

УДК 553.491:553.411

Л.Г. МАРЧЕНКО¹, Л.В. КОМАШКО²,
В.Л. ЛЕВИН³, П.Е. КОТЕЛЬНИКОВ⁴, В.А. ГЛАГОЛЕВ⁵

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ПЛАТИНОИДОВ В ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ «ЧЕРНОСЛАНЦЕВОГО» ТИПА В КАЗАХСТАНЕ

Бакыршық алтын кені кенорнында бірінші рет кенді аймақта платиналардың пішіндері көрінді. Платина – өзінде болған және катты металды ерітінді, Pt-Fe-Cu жүйесінде көміртекті құрамды болып кездеседі. Платина және палладий сульфидті-арсенидті минералды ассоциацияда алтынды арсенопирит және пирит үшін сипатталады.

Алтын кенді Бакыршық кенді аймак кенорнында квалификациясын платина-алтынкені нысанына өзгертерді.

В золоторудных месторождениях Бакырчикского рудного поля впервые установлены микро и наноформы платиноидов. Платина – самородная и металлические твердые растворы системы Pt-Fe-Cu встречена в углеродистом веществе. Платина и палладий в виде сульфидно-арсенидной минеральной ассоциации характерна для золотоносного арсенопирита и пирита.

Золоторудные месторождения Бакырчикского рудного поля меняют квалификацию на объекты платино-золоторудные.

Visible forms of platinum minerals in the gold deposits of Bakurchic ore field was first discovered. Nanopartisple platinum and palladium sulfides and arsenides in pyrites and arsenopyrites was founded and stadied. Gold deposite of Bakurchic ore field mast be shouing as platinum-gold deposite.

В последние годы в мире были открыты месторождения благородных металлов в черных сланцах, в которых совместно с основными промышленными комплексами присутствуют металлы платиновой группы. К ним относятся, в первую очередь, золоторудные месторождения: Сухой Лог (Россия) [1, 2], Мурунтау и др. (Узбекистан), Кумтор (Киргизия) [3].

Первые определения содержаний платиноидов в рудах месторождений Бакырчикского рудного поля были сделаны с применением инверсионно-вольтамперометрического метода в Томском Университете [4] в 1994 г. (табл. 1). С того времени находок платиноидов в этих рудах не отмечалось и многими исследователями, проводившими определения платиноидов в рудах и породах, эти данные не подтвердились, что объясняется существованием объективных проблем в аналитическом определении содержаний платиноидов в углеродистых средах.

Наши минералогические исследования монопроб золотосодержащих сульфидов и углеродистого вещества выделенного из рудной зоны проводились с применением электронного микроско-

па. Анализы элементного состава минералов, микровключенияй и фотосъемку в различных видах излучений выполнялись с использованием энергодисперсионного спектрометра NICA ENERGY OXFORD INSTRUMENTS (Англия), установленного на электронно-зондовом микронализаторе Superprobe 733 фирмы JEOL (Япония) при ускоряющем напряжении 25 кВ и токе зонда 25 нА.

Для руд объектов Бакырчикского рудного поля характерна золото-сульфидно-углеродистая парагенетическая минеральная ассоциация, где имеют место тесные связи рудных металлов не только с сульфидами, но и углеродистыми веществами [5, 6], в которых благородные металлы концентрируются в составе спиртобензольной фракции битумоидов – окисленных кислородсодержащих карбонильных, карбоксильных углеводородах и керагенах. Последние представлены сложным минералом – шунгитом с примесью карбина и скрытокристаллического графита.

Исследование форм нахождения платиноидов и их соотношений с золотой минерализацией является одной из наиболее существенных и, в

^{1–5} Казахстан. 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а, Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева.

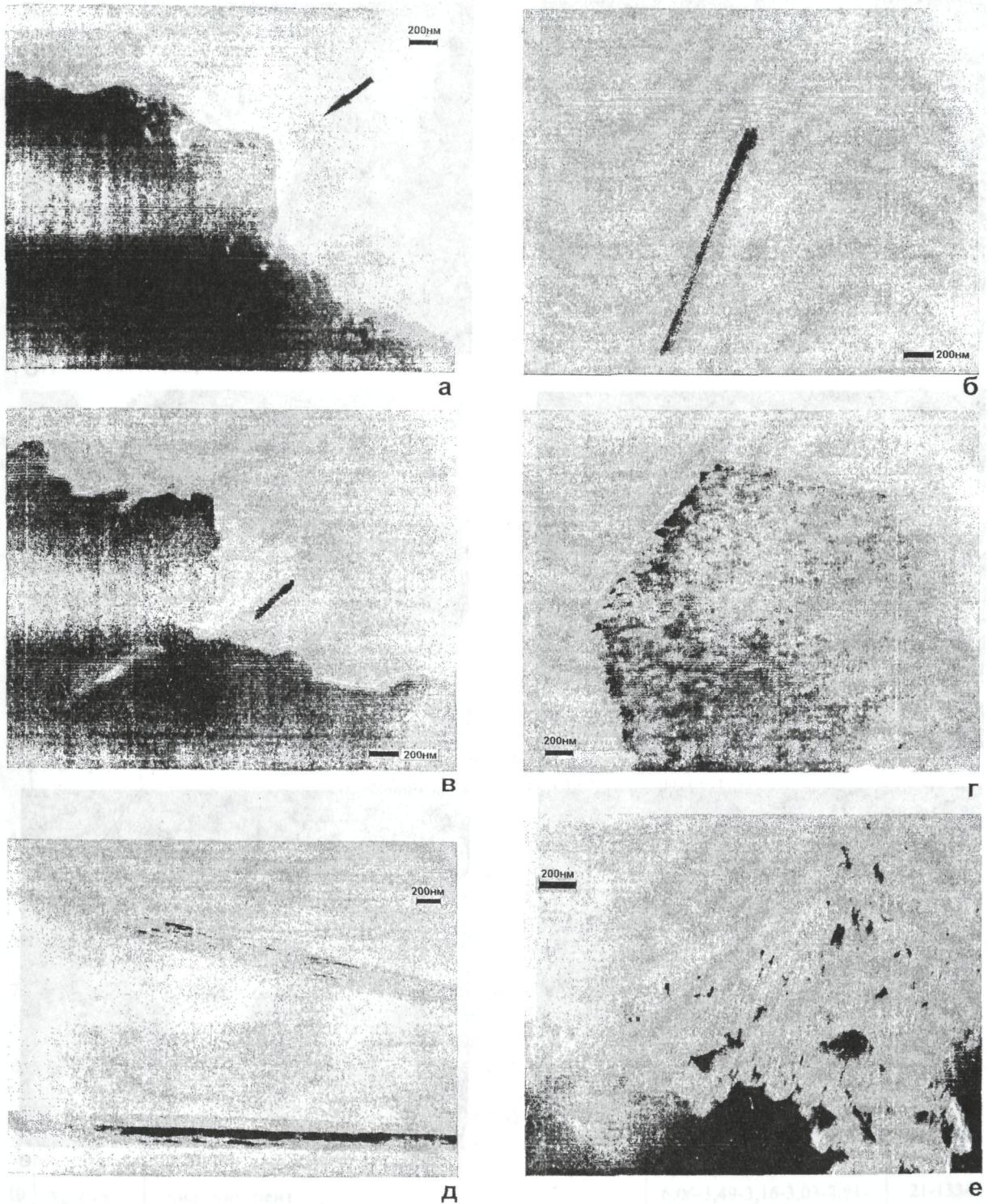


Рис.1. Наноформные минералы платиноидов в золотоносных сульфидах месторождения Бакырчик(просвечивающая электронная микрография): а – плотный агрегат из полупрозрачных частиц размером 5-10нм, состоящий из PtS₂ в ассоциации с пирротином, тенантитом и самородным мышьяком (№ 1, табл.2); б – нанотрубка –PtS₂ диаметром 75нм (№2, табл.2); в – нанотрубка – AgFe₂S₃ – стернлергит, диаметром 40 нм и округлые частицы арсенолит As₂O₃ диаметром 50нм (№ 3, табл.2); г –nanoструктурированный кристалл гексагональной огранки состоящий из частиц в 20нм петровского AgAuS; д – нанотрубки диаметром 5нм с уплотнением вдоль оси удлинения состоящими из сперрилита PtAs₂, биллингслейта Ag_xAsS₆ и марказита (№9-10, табл.2); е – плотные частицы с минимальными размерами 5 нм – пирротин Fe_{1-x}S, петровский AgAuS, палладоарсенид PdAs₂ и мышьяк As.

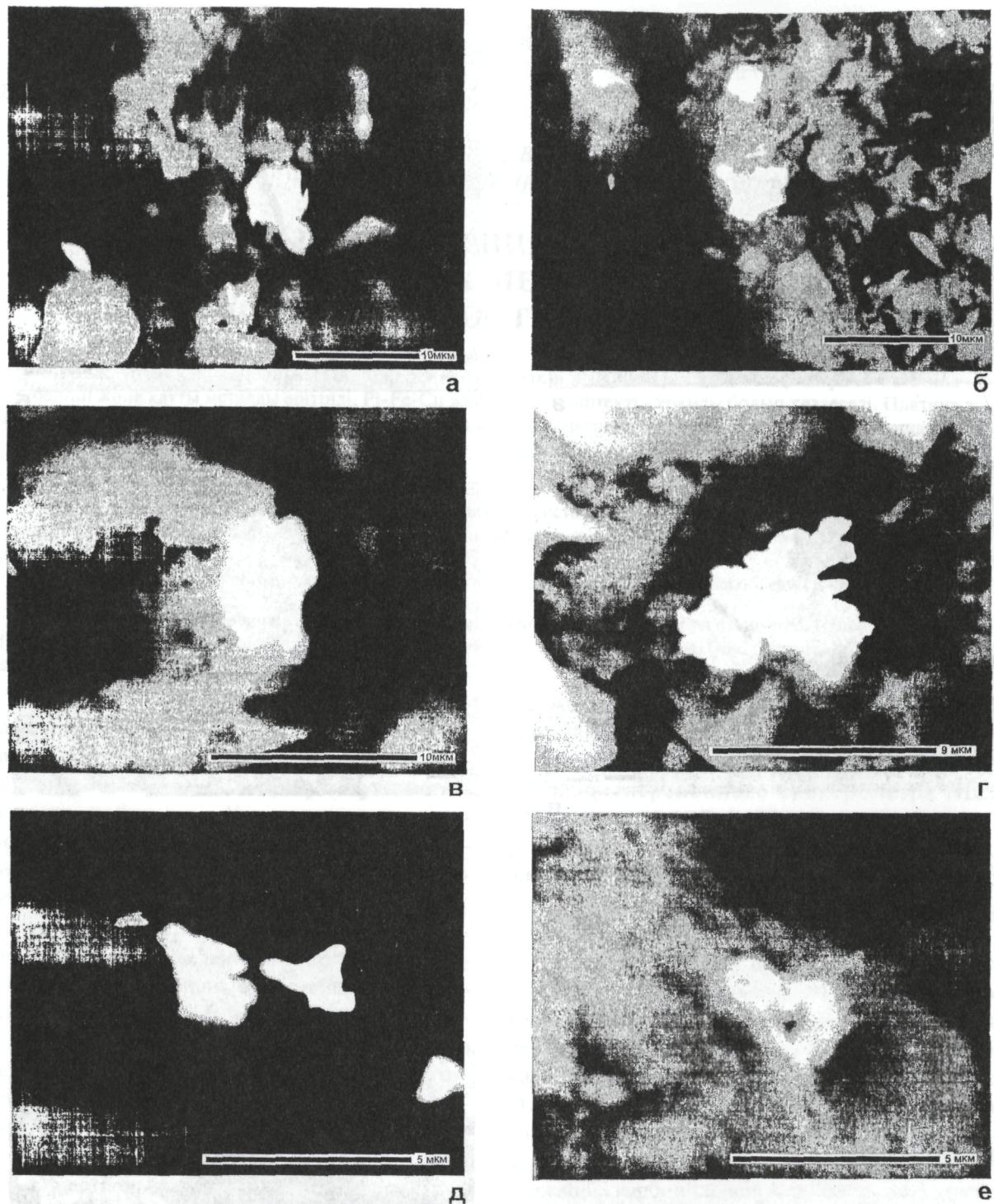


Рис.2. Морфологические особенности зерен минеральных включений системы Pt-Fe-Cu в твердом углеродистом веществе месторождения Большевик: а, б, в, г – субмикроскопические зерна медистой платины – туляминита Pt_3Cu (Зондовые микрофото во вторичных рассеянных электронах); д – зерно железистой платины – изоферроплатина Pt_3Fe (зондовые микрофото в отраженных электронах); е – зерно золотистой платины $PtAuFe$ (зондовые микрофото в отраженных электронах)

Таблица 1. Содержание платиноидов (г/т) в рудах Бакырчикского рудного поля (по данным инверсионно-вольтамперометрического анализа проб, по А.Ф. Коробейникову, 1994)

№ п/п	Колич. проб	Оsmий	Иридий	Платина	Палладий
1	4	2,9	-	3,1	-
2	21	0,037-15,35 2,7985	0,014-0,030 0,024	0,14-39,6 5,71	0,0002-0,43 0,0196
3	11	0,002		3,19	0,275
4	2	0,002		8,0	0,43
5	2	0,312		7,4	0,02
6	2	0,41			0,06
7	2	0,05		19,9	0,002
8	2	0,01		1,4	0,001
9	2	0,0005		26,6	0,0005
10	2	0,005		11,96	0,001
11	1			4,0	

Примечания: 1 – оруденелые алевропесчаники; 2, 3, 7-10 – пирит – арсенопиритовые руды; 11 – пирит месторождения Бакырчик; 4,5 – концентраты сульфидов; 6 – хвосты обогащения; числитель – предел содержания, знаменатель – среднее значение

Таблица 2. Наборы межплоскостных расстояний наноформных минералов

№	Формула минерала	Название минерала	Межплоскостные расстояния, Å		№ карточки ASTM
			Расчетные	Стандартные по 8 линиям	
1	PtS ₂	Куперит	4,75-3,03-2,56-2,07- 1,9-1,73-1,67-1,59-1,49-1,32-1,1	5,03-3,06-2,62-2,52-1,95-1,77-1,67-1,47	18-973
2	PdS ₂	Куперит	3,53-3,04-1,76-1,69-1,52	3,53-3,43-2,77-2,19-1,96-1,71-1,51-1,41	22-774
3	AgFe ₂ S ₃	Стернлергит	6,56-5,86-4,46-4,24-3,33-3, 19-2,86-2,7-2,2-2,12-2,0-1,97-1,57-1,38	4,29-3,42-3,22-2,79-2,63-1,94-1,9-1,79	11-61
4	AgAs ₂ O ₃		3,37-3,11-2,22-2,19-1,48	3,52-3,37-2,46-2,11-2,05-2,0-1,57-1,43	33-1174
5	KC ₈	Графитопоташум		5,3-5,1-4,2-3,01-2,67-2,04-1,4-1,24-1,13	4-221
6	AgF ₂ AsF ₅		4,53-2,67-2,26-1,66-1,52-1,33	4,52-3,87-3,51-2,97-2,78-2,48-2,26-1,43	36-564
7	AgAuS	Петровскит	7,15-3,76-3,6-2,76-2,49-2,37-2,11-7,12-4,18-3,58-2,82-2,75-2,73-2,47-2,36-2,08-1,56	7,16-3,96-2,77-2,63-2,45-2,39-2,23-2,12	19-1149
8	PdAs ₂	Палладоарсенит	3,06-2,74-2,21-2,11-1,79-1,7-1,59-1,47-1,39-1,32	3,01-2,69-2,48-2,11-1,8-1,6-1,22-1,15	3-1194
9	PtAs ₂	Сперрилит	4,22-4,04-3,03-2,62-2,04-1,66-3,49-3,17-3,03-2,92-2,42-2,32-2,12-1,89-1,74-1,6-1,26	3,43-2,98-2,11-1,8-1,33-1,15-0,8-0,78	9-452
10	Ag ₂ AsS ₆	Биллингслеит		6,06-3,49-3,16-3,03-2,91-2,8-2,47-1,85	21-1334
11	KC ₉	Графитопоташум	7,42-6,36-3,98-3,14-3,07-2,98-2,59-2,18-1,74-1,66-1,6-1,52-4,22-4,09-3,03-2,62-2,04-1,66		27-378
12	Ag ₂ AsS ₂	Девиллит		3,25-3,17-3,08-3,02-2,84-2,74-2,68-2,07	
13	PtS ₂	Куперит	5,05-3,66-2,62-1,74-1,67-1,55-1,50-1,28-1,22-1,14	5,03-3,06-2,62-2,52-1,95-1,77-1,67-1,47	18-973

тоже время, методически сложных задач исследований.

Решение этих задач имеет значение не только для оценки генетических проблем месторождений аналогичного типа, но и для применения технологии их обогащения с высоким извлечением полезных компонентов.

Сульфиды, содержащие золото, представлены арсенопиритами и пиритами различного размера и габитуса. Нами исследовались четко ограниченные кристаллы арсенопиритов с коротко-призматическим, удлиненно-призматическим, тонкоигольчатым габитусом и пириты с пентагонододекаэдрической и кубической формами кристаллов. Исследовались искусственные анишлифы из кристаллов сульфидов и тонкий порошок сульфидов, нанесенный на коллоидную пленку. Последняя операция применялась и для твердой фазы углеродистого вещества (кератогена).

Порошковые пробы арсенопиритов и пиритов исследовались на просвет на электронном микроскопе с применением микродифракционирования при увеличениях 80 000. Обнаружено многообразие минеральных форм золота, серебра и платиноидов, сопровождающихся другими фазами минералов (рис. 1, табл. 2). Наноминералы благородных металлов представлены сульфидами, арсенидами, сульфосолями и интерметаллидами. Формы их от изометрично округлых, размером первые нм до игольчатых нанотрубок в 75-100 нм. Платиноиды представлены несколькими модификациями сульфидов – куперитом платины (PtS_2) и палладия (PdS_2), арсенидов платины – сперрилитом $PtAs_2$, и палладия – палладоарсенидом ($PdAs_2$).

Наноминералы платиноидов находятся в тесной ассоциации сnanoформными сульфосолями и сульфидами золота и серебра: *петровскитом* ($AgAuS$), *стернлергитом* ($AgFe_2S_3$), *билингслейтом* (Ag_7AsS_6), а также с блеклой рудой, фосфатами редких земель, пирротином, марказитом, самородным мышьяком, арсенолитом и другими фазами минералов (табл. 2).

В углеродистом веществе микровключения платиноидов имеют изометричную форму размером от 0,5 до первых мкм и представлены самородными выделениями, металлическими твердыми растворами системы Pt-Fe-Cu – *туламинит* (Pt_3Cu), *изоферроплатина* (Pt_3Fe), *тетраферроплатина* (Pt_3Fe), (рис. 2). Кроме того отмечается в углеродистом веществе включение золотистой платины. Судя по значительной примеси серы, возможно наличие минеральных форм платины в виде сульфидов и арсенидов, встречающихся в арсенопиритах и пиритах, а именно – *куперита платины* (PtS_2) и *сперрилит* ($PtAs_2$). Можно предполагать наличие *маланита* ($Cu, Pt)S_2$, *палладоарсенида* ($PdAs_2$), *платарсита* – $Pt(As, S)_2$.

В углеродистом веществе были обнаружены самородные серебро и титан и возможно часть меди вместе с цинком образуют интерметаллические соединения, такие же как золото с серебром – *кюстелит* (табл. 3).

Изложенный материал свидетельствует о находках платиноидов в золотосодержащих сульфидах и углеродистом веществе, существующих в единой парагенетической рудно-минеральной ассоциации, характерной для месторождений «черносланцевого» типа Казахстана.

Таблица 3. Энергодисперсионные спектры составов агрегатов платины, золота, серебра и титата в углеродистом веществе руд месторождения Большевик

№ обр./№ участка	Значения спектров, вес.%										
	O	S	Cl	Ti	Cu	Zn	As	Fe	Au	Pt	Ag
895/1	6,43	3,67	0,98	2,07	5,45	2,94	*	*		78,46	*
/2	1,15	0,76	0,25	0,46	5,65	3,08	*	*		88,65	*
/3	*	1,29	0,32	1,32	4,05	2,72	*	0,43		*	89,87
/4	3,25	2,11	*	0,29	6,21	3,41	*	*		84,74	*
/5	1,64	1,53	*	0,37	6,67	3,39	*	*		85,43	*
/6	3,21	1,87	0,63	0,53	6,10	3,26	*	*		84,30	*
/9	3,18	0,43	0,30	90,08	2,91	2,31	*	*		*	*
1152/1	5,61	12,10	*	*	1,27	1,13	2,31	14,73	47,10	*	15,76
/8	16,33	7,12	*	1,35	0,19	*	3,91	7,08		61,32	*
/13	15,00	36,33	*	0,71	0,77	0,46	1,89	26,50	2,13	16,21	*

Примечание – * – содержание ниже определяемого предела.

Вопрос о содержании платиноидов в рудах Бакырчикского рудного поля в данной работе не подлежит обсуждению, так как рассмотрена лишь часть их фазового состояния. Предполагается существование в твердом углеродистом веществе атомарной и кластерной платины и палладия в межплоскостных расстояниях разупорядоченного углерода, а также платиноидов в виде комплексных соединений или фрагментов молекул с комплексными и сорбционными связями, расположеннымми между гексагонами углерода или в виде металлофуллеренов.

Дальнейшие исследования с накоплением статистических данных по формам и содержаниям платиноидов, золота, серебра и других сопутствующих металлов, сопровождающее изучением фазового состояния углеродистого вещества, позволят достаточно достоверно рассмотреть механизм концентрации благородных металлов, выяснить роль углеродистого вещества в рудообразовании. Углубленные исследования по установлению форм благородных металлов, приве-

дут к разработке рекомендаций для технологии извлечения металлов из упорных руд «черносланцевого» типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дистлер В.В., Митрофанов Г.Л., Немеров В.К. и др. Формы нахождения металлов платиновой группы и их генезис в золоторудном месторождении Сухой Лог (Россия). Геол. рудн. м-й, т. 38, № 6, 1996.
2. Дистлер В.В., Юдовская М.А. и др. Новые данные по платиновой минерализации золотых руд месторождения Сухой Лог. ДАН РФ. 2003. Т. 393, № 4. С. 524-527.
3. Ермолаев Н.П., Созинов Н.А., Чиненов В.А. и др. Формы нахождения платиновых металлов в рудах золота из черных сланцев. Геохимия, № 4, 1995. С. 524-532.
4. Коробейников А.Ф., Масленников В.В. Закономерности формирования и размещения месторождений благородных металлов Северо-Восточного Казахстана. Изд-во Томского Университета, 1994.
5. Марченко Л.Г., Ярцева Л.А., Xueqiu Wang. Черносланцевые толщи как источник золота и платины. Геология и охрана недр. Алматы. 2005, № 2. С. 40-43.
6. Марченко Л.Г. Модель формирования м-й благородных металлов с тонкодисперсными рудами в черных сланцах. Геология и охрана недр. Алматы. 2007, № 1. С. 33-41.