

А. М. Косарев, В. В. Холоднов<sup>1</sup>, К. Р. Мунбаева

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕДИ И ЦИНКА В ВУЛКАНИЧЕСКИХ И МАНТИЙНЫХ ПОРОДАХ И ПРОБЛЕМА ИСТОЧНИКОВ ВЕЩЕСТВА В КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЮЖНОГО УРАЛА

По типу распределения металлов между силикатной, оксидной и сульфидной фазами, по данным А.А. Маракушева, медь входит в группу сульфурофильных металлов, а Zn занимает промежуточную позицию в группе индифферентных металлов.

*Особенности распределения Cu и Zn в мантийных породах.* Анализ распределения Cu и Zn среди мантийных пород показывает возможность частичного разделения этих металлов в ходе мантийного петрогенеза. Среди мантийных пород, выведенных геологическими процессами на современную поверхность Земли, по характеру распределения Cu и Zn намечается несколько групп, охарактеризованных в публикациях (таблица).

В I группе пород ультрабазитового состава, включающей лерцолиты, гарцбургиты, дуниты, по уменьшающимся концентрациям (в этом ряду) CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Li, Sr, Rb, Cs, Cu, Zn, V и по возрастающим содержаниям MgO, Cr, Ni фиксируется тренд деплетирования ультрабазитов, слагающих верхнюю мантию [Магматические..., 1988].

II группа пород, включающая пироксениты, гранатовые пироксениты, горнблендиты, и базиты с амфиболом и гранатом, содержит мантийные магматические породы и разновидности, подверженные высокобарическому метаморфизму [Пушкарев и др., 2010]. В этих породах обнаруживается накопление Cu относительно Zn. Некоторые типы пород, к примеру горнблендиты, генетически связываются с формированием поднимающегося мантийного диапира [Магматические..., 1988]. Подобные породы известны в составе магматических комплексов платиноносного пояса Урала [Пушкарев, 2000]. Структурная зона с медной специализацией колчеданных месторождений (Cu > Zn) соответствует фронтальной островной дуге Магнитогорской мегазоны [Spadea et al., 2002; Косарев и др., 2005; Косарев, 2010].

В III группу пород с низкими содержаниями Cu и повышенными Zn входят метаморфические и магматические мантийные породы, продуцируемые процессами субдукции. Главные из них — эклогиты, глаукофановые сланцы, хромиты вкрапленные, залегающие в пироксенитах, и хромиты, вкрапленные в дунитах и гарцбургитах. Металлогеническая

зона, соответствующая площади развития надсубдукционного *kr* комплекса, содержащая колчеданные месторождения с Zn > Cu спецификой, возникла в промежуточной от фронтальной к тыловой зоне и в тыловой островодужной зоне. Для этих зон по модели, разработанной для Курило-Камчатской островодужной системы [Авдейко и др., 2006], можно предполагать нижний уровень дегидратации водосодержащих минералов, в ассоциацию которых входят тремолит, хлорит, серпентин, тальк, форстерит. В этой же зоне могла происходить экстракция рудного вещества Zn > Cu из эклогитов и пироксенитов с хромитовой минерализацией. Таким образом, можно предположить, что «цинковая» специфика определялась не только соотношениями объемов «базальты — риолиты» в рудовмещающей вулканогенной формации, но и составом и геохимической специализацией мантийных пород. Следует также отметить, что базальты карамальгашского комплекса Сибайского рудного района относятся к типу низкохромистых базальтов островодужной толеитовой серии. Именно такой тип базальтов в некоторых фрагментах островных дуг Казахстана ассоциируется с хромитовым оруденением в рестит-кумулятивных ультрамафитах этого района [Степанец, Креммер, 2003].

*Характер распределения Cu и Zn в вулканитах колчеданосных формаций.* Масштаб и тип оруденения колчеданной формации на Южном Урале определяется геодинамической позицией металлогенических зон и рудных полей. Наибольшую продуктивность на колчеданное оруденение с преобладанием меди над цинком (Cu > Zn) в рудах обнаруживает фронтальная островная дуга позднемесско-раннеэйфельского возраста, сложенная *бурибайским* и *южно-ирендыкским* вулканическими комплексами.

На самом нижнем стратиграфическом уровне в пределах Вознесенско-Присакмарской зоны в основании разреза вулканогенно-олистоостровового *ивановского* комплекса расположены залежи мелких Со-медноколчеданных Ивановского, Дергамышского, Ишкинского месторождений. *Ивановский комплекс*, по геологическим и петролого-геохимическим данным, является возрастным аналогом *бурибайского вулканического комплекса* (D<sub>1e2</sub>)

<sup>1</sup> Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН, г. Екатеринбург.

Содержание меди и цинка в мантийных породах  
и в вулканитах колчеданосных формаций

Типы пород и геологическое положение	Концентрации Cu и Zn, их соотношения	Название породы	Интервал содержаний в г/т и средние арифм. ( $x_n$ )		Литературный источник, автор коллекции
			Cu	Zn	
1	2	3	4	5	6
I. Ультрабазиты	Низкие Cu и Zn	Лерцолиты	11–74	22–55	Сначев В.И., Савельев Д.Е., Ковалев С.Г., Салихов Д.Н.
		Гарцбургиты	2–39	22–76	
		Дуниты	3,5–19	16–38	
II. Ультраосновные и основные породы	Повышенные Cu, пониженные Zn	Пироксениты	4–180	23–76	Пушкарев, 2000, МГП, 1988
		Гранатовые пироксениты	74–250	23–80	
	Cu > Zn	Горнблендиты	120–450	6–12	
		Базиты с амфиболом и гранатом	53–378	64–170	
III. Метаморфические и магматические	Низкие Cu, повышенные Zn	Эклогиты	32–135	27–235	Коллекции: Ковалев С.Г., Салихов Д.Н., Беликова Г.И., Алексеев А.А., Тимофеева Е.А.
		Глаукофановые сланцы	20–26	62–170	
	Zn > Cu	Хромиты в пироксенитах	8–45	215–2350	
		Хромиты в дунитах и гарцбургитах	20–340	140–720	
Юбилейное колчеданное месторождение					
IV. Подрудные толщи	Cu < Zn	Метасоматиты по базальтам, $br_{1-2}$	21–92 ед. 730 $x_6 - 56$	76–150 ед. 240 $x_6 - 123$	Косарев А.М.
Периферия метасоматического ореола. Подрудные толщи	Cu > Zn	Базальты, $br_{1-2}$	13–199 ед. 460 $x_6 - 136$	13–76 ед. 120 $x_6 - 61$	
	Cu < Zn	Риодациты субвулканические	42–74 ед. 190 $x_5 - 78$	54–110 ед. 340 $x_5 - 159$	
V. Рудовмещающие толщи Юбилейного месторождения	Cu < Zn	Базальты измененные, $br_{1-2}$	70–550 $x_7 - 201$	90–1240 $x_7 - 367$	Косарев А.М.
	Cu = Zn	Дацинты субвулканические	130–450 $x_7 - 290$	250–330 $x - 290$	
Периферия метасоматического ореола, рудовмещающие толщи	Cu = Zn	Базальты, $br_2^2$	16–530 $x_9 - 123$	32–340 $x_9 - 124$	
	Cu < Zn	Дацинты, риодациты	18–130 $x_6 - 58$	45–480 $x_6 - 152$	
VI. Зона окислительного диагенеза, разрез по р. Таналык фланг рудного поля	Cu < Zn	Базальты $br_{1-2}$ подрудной толщи	7–38 $x_4 - 17$	72–410 $x_4 - 178$	Косарев А.М.
	Cu < Zn	Базальты $br_2^1$ подрудной толщи	7–310 $x_{14} - 38$	48–110 $x_{15} - 68$	
	Cu < Zn	Базальты рудовмещающей толщи $br_2^2$	4–230 $x_{14} - 63$	43–130 ед. 730 $x_{14} - 84$	
	Cu < Zn	Риодациты субвулканические n=2	5–29	76–91	
VII. Кунакайский вулкан ( $ir_{1-2}$ )	Cu ≥ Zn	Ферродациты, риодациты базокварцевые	11–119 $x_7 - 62$	34–114 $x_7 - 57$	Косарев А.М.

Таблица (окончание)

1	2	3	4	5	6
VIII. Суурганская зона ареального вулканизма, отдаленная от колчед. м-ния Подольского на 27 км	Cu < Zn	Риодациты, риолиты кварц-роговообманково-плагиоклазовые	7–108 $x_4 - 25,6$	44–106 $x_4 - 67,7$	Косарев А.М.
IX. Подольский кальдера-вулкан. Западный фланг скв. 8501, ( $ir_{1,3}$ )	Cu < Zn	Дациты, риодациты	14–60 $x_3 - 38$	35–71 $x_3 - 49,6$	Косарев А.М.
М-ние Подольское, скв. П-38, ( $ir_2$ ) рудовм. толща	Cu < Zn	Андезиты, андезибазальты кварцевые	27–40 $x_2 - 33,5$	43–89 $x_2 - 66$	
М-ние Подольское, скв. П-19, надрудн. толща ( $ir_3$ )	Cu < Zn	Риолиты	7–14 $x_2 - 10,5$	70–72 $x_2 - 71$	
То же	Cu < Zn	Базальты	29–84 $x_6 - 52$	86–117 $x_6 - 105$	
X. Фланг м-ния Восточно-Подольское	Cu < Zn	Трахидациты, риодациты	2–104 $x_{28} - 37$	17–104 $x_{28} - 65$	Косарев А.М.
М-ние Восточно-Подольское	Cu < Zn	Трахидациты, риодациты	5–70 $x_{14} - 24$	11–190 $x_{14} - 87$	
XI. Подольский интрузивный комплекс, скв. 214, Ю-В фланг м-ния Подольского	Cu < Zn	Габбро-диорит	45	99	Косарев А.М.
		Диорит, кварцевый диорит	5–51 ед. 346 г/т $x_6 - 18$	13–65 $x_7 - 35$	
		Гранодиорит-плагиогранит	5–17 $x_4 - 12,5$	3–29 $x_4 - 20$	
XII. Рудовмещающие толщи Сибайской группы месторождений	Cu > Zn	Дациты, риодациты рудовмещающие, $kr_2$		46–152 $x_7 - 92$	Зайков и др., 2001
	Cu > Zn	Базальты хлоритизированные Камаганского месторождения, $kr_3$	103–152 $x_3 - 135$	88–152 $x_3 - 128$	Косарев А.М.
	Cu > Zn	Базальты надрудные Сибайского месторождения, $kr_3$		79–130 $x_6 - 106$	Зайков и др., 2001
XIII. Вулканиты Карамалыташской антиклинали	Cu > Zn	Базальты подрудные $kr_1$	12–346 $x_{22} - 118$	62–128 $x_{24} - 94$	Spadea et al., 2002; Зайков и др., 2001, коллекция: Минибаева К.Р., Косарев А.М.
	Cu > Zn	Дацит, риодациты $kr_2$	12–150 $x_6 - 49$	38–128 $x_{10} - 93$	Косарев А.М.

Западно-Магнитогорской зоны (ЗМЗ) и сложен вулканитами той же бонинит-толеитовой островодужной серии [Симонов и др., 2000; Зайков и др., 2001; Косарев и др., 2003; Jonas, 2003]. Крупные же месторождения (Юбилейное) залегают в верхней части разреза бурибайского комплекса ЗМЗ. Главное рудное тело Юбилейного месторождения расположено на границе базальтовой ( $b-br_2$ ) и кислой ( $b-br_3$ ) толщ, а относительно мелкие рудные залежи локализованы в пределах кислой толщи [Серавкин, 1986]; анализ геохимических материалов [Серавкин, Косарев, 2001] (см. таблицу) позволяет сделать следующие выводы: наиболее активный вынос Cu происходил на дальнем фланге месторождения в базальтах разреза по р. Таналык, в зоне окислительного

диагенеза из пород, соответствующих подрудному ( $b-br_1$ ,  $b-br_1^1$ ) и рудовмещающему ( $b-br_2^2$ ) стратиграфическим уровням, и на периферии метасоматического ореола, из вулканитов рудовмещающих толщ ( $b-br_2$ ); Zn частично выносился лишь из подрудных толщ  $b-br_{1-2}$  на периферии метасоматического ореола и на дальнем фланге в разрезе по р. Таналык, тогда как на месторождении происходили его привнос и вынос.

В целом, более интенсивный вынос Cu по сравнению с Zn из подрудных и рудовмещающих толщ бурибайского вулканического комплекса может быть реальной причиной формирования здесь колчеданного оруденения с соотношениями Cu > Zn. Следует отметить, что высокая подвижность Cu,

по сравнению с цинком, может проявлять себя и в мантийных условиях в области дегидратации базальтов субдуцирующей плиты. И эта геохимическая особенность меди в сочетании с хлоридным характером водных флюидов может иметь влияние на становление геохимического типа колчеданных руд ( $Cu > Zn$ ) фронтальной зоны островной дуги.

*Южно-ирендыкский палеовулканический комплекс.* Вулканисты Южно-ирендыкского палеовулканического комплекса (Кунакайский вулкан, Подольский кальдера-вулкан, Суурганская зона ареального кислого вулканизма) по соотношениям  $Cu$  и  $Zn$  образуют две группы. Первая группа — кремнекислые и основные вулканические породы (таблица, VII–XI), средние значения которых характеризуются преобладанием цинка над медью ( $Cu < Zn$ ). Исключение составляют ферродацииты и риодацииты безрудного вулкана Кунакайского (таблица, I–VI), в которых средние значения концентраций  $Cu$  близки и несколько превышают содержания  $Zn$  ( $Cu \geq Zn$ ). Во всех других случаях на Подольском рудном поле (в пределах Подольского кальдера-вулкана), включая базальты ( $ir_3$ ), кварцевые андезиты и андезибазальты ( $ir_2$ ), трахидациты ( $ir_3$ ), габбро-диориты и диориты Подольского интрузивного комплекса (скв. 214), сохраняется соотношение  $Cu < Zn$ . Это соотношение может быть связано с первичной геохимической специализацией магм, усиленной наличием поздней фазы цинковой минерализации, которая четко проявляется в надрудной риолит-базальтовой толще ( $ir_3$ , скв. П-236) в виде мелких сфалеритовых рудопроявлений. На удалении от месторождения, в районе горы Суурган, в частных анализах средних пород установлены концентрации (г/т)  $Cu > Zn$  (андезибазальты:  $Cu$  55,  $Zn$  26;  $Cu$  110,  $Zn$  54,3). В некоторых анализах базальтов надрудной толщи ( $ir_3$ ) Подольского месторождения присутствуют содержания  $Cu < Zn$  и  $Cu > Zn$  [Косарев и др., 2005], что свидетельствует о процессах привноса  $Cu$  и  $Zn$  в надрудную толщу и после завершения главного этапа рудообразования на Подольском месторождении.

В целом для вулканогенных и интрузивных пород Юбилейного и Подольского рудных полей установлена отрицательная геохимическая специализация на  $Cu$  и положительная на  $Zn$ . Это позволяет предполагать, что и вулканогенные, и интрузивные породы рудоносных вулканических комплексов могут быть источниками рудного вещества колчеданных месторождений уральского типа ( $Cu > Zn$ ).

*Карамалыташский вулканический комплекс* является наиболее высокопродуктивным на колчеданные руды с преобладанием цинка над медью ( $Zn > Cu$ ). Он располагается в области надсубдукционной зоны, в срединговом бассейне в зоне

расщепления Палеоирендыкской островной дуги. Положение этого комплекса соответствует *промежуточной или переходной* зоне от фронтальной к тыловой островной дуге. Более интенсивная экстракция  $Cu$  по сравнению с  $Zn$  из базальтов подтверждается экспериментами при высоких температурах (200–500°C) [Motte, Holland, 1978]. При высоком отношении вода/порода (50:1) цинк выщелачивается более интенсивно, чем медь.

Одно из ключевых мест в формировании колчеданных месторождений с цинковой специализацией ( $Zn > Cu$ ) занимает геохимический тип базальтов карамалыташской колчеданной формации. Эти базальты в наиболее продуктивных на колчеданное существенно цинковое оруденение в Учалинском и Сибайском рудных районах относятся к типу островодужных толеитовых базальтов низкотитанистых и низкохромистых. Главными признаками базальтов карамалыташской формации, или в более узком смысле — вулканического комплекса, получившего развитие в Сибайском и Учалинском рудных районах, является наличие тренда накопления железа и низкая хромистость ( $Cr$  41–82 г/т). Однако важно отметить парагенетические связи островодужных толеитов карамалыташского комплекса с базальтами повышенной и умеренной щелочности субокеанического типа, распространенными на Юлдашевском и Савельевском участках ЗМЗ и в Ащebutакской зоне ВМЗ [Косарев и др., 2006; Косарев, Артюшкова, 2007], что подчеркивает рифтогенный характер Учалинско-Карамалыташско-Шуулдакской зоны в целом.

На примере Скергаардского интрузива [Маркушев, 1987] показано, что оруденение цинкового профиля (без свинца) обусловлено толеитовым типом низкокалиевого базальтового магматизма со свойственным ему ферробазальтовым трендом дифференциации. В базальтах карамалыташского вулканического комплекса Сибайского рудного района содержания  $Zn$  составляют 61–128 г/т, мода  $Zn$  для базальтов соответствует интервалу 80–100 г/т [Косарев и др., 2006]. В дацитах и риолитах безрудной Карамалыташской антиклинали содержания  $Zn$  варьируют от 86 до 122 г/т (см. таблицу), на Сибайском колчеданном месторождении  $Zn$  в дацитах и риолитах содержится в интервале от 46 до 133 г/т [Зайков и др., 2001], причем содержания  $Zn < 50$  г/т имеют 4% проб, 51–75 г/т — 6% проб. Местный кларк  $Zn$  базальтов близок к 100 г/т, кислых пород — к 90 г/т. Вынос даже 50% цинка из 1 км<sup>3</sup> вулканистов составляет 162 тыс. т. По имеющимся данным, в серицит-хлорит-кварцевых метасоматитах по риодацитам содержание  $Zn$  варьирует от 86 до 126 г/т, что не позволяет предполагать заметный вынос его из метасоматитов. На объем вынесенного из пород

Zn может влиять концентрация во флюиде Cl, а также присутствие F и B [Рябчиков, 1970].

Создается впечатление, что интенсивность и объем отрицательных геохимических аномалий Zn на площади Сибайского рудного района не позволяет предполагать формирование руд Сибайской группы месторождений (1714 тыс. т Zn) только за счет выноса Zn из вулканитов рудовмещающих толщ. Вероятно, необходимо предполагать относительно глубинный источник Zn, которым может быть промежуточный магматический интрузив, очаги магмообразования базальтов в мантии или трондземитов в нижней коре и на границе нижней коры – мантии.

Изучение расплавных и флюидных включений, содержащихся в кварце кислых пород колчеданных месторождений Верхнеуральского рудного района на Южном Урале [Викентьев и др., 2012] показало высокую насыщенность металлами первичного магматического флюида и магматического расплава. Магматический флюид содержит повышенные концентрации (г/т): В 40–2000, Cu 300–3700, Zn 80–3400, Pb 14–1000, Ba 20–2200, Sn 4–1600, Au 4–8, Ag 4–11. Стекло расплавных включений содержит металлы (г/т): Cu 1100, Zn 1400. Приведенные сведения подтверждают высокую рудогенерирующую роль кислых магм. В связи с этими данными можно предполагать существенное значение в концентрации Cu и Zn в рудно-магматической системе нижней коры, которая является областью вероятного выплавления магм, исходных для кислых пород [Баркер, 1983; Ферштатер и др., 2010]. Отделение обогащенного рудными элементами флюида может происходить в промежуточных очагах, в которых начинается кристаллизация фенокристов кварца.

Вывод о недостаточном количестве Zn, извлекаемого из подрудных и рудовмещающих толщ, сделал Т.Н. Сурин [1993] для Узельгинского колчеданного месторождения в Верхнеуральском рудном районе, на основе детального объемного геохимического изучения подрудных и рудовмещающих вулканитов.

### Обсуждение материалов

По экспериментальным материалам [Tatsumi et al., 1986] установлена активная экстракция цезия, рубидия, калия, бария и других элементов КИР из серпентинитов при давлении P 12 кбар и температуре T 850°C, близких к мантийным условиям, существующим в зоне субдукции под фронтальными островными дугами. Интенсивный параллельный вынос K и Cu в зоне окислительного диагенеза на периферии рудного поля Юбилейного колчеданного месторождения в Бурибайском рудном

районе [Косарев, Серавкин, 2008] позволяет предполагать подобный процесс и в зоне дегидратации слэба под Тубинско-Гайской островной дугой. Хлоридный состав флюидов в островодужных вулканитах [Коваленко и др., 2000] и в колчеданосных вулcano-интрузивных комплексах ЗМЗ [Холоднов, Бушляков, 2002], в совокупности с возможной обогащенностью субдукционных флюидов рудными элементами, могут вносить вклад в формирование колчеданного оруденения существенно медного типа. С этих позиций более понятно преобладание Cu над Zn в пределах всего ряда надсубдукционных месторождений фронтальной палеоостровной дуги в Бурибайском рудном районе (Дергамышское, Бурибайское, Макан-Октябрьское, Подольское). В этом ряду установлено омоложение рудоносных стратиграфических уровней и формаций с запада на восток по направлению падения палеозоны субдукции, нарастание концентраций элементов КИР в рудовмещающих вулканитах и полиметаллических тенденций (рост количеств Pb, Ba) в рудах колчеданных месторождений [Серавкин, Косарев, 2001], в частности на месторождениях Октябрьском и Восточно-Подольском. На Октябрьском месторождении запасы Cu составляют 391,6 тыс. т, Zn — 193,7 тыс. т [Зайков и др., 2001], на Восточно-Подольском колчеданном месторождении, по материалам предварительной разведки (Н.И. Ильичев), Cu — 191,2 тыс. т, Zn — 204 тыс. т, Pb — 100,2 тыс. т. Кроме того, во всех типах руд последнего содержится барит.

### Выводы

Анализ табличных материалов по содержаниям Cu и Zn в мантийных породах и в вулканитах колчеданных рудных полей показал следующее:

1. Можно предположить, что первичная специализация исходных магм на Cu и Zn могла определяться составом мантийного и нижнекорового субстрата в зонах магмогенерации. Не исключена экстракция рудного вещества (Zn > Cu) из эклогитов. В зонах субдукции при дегидратации базальтов в присутствии H<sub>2</sub>O и Cl могла происходить экстракция рудного вещества (Cu > Zn).

2. Юбилейное рудное поле. Наиболее активный вынос Cu (до 90%) происходил в зоне окислительного диагенеза на Юбилейном рудном поле, что могло способствовать медной специализации колчеданного оруденения.

3. На Польском месторождении минимальные концентрации Cu и Zn обнаружены в интрузивных породах Подольского комплекса (гранодиориты – плагиограниты) Cu x<sub>4</sub> — 12 г/т; Zn — 20 г/т, что позволяет считать магматический очаг одним из источников металлов.

4. В вулканитах Сибайского рудного района, включая и удаленную от месторождений Карамалыташскую антиклиналь, установлены соотношения  $Cu > Zn$ . Отсутствие интенсивных, охватывающих большие объемы кислых вулканитов, отрицательных геохимических аномалий Zn позволяет предполагать, что источником этого металла были не только приповерхностные толщи вулканитов, но и глубинные зоны, возможно, включающие мантийные и нижнекоровые уровни.

*Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Поволжье», РФФИ (№ 11-05-97008), программы № 27П РАН, совместного проекта УрО РАН, СО РАН, ДВО РАН и ИГ УНЦ РАН № 12-С-5-1022.*

#### Литература:

- Авдейко Г.П., Палуева А.А., Хлебородова О.А.** Геодинамические условия вулканизма и магмообразования Курило-Камчатской островодужной системы // Петрология. — 2006. — Т. 14, № 3. — С. 248–265.
- Баркер Ф.** Трондьемит: определение, геологическая обстановка и гипотезы образования // Трондьемиты, дациты и связанные с ними породы — М: Мир, 1983. — С. 9–19.
- Викентьев И.В., Борисова А.Ю., Карпухина В.С. и др.** Прямые данные о рудоносности кислых магм Узельгинского рудного поля (Южный Урал, Россия) // Докл. РАН. — 2012. — Т. 443, № 3. — С. 347–351.
- Зайков В.В., Масленников В.В., Зайкова Е.В., Херрингтон Р.** Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана. — Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. — 315 с.
- Коваленко В.И., Наумов В.Б., Ярмлюк В.В., Дорофеева В.А.** Легучие компоненты ( $H_2O$ ,  $CO_2$ , Cl, F, S) в магмах среднего и кислого состава различных геодинамических обстановок по данным изучения расплавных и включений и закалочных стекол // Петрология. — 2000. — Т. 8, № 6. — С.586–619.
- Косарев А.М.** Геохимические особенности вулканогенных формаций Южного Урала и их продуктивность на колчеданное оруденение // Литосфера. — 2010. — № 3. — С. 177–184.
- Косарев А.М., Знаменский С.Е., Серавкин И.Б. и др.** Особенности химизма вулканитов Вознесенско-Присакмарской зоны // Геологический сборник № 3 / ИГ УНЦ РАН. — Уфа, 2003. — С. 152–161.
- Косарев А.М., Пучков В.Н., Серавкин И.Б.** Петролого-геохимические особенности раннедевонско-эйфельских островодужных вулканитов Магнитогорской зоны в геодинамическом контексте // Литосфера. — 2005. — № 4. — С. 22–42.
- Косарев А.М., Пучков В.Н., Серавкин И.Б.** Петролого-геохимические особенности среднедевонско-раннекаменноугольных островодужных и коллизионных вулканитов Магнитогорской зоны в геодинамическом контексте // Литосфера. — 2006. — № 1. — С. 3–21.
- Косарев А.М., Артюшкова О.В.** Джусинский палеовулканический комплекс: стратиграфическое положение, геохимические особенности, геодинамические реконструкции // Геологический сборник № 6 / ИГ УНЦ РАН. — Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2007. — С. 174–180.
- Косарев А.М., Серавкин И.Б.** Петролого-геохимические модели рудно-магматических систем баймакбурибаевской свиты // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсах АН РБ. — 2008. — № 12. — С. 54–62.
- Магматические горные породы:** В 6 т. / Под ред. О.А. Богатикова. — М.: Наука, 1988. — Т. 5: Ультрасосновые породы. — 508 с.
- Маракушев А.А.** Периодическая система экстремальных состояний химических элементов. — М.: Наука, 1987. — 207 с.
- Пушкарев Е.В.** Петрология Уктусского дунит-клинопироксенит-габбрового массива (Средний Урал). — Екатеринбург: УрО РАН, 2000. — 296 с.
- Пушкарев Е.В., Рязанцев А.В., Третьяков А.А. и др.** Гранатовые ультрамафиты и мафиты в зоне Главного Уральского разлома на Южном Урале: петрология, возраст и проблема образования // Литосфера. — 2010. — № 5. — С. 101–133.
- Рябчиков И.Д.** Содержание цинка в хлоридных растворах, равновесных с минералами гранитоидов в условиях повышенных температур и давлений // Докл. АН СССР. — 1970. — Т. 194, № 6. — С. 1418–1480.
- Серавкин И.Б.** Вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. — М.: Наука, 1986. — 268 с.
- Серавкин И.Б., Косарев А.М.** Модели колчеданноносной рудно-магматической системы и колчеданного месторождения уральского типа // Смирновский сборник — 2001: Научно-литературный альманах. — М., 2001. — С. 118–151.
- Симонов В.А., Зайков В.В., Бушман Б. и др.** Условия формирования базальтоидов Ишкининского колчеданного месторождения (Южный Урал) // Металлогения древних и современных океанов—2000. Открытие, оценка, освоение месторождений. — Миасс: ИМин УрО РАН, 2000. — С. 174–181.
- Степанец В.Г., Креммер А.Г.** Магматизм Шакшанского задугового спредингового бассейна каледонид северо-востока Центрального Казахстана // Вулканизм и геодинамика: Матер. II Всерос. симпозиум по вулканологии и палеовулканологии. — Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2003. — С. 321–326.
- Сурин Т.Н.** Петрология и геохимия вулканитов раннеживетской базальт-риолитовой колчеданноносной формации: Препр. / РАН. Уральский науч. центр. — Уфа, 1993. — 44 с.
- Ферштатер Г.Б., Холоднов В.В., Кременецкий А.А. и др.** Золотоносные габбро-тоналит-гранодиорит-гранитные массивы Урала: возраст, геохимия, особенности магматической и рудной эволюции // Геология рудных месторождений. — 2010. — Т. 52, № 1. — С. 65–84.
- Холоднов В.В., Бушляков И.Н.** Галогены в эндогенном рудообразовании. — Екатеринбург: УрО РАН, 2002. — 394 с.
- Jonas P.** Tectonostratigraphy of oceanic crustal terrains hosting serpentinite-associated massive sulfide deposits in the

Main Uralian Fault Zone (South Urals): PhD Dissertation / Freiberg University of Mining and Technology. – Freiberg, 2003. – 327 p.

**Mottl M.J., Holland H.D.** Chemical exchange during hydrothermal alteration of basalt by seawater – I. Experimental results for major and minor components of seawater // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* – 1978. – V. 42. – P. 1103–1115.

**Spadea P., D'Antonio M., Kosarev A. et al.** Arc–continent collision in the Southern Urals: petrogenetic aspects of the

forearc complex // *Mountain Building in the Uralides: Pangea to Present* / *D. Brown, C. Juhlin, V. Puchkov (Eds.): Geophysical Monograph, American Geophysical Union.* – 2002. – V. 132. – P. 101–134.

**Tatsumi Y., Hamilton D.L., Nesbitt R.W.** Chemical characteristics of fluid phase released from a subducted lithosphere and origin of arc magmas: Evidence from high-pressure experiments and natural rocks // *Journal of Volcanology and Geothermal Res.* – 1986. – V. 29, Is. 1–4. – P. 293–309.