождений золота, образованных в кристаллическом и черносланцевом субстрате. В прикладном плане в качестве петрохимического критерия контрастные аномалии фемофиль-

ных элементов обеспечивают положительный прогноз, возможность выделять из множества разломов раствороподводящие (и рудоконтролирующие), тем самым, в сочетании с другими критериями, локализовать площади для поисков.

### Геохимический критерий

Распределение рудогенных элементов в околорудном пространстве золоторудных месторождений обеих совокупностей подчиняется околорудной метасоматической зональности [1]. Это выражается в следующем.

Во всех трех подзонах – слабого, умеренного, интенсивного изменения фронтальной минералого-петрохимической зоны околорудных метасоматических ореолов – содержание золота, серебра, геохимического и металлогенического спутника золота ртути [8–10], дисперсия распределения металлов в ультраметаморфических, магматических породах, углеродистых сланцах минимальны, и содержания их близки к кларковым значениям для соответствующих видов исходных пород, не затронутых гидротермальными изменениями этапа рудообразования. Усиление метасоматических преобразований пород внутри фронтальной зоны от подзоны слабого к подзоне интенсивного изменения не сопровождается возрастанием параметров распределения металлов, как и большинства петрогенных компонентов.

Содержания и дисперсия распределения металлов эпизодически и в основном незначительно возрастают в хлоритовой минералого-петрохимической зоне, увеличиваются в альбитовой и достигают максимальных значений в тыловой березитовой минералого-петрохимических зонах, то есть в направлении, обратном направлению околоразломной (околотрецинной) концентрационной диффузии, реконструированному балансовыми расчетами распределения петрогенных и рудогенных компонентов [3]. Согласно расчетам, масса диффундирующих соединений металлов, как и петрогенных компонентов, поступивших с металлоносными растворами в выполненные впоследствии рудами разломы, в ходе диффузии в соответствии с градиентами концентраций по мере удаления от трещинных растворов в поровые растворы вмещающих пород снижается от одной минералого-петрохимической зоны к другой, во фронтальной зоне – до нуля.

На примере позднерифейской мухтуной свиты черных сланцев, образованной в Ирокиндинском прогибе западного обрамления Муйского выступа архейского фундамента, можно видеть, что в толще, не содержащей промышленного оруденения, в зональном метасоматическом ореоле пропилит-березитового профиля содержание металлов и дисперсия их распределения в тыловых зонах находятся на субкларковых уровнях.

Таким образом, распределение металлов в околорудном (междрудном) пространстве во всех средах, независимо от состава и происхождения вмещающих руды пород, прямо коррелирует с интенсивностью метасоматических преобразований субстрата.

Содержания золота и серебра в тыловых зонах околорудных метасоматических ореолов соотносятся с золотоносностью рудных тел – кварцевых жил, минерализованных зон. В кварцево-жиль-

ном Ирокиндинском месторождении, например, березиты и березитоиды (березиты с альбитом) в обрамлении рудных столбов с золотоносностью на уровнях многих десятков г/т содержат металлы до десятков...сотен мг/т. Как правило, возрастают также содержания ртути (и других металлов). В обрамлении рудных тел с рядовыми содержаниями золота (граммы...многие граммы в тонне руды) золотоносность метасоматитов обычно не превышает многих мг/т, содержания серебра – многих десятков мг/т.

Корреляционные связи золота и серебра эпизодически фиксируются во всем объеме околорудных метасоматических ореолов и, как правило, усиливаются в тыловых зонах, корреляционные связи золота и ртути менее систематичны.

Значения Au/Ag- и Au/Hg-отношений в пропилитовых периферийных зонах околорудных метасоматических ореолов с менее выраженными сравнительно с тыловыми зонами метасоматическими преобразованиями пород отвечают различающимся на порядок содержаниями золота, с одной стороны, и серебра, ртути, с другой. Обычное, за редкими исключениями, приближение этих отношений в метасоматитах тыловых зон к значениям, свойственным рудным телам (0,5...1,5), означает поступление золота с металлоносными растворами в опережающих количествах сравнительно с другими металлами.

Аналитическими данными, полученными посредством использования принятых методов петролого-геохимических исследований, доказываются аутентичное приведенному распределение рудогенных элементов в околорудном пространстве месторождений Ленского района – Чертово Корято, Вернинском, Сухой Лог [11–14].

Геохимические данные также, наряду с другими, подтверждают геолого-вещественно-генетическую однородность месторождений, образованных в кристаллическом и черносланцевом субстрате. Геохимические аспекты однородности выражаются в следующем.

- Во всех средах околорудные геохимические ореолы занимают меньшие объемы сравнительно с околорудными метасоматическими.
- За пределами околорудных метасоматических ореолов и во фронтальной их зоне содержания золота и других металлов в кристаллических породах и регионально метаморфизованных в режиме нагревания с образованием мусковит-биотитового парагенезиса черных сланцев отражают региональные кларки для соответствующих петро- и литотипов пород или близки к ним.
- Повышенные в хлоритовой и высокие в тыловых альбитовой и березитовой минералого-петрохимических зонах околорудных метасоматических ореолов содержания металлов и другие параметры их распределения формировались в процессе рудообразования, то есть представляют следствие рудообразования.

- Во всех изученных месторождениях не обнаружено признаков «ступенчатого» накопления золота и других металлов. В каждом месторождении околорудный метасоматический, геохимический ореолы и руды образованы в результате одного, единого для всех производных рудообразующего процесса. Вероятно, количество золота, сосредоточенного в рудах каждого месторождения, определяется золотопродуцирующей способностью источника металлоносных растворов, условиями их подъема и концентрации металла в верхнекорковых блоках рудообразования.

Большинство изученных месторождений рядовые и крупные. В предлагаемом варианте геохимический критерий опирается на следующий из приведенных материалов противоположный популярным до сих пор представлениям о местных породных источниках золота [15–21 и др.] вывод, согласно которому промышленные месторождения золота образуются в любом, в том числе и, вероятно, в большинстве случаев, не специализированном до начала рудообразования субстрате, то есть с кларковыми (субкларковыми) содержаниями золота. Негативное заключение о перспективах анализируемой площади при отсутствии обогащенных до рудообразования золотом пород и без учета всего комплекса критериев было бы ошибочным.

#### Заключение

Эмпирическую основу прогнозно-поисковых критериев составляют факты, раскрывающие условия залегания золоторудных месторождений в золоторудных районах – пространственно-временные и причинно-следственные соотношения производных рудообразующих процессов – околорудных метасоматических, геохимических ореолов и руд с магматическими и метаморфическими комплексами, характеризующие минералого-химический состав, структуру и происхождение горных пород, минералого-петрохимическую зональность и формационную принадлежность околорудных метасоматических ореолов и распределение рудогенных элементов в околорудном пространстве месторождений. Большинство фактов поддается интерпретации с формулировкой выводов без вариантов, поэтому в полученные результаты не требуется вносить поправки и допуски, неизбежные в теоретических построениях и экспериментах и спо-

собные принципиально изменить выводы. Это, однако, не исключает корректировку и уточнение критериев по мере накопления новых данных.

Разработка эксклюзивной методологии петролого-геохимических исследований и использование следующих из нее методов обеспечило реконструкцию геологической истории петрогенных и рудогенных элементов во вмещающем месторождения разнообразном по составу, происхождению субстрате, диагностику кларковых (субкларковых) приобретенных горными породами при их образовании содержаний химических элементов и синрудного обогащения горных пород золотом и другими металлами.

Сравнительный анализ, сопутствующий интерпретации результатов, показал совершенную геолого-вещественно-генетическую однородность месторождений, образованных в кристаллических магматических, ультраметаморфических породах и толщах черных сланцев, тем самым продемонстрировал ошибочность противопоставления по условиям образования месторождений той и другой совокупности.

Все добытые факты, приведенные в [22, 23] и в данной статье, взаимно дополняя друг друга, образуют согласованный ансамбль, удовлетворительно описываются базальтогенной концепцией рудообразования в составе антидромных гранит-диорит-долеритовых флюидно-магматических комплексов. Концепция, как адекватная реальным рудообразующим процессам, составляет теоретическую и эмпирическую основу совокупности прогнозно-поисковых критериев мезотермального золотого оруднения, в равной степени приложимых к золоторудным районам южного горно-складчатого обрамления Сибирского кратона, сложенным кристаллическим субстратом и толщами черных сланцев. Два критерия – петрологический (магматический) и петрохимический – разработаны и предлагаются впервые.

Использование критериев комплекса отдельно и в совокупности возможно при выполнении геологических работ любых масштабов и назначения – ГДП-200, ГДП-50, при поисках, оценке, разведке месторождений золота.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию. ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы». Гос. контракт № П238 от 23.04.2010 г.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучеренко И.В. Петролого-геохимические свидетельства геолого-генетической однородности гидротермальных месторождений золота, образованных в черносланцевом и несланцевом субстрате // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 25–35.
2. Коржинский Д.С. Теория метасоматической зональности. – М.: Наука, 1982. – 104 с.
3. Кучеренко И.В. Гидродинамика трещинно-поровых породно-флюидных взаимодействий и механизм массопереноса в процессах околотрещинного гидротермального метасоматизма // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 11. – С. 37–43.
4. Гаврилов А.М., Кряжев С.Г. Минералого-геохимические особенности руд месторождения Сухой Лог // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 8. – С. 3–16.
5. Околорудный метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе / В.Л. Русинов, О.В. Русинова, С.Г. Кряжев, Ю.В. Щегольков, Э.И. Алышева, С.Е. Борисовский // Геология рудных месторождений. – 2008. – Т. 50. – № 1. – С. 3–46.
6. Кряжев С.Г., Устинов В.И., Гриненко В.А. Особенности флюидного режима формирования золоторудного месторождения Сухой Лог по изотопно-геохимическим данным // Геохимия. – 2009. – № 10. – С. 1108–1117.
7. Соотношение процессов метаморфизма и рудообразования на золотом черносланцевом месторождении Сухой Лог по данным U-Th-Pb-изотопного SHRIMP-датирования акцессорных минералов / М.А. Юдовская, В.В. Дистлер, Н.В. Родионов, А.В. Мохов, А.В. Антонов, С.А. Сергеев // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53. – № 1. – С. 32–64.
8. Озерова Н.А. Ртуть и эндогенное рудообразование. – М.: Наука, 1986. – 155 с.
9. Степанов В.А., Моисеенко В.Г. Геология золота, серебра и ртути. – Владивосток: Дальнаука, 1993. – 228 с.
10. Уникальная ассоциация природной амальгамы золота, киневари, самородных металлов и карбидов Фадеевского рудно-россыпного узла, Приморье / В.П. Молчанов, А.И. Ханчук, Е.И. Медведев, Л.П. Плюснина // Доклады РАН. – 2008. – Т. 422. – № 4. – С. 536–538.
11. Петролого-геохимические черты рудовмещающего метасоматического ореола золоторудного месторождения Чертово Корято (Патомское нагорье) / И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов, В.Г. Мартыненко, А.В. Верхозин // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 1. – С. 11–20.
12. Геохимическая зональность рудовмещающего ореола мезотермального золоторудного месторождения Чертово Корято (Патомское нагорье) / Р.Ю. Гаврилов, И.В. Кучеренко, В.Г. Мартыненко, А.В. Верхозин // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 1. – С. 42–47.
13. Петролого-геохимические черты околорудного метасоматизма в Вернинском золоторудном месторождении (Ленский район) / И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов, В.Г. Мартыненко, А.В. Верхозин // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 22–33.
14. Петролого-геохимические черты околорудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 3. Геохимия золота и серебра / И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов, В.Г. Мартыненко, А.В. Верхозин // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 33–40.
15. Goldberg I.S. The formation of ores as self-organizational process of redistribution of metals // The 31-st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Aug. 6–17, 2000: Congress Program. – Rio de Janeiro: Geol. Surv. Brasil, 2000. – P. 3771.
16. Metallogeny of gold deposits of China / Shao Jun, Hui De-feng, Kong Xiang-min, Shou Nai-wy // Geology and Resources. – 2004. – V. 13. – № 4. – P. 246–250.
17. Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. Геолого-генетическая модель формирования стратифицированных золото-кварцевых месторождений Южного Верхоянья // Отечественная геология. – 2006. – № 5. – С. 33–37.
18. Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena gold province, Russia / R.R. Large, V.V. Maslennicov, Robert Francois, L.V. Danyushevsky, Chang Zhaoshan // Economic Geology. – 2007. – V. 102. – № 7. – P. 1233–1267.
19. Meffre S., Large R.R., Scott R. et al. Age and pyrite Pb-isotopic composition of the giant Sukhoi Log sediment-hosted gold deposit, Russia // Geochem. et Cosmochem. Acta. – 2008. – V. 72. – P. 2377–2391.
20. Галямов А.Л. Золотоносные осадочные комплексы складчатого обрамления Сибирской платформы // Руды и металлы. – 2010. – № 1. – С. 28–37.
21. Биогенно-седиментационные факторы рудообразования в неопротерозойских толщах Байкало-Патомского региона / В.К. Немеров, А.М. Станевич, Э.А. Развозжаева, А.Е. Будяк, Т.А. Корнилова // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51. – № 5. – С. 729–747.
22. Кучеренко И.В. Прогнозно-поисковый комплекс для мезотермальных месторождений золота. Ч. 1. Тектонический и геодинамический критерии // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 1. – С. 19–27.
23. Кучеренко И.В. Прогнозно-поисковый комплекс для мезотермальных месторождений золота. Ч. 2. Петрологический критерий // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 1. – С. 114–122.

Поступила 22.10.2012 г.

UDC 553.411.04/071(571.5)

## PROGNOSIS-SEARCH COMPLEX FOR MESOTHERMAL GOLD DEPOSITS. P. 3. PETROCHEMICAL AND GEOCHEMICAL CRITERIA

Igor V. Kucherenko,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University, Russia, 634050, Tomsk, Lenin Avenue,  
30. E-mail: Kucherenko.o@sibmail.com

**The relevance** of the work is defined by the necessity to develop after hundred-year investigations hydrothermal gold deposits formation theory instead of the four competing ones – granitogene, basaltogene, metamorphogene, polygene retaining in ore geology.

**The aim of the study:** petrologic-geochemical in comparative aspect investigation of the ore-containing metasomatic haloes in gold deposits formed in crystal substratum and black shale series to prove their material-genetic uniformity or differences in the conditions for forming deposits of both totality; the development on the basis of the obtain results of petrochemical criterion and definition of geochemical prognosis – research criterion for territory gold appraisal.

**The methods used in the study** is the field investigation of the ore-containing metasomatic haloes and testing rocks, determination of metasomatic minerals, total chemic silicate and atom-absorption on gold, silver, mercury and other elements analysis of rock samples, petrochemical counts on atom-volumetrical method of rocks chemic analysis, balance calculation for quantitative appraisal of migration and fixation of petrogenic components in metasomatic and ore-forming processes, calculations of statistic distribution parameters of metals in metasomatic haloes and rocks containing haloes to reconstruct geologic history of ore-genous elements.

**The results:** the author proves the material-genetic uniformity of the mineralization formed into both media and appurtenance of ore metasomatic haloes to combination of metasomatic formation – beresitic ones in the rear zones and propylitic ones in the outlying zones. Formation of the contrasting anomalies of femic elements association in K, Ti, P, Mg, Fe, Ca, Mn composition in rear zones of haloes in framing of abyssal fractures at Ti and P content decrease as moving off fractures down to clark levels due to alkaline regime solutions inversion into acidiferous one and change of elements in inert state clears the possibilities to use femic specialization of auriferous beresites phenomenon in order to prove generation of metalliferous solutions in moderate-alkaline basaltic melts. As the petrochemical prognosis-search criteria these phenomena assure positive prognosis, determination of solution-bringing function of fractures, controlling accommodation of deposits, and localization of sections for searching mineralization including those non revealed by daily surface. As the result of geologic history of metals reconstruction in near-ore space their subclark contents were defined, in particular, gold at the level of 0,5...3,0 mg/t in different crystalline rocks and black shale on and out of remote periphery of near-ore metasomatic haloes; distribution parameters of heightened and anomalous metal concentrations correlate directly with the intensity of near-ore metasomatic transformations of rocks. Positive prognosis on the basis of totality of petrochemical, geochemical and other tectonic, geodynamic, petrologic criteria of prognosis-search complex offered by the author earlier in contrast to the existing popular ideas does not depend on the level (clark, superclark) of pre-ore gold content of black shales.

### Key words:

Mesothermal gold deposits, prognosis-search complex, crystal substratum, black shales, petrochemic, geochemic criterions.

### REFERENCES

1. Kucherenko I.V. Petrologo-geokhimicheskie svidetelstva geologo-geneticheskoy odnorodnosti gidrotermalnykh mestorozhdeniy zolota, obrazovannykh v chernoslantsevom i neslantsevom substratum [Petrologic-geochemic evidences of the geologic-genetic uniformity of the hydrothermal gold deposits formed in black shales and non shales substratum]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2007, vol. 311, no. 1, pp. 25–35.
2. Korzhinskiy D.S. *Teoriya metasomaticheskoy zonalnosti* [The theory of metasomatic zoning]. Moscow, Nauka, 1982. 104 p.
3. Kucherenko I.V. Gidrodinamika treshchinno-porovykh porodno-flyuidnykh vzaimodeystviy i mekhanizm massopere-nosa v protsessakh okolo-treshchin-nogo gidrotermalnogo metasomatizma [Hydrodynamics of the fissure-pores rock-fluid interactions and mechanism of mass transfer in processes of fissure hydrothermal metasomatism]. *Razvedka i ohrana nedr – Prospecting and Protection of entrails*, 2010, no. 11, pp. 37–43.
4. Gavrilo A.M., Kryazhev S.G. Mineralogo-geokhimicheskie osobennosti rud mestorozhdeniya Suhoy Log [Mineral-geochemic features of the Sukhoy Log deposit ores]. *Razvedka i ohrana nedr – Prospecting and Protection of entrails*, 2008, no. 8, pp. 3–16.
5. Rusinov V.L., Rusinova O.V., Kryazhev S.G., Shchegolkov Yu.V., Alysheva E.I., Borisovskiy S.E. Okolorudny metasomatizm terrigenykh uglerodistykh porod v Lenskom zolotorudnom rayone [The near-ore metasomatism of the terrigenous carboniferous rocks in Lenskiy gold-ore region]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy – Geology of the ore deposits*, 2008, vol. 50, no. 1, pp. 3–46.
6. Kryazhev S.G., Ustinov V.I., Grinenko V.A. Osobennosti flyuidnogo rezhima formirovaniya zolotorudnogo mestorozhdeniya Suhoy Log po izotopno-geokhimicheskim dannym [The features of the fluid regime of Sukhoy Log gold deposit formation on the isotop-geochemic data]. *Geohimiya – Geochemistry*, 2009, no. 10, pp. 1108–1117.
7. Yudovskaya M.A., Distler V.V., Rodionov N.V., Mokhov A.V., Antonov A.V., Sergeev S.A. Sootnoshenie protsessov metamorfizma i rudoobrazovaniya na zolotom chernoslantsevom mestorozhdenii Suhoy Log po dannym U-Th-Pb-izotopnogo SHRIMP-datirovaniya aktsessornykh mineralov [The ratio of the metamorphism and ore-formation in processes Sukhoy Log gold black-shale deposit on data of the accessory minerals U-Th-Pb-isotopic SHRIMP-date]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy – Geology of the ore deposits*, 2011, vol. 53, no. 1, pp. 32–64.
8. Ozerova N.A. *Rtut i endogennoe rudoobrazovanie* [Mercury and endogenous ore-formation]. Moscow, Nauka, 1986. 155 p.
9. Stepanov V.A., Moiseenko V.G. *Geologiya zolota, serebra i rtuti* [Geology of gold, silver and mercury]. Vladivostok, Dalnauka, 1993. 228 p.
10. Molchanov V.P., Hanchuk A.I., Medvedev E.I., Plyusnina L.P. Unikalnaya assotsiatsiya prirodnoy amalgamy zolota, kinovari, samородnykh metallov i karbidov Fadeevskogo rudno-rossypnogo uzla, Primore [Unique association of the natural amalgam of gold, cinnabarite, virgin metals and carbides of Fadeevskiy ore-placer knot, Primorye]. *Doklady RAN*, 2008, vol. 422, no. 4, pp. 536–538.

11. Kucherenko I.V., Gavrilov R.Yu., Martynenko V.G., Verkhozin A.V. Petrologo-geokhimicheskie cherty rudovmeshchayushchego metasomaticheskogo oreola zolotorudnogo mestorozhdeniya Chertovo Koryto (Patomskoe nagore) [Petrologic-geochemic traits of the ore-containing metasomatic haloe of Chortovo Koryto gold-ore deposit (Patomskoye upland)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2008, vol. 312, no. 1, pp. 11–20.
12. Gavrilov R.Yu., Kucherenko I.V., Martynenko V.G., Verkhozin A.V. Geokhimicheskaya zonalnost rudovmeshchayushchego oreola mezotermalnogo zolotorudnogo mestorozhdeniya Chertovo Koryto (Patomskoe nagore) [Geochemic zoning of the ore-containing haloe of the mesothermal gold-ore Chortovo Koryto deposit (Patomskoye upland)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 319, no. 1, pp. 42–47.
13. Kucherenko I.V., Gavrilov R.Yu., Martynenko V.G., Verkhozin A.V. Petrologo-geokhimicheskie cherty okolorudnogo metasomatizma v Verninskom zolotorudnom mestorozhdenii (Lenskiy rayon) [Petrologic-geochemic traits of the near-ore metasomatism in Verninskoye gold-ore deposit (Lenskiy region)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 321, no. 1, pp. 22–33.
14. Kucherenko I.V., Gavrilov R.Yu., Martynenko V.G., Verkhozin A.V. Petrologo-geokhimicheskie cherty okolorudnogo metasomatizma v zolotorudnom mestorozhdenii Sukhoy Log (Lenskiy rayon). Ch. 3. Geokhimiya zolota i srebra [Petrologic-geochemic traits of the near-ore metasomatism in Sukhoy Log gold-ore deposit (Lenskiy region). P. 3. Gold and silver geochemistry]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 321, no. 1, pp. 33–40.
15. Goldberg I.S. The formation of ores as self-organizational process of redistribution of metals. *Proc. of 31<sup>st</sup> International Geological Congress, Rio de Janeiro*, Aug. 6–17, 2000. Congress Program. Rio de Janeiro, Geol. Surv. Brasil, 2000, p. 3771.
16. Shao Jun, Hui De-feng, Kong Xiang-min, Shou Nai-wy. Metallogeny of gold deposits of China. *Geology and Resources*, 2004, vol. 13, no. 4, pp. 246–250.
17. Fridovskiy V.Yu., Gamyarin G.N., Goryachev N.A. Geologo-geneticheskaya model formirovaniya stratifitsirovannykh zolotokvartsevykh mestorozhdeniy Yuzhnogo Verkhoyanya [Geologic-genetic model of the formation of the stratified gold-quartz deposits, South Verkhoyania]. *Otechestvennaya geologiya – Native geology*, 2006, no. 5, pp. 33–37.
18. Large R.R., Maslennicov V.V., Robert Francois, Danyushevsky L.V., Chang Zhaoshan. Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena gold-bearing province, Russia. *Economic Geology*, 2007, vol. 102, no. 7, pp. 1233–1267.
19. Meffre S., Large R.R., Scott R. Age and pyrite Pb-isotopic composition of the giant Sukhoi Log sediment – hosted gold deposit, Russia. *Geochem. et Cosmochem. Acta*, 2008, vol. 72, pp. 2377–2391.
20. Galyamov A.L. Zolotonosnye osadochnye komplekсы skladchatogo obramleniya Sibirskoy platformy [Gold-bearing sedimentary complexes of the folded framing of the Siberian craton]. *Rudy i metally – Ore and metals*, 2010, no. 1, pp. 28–37.
21. Nemerov V.K., Stanevich A.M. Razvozhayeva E.A., Budyak A.E., Kornilova T.A. Biogenno-sedimentatsionnye faktory rudoobrazovaniya v neoproterozoysskikh tolshchakh Baykalo-Patomskogo regiona [Biogenic-sedimentary factors ore-formation in Neo-Proterozoic thicknesses of Baykal-Patomskoye region]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 2010, vol. 51, no. 5, pp. 729–747.
22. Kucherenko I.V. Prognozno-poiskovy kompleks dlya mezotermalnykh mestorozhdeniy zolota. Ch. 1. Tektonicheskiy i geodinamicheskiy kriterii [Prognosis-search complex for the mesothermal gold deposits. P. 1. Tectonic and geodynamic criteries]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 322, no. 1, pp. 19–27.
23. Kucherenko I.V. Prognozno-poiskovy kompleks dlya mezotermalnykh mestorozhdeniy zolota. Ch. 2. Petrologicheskiy kriteriy [Prognosis-search complex for the mesothermal gold deposits. P. 2. Petrologic criterion]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 1, pp. 114–122.