

В. А. Коротеев, А. Н. Савичев, В. Н. Огородников, Ю. А. Поленов

## КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ АНДРЕЕ-ЮЛЬЕВСКОГО ТЕХНОГЕННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КИАНИТА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

*Техногенные месторождения, образованные в результате эксплуатации аллювиальных месторождений золота, на Южном Урале являются дополнительным сырьевым источником комплексного минерального сырья. Содержание полезных минералов в техногенных образованиях превышает содержание в первичных аллювиальных россыпях от 10 до 1000 раз. В процессе геологической оценки промышленного потенциала Андрее-Юльевское техногенное месторождение кианита (Южный Урал) использован «концентратный» метод опробования техногенных песков, позволивший оценить золотороссыпной потенциал техногенных образований с убогим золотом и дополнительно выделить в качестве попутного полезного минерала рутил. На основе проведенных исследований разработана принципиальная технологическая схема обогащения техногенных песков, позволяющая получить кианитовые концентраты с содержанием  $Al_2O_3$  от 55,5 до 60,2% в качестве основного продукта, и золотосодержащий и рутиловый концентраты — в качестве попутно извлекаемого продукта. Комплексное извлечение из техногенных образований кианита, золота и рутила делает коммерчески привлекательной эксплуатацию такого типа месторождений.*

**Ключевые слова:** Андрее-Юльевское техногенное месторождение, кианит, золото, рутил, схема обогащения

Вовлечение минералов группы силлиманита (кианит, силлиманит, андалузит) в производство высокоглинозёмистых огнеупоров с целью последующего их использования в металлургической промышленности, получения силумина и алюминия электротермическим путем невозможно без освоения новых источников высокоглинозёмистого сырья [5, с. 189-203; 5]. Одним из таких сырьевых источников является Андрее-Юльевская группа кианитсодержащих техногенных образований [3].

Андрее-Юльевская группа техногенных месторождений кианита — часть техногенных образований, накопленных в результате отработки Еленинской и Андреевской аллювиальных золотоносных россыпей, разработка которых велась вплоть до середины 90-х гг. XX в. гидравлическим способом. Из других потенциально полезных компонентов в золотоносных россыпях присутствовали кианит, рутил, ильменит, хромит, монацит и др. В связи с низкими содержаниями этих минералов в аллювиальных отложениях в качестве попутных компонентов вышеназванные минералы в процессе золотодобычи не рассматривались (табл. 2).

Во время отработки золотоносных россыпей материал россыпей подвергался неоднократному

механическому воздействию (промывке, перемещению, гравитационной дифференциации, сегрегации и т. п. технологическим процессам), в результате чего первоначальное качество материала существенно изменилось, золото извлекалось, а остальной материал перемещался в хвостохранилища или сбрасывался вблизи полигонов добычи. Разведанные запасы аллювиального золота к середине 1990-х гг. выработаны полностью. В результате эксплуатации Еленинской и Андреевской золотоносных россыпей было накоплено около 10 млн м<sup>3</sup> техногенных образований локализованных на площади более 20 км<sup>2</sup>.

Наблюдаемая в пределах техногенных образований видимая кианитовая минерализация послужила основанием для постановки геологического изучения на кианит. В процессе работ в пределах техногенных образований были изучены техногенные разрезы, краткое описание которых приведено в таблице 1.

Проведенные исследования техногенных образований показали, что в процессе гидравлической добычи произошло вторичное накопление минералов тяжелой фракции в техногенных песках, что привело к их концентрации до значений, представляющих интерес для коммерческой добычи (табл. 2).

Краткое описание техногенных разрезов

Краткое описание разреза	Интервал, м (средние показатели)
<i>Техногенные образования локализованные вблизи бывших полигонов добычи</i>	
Техногенные образования — пески техногенные	0–1,6
Вмещающие породы — кора выветривания по гранитам и мраморам, известняки, граниты, озерно-болотные отложения, почвенно-растительный слой	1,6–5,0
<i>Техногенные образования в бывших хвостохранилищах</i>	
Техногенные образования — пески техногенные	0–2,5
Техногенные образования — илы техногенные	2,5–6,0
Вмещающие породы — кора выветривания по гранитам и мраморам, известняки, граниты, озерно-болотные отложения, почвенно-растительный слой	Глубже 6,0

Сравнительная характеристика содержания минералов в золотоносных (первичных) россыпях и в техногенных образованиях

Минералы	Содержание минералов в золотоносных россыпях (по данным ГРП)			Содержание минералов в техногенных песках		Степень техногенной Концентрации, раз
	Ед. изм.	Андреевская	Еленинская	$n \cdot 10^{-3} \%$	г/м <sup>3</sup> (пересчитано на минералы)	
Золото	мг/м <sup>3</sup>	216	213		54 мг/м <sup>3</sup>	
Кианит	г/м <sup>3</sup>	4,7	26		7722	500
Рутил	г/м <sup>3</sup>	2,1	2,3	0,073	2080	900
Ильменит	г/м <sup>3</sup>	4,7	5,2	0,074	3953	790
Пиролозит	г/м <sup>3</sup>	нет данных	0,2	25	425	Более 2000
Хромит	г/м <sup>3</sup>	1,8	1,2	27	469	390
Сфалерит	г/м <sup>3</sup>	нет данных	2,4	8,3	141	58

Среди техногенных образований выделены основные разновидности, положенные в основу литологического расчленения техногенного материала.

*Песок техногенный.* Макроскопически представлен гравийно-песчаной смесью с незначительными (до 3–5%) включениями щебнистого материала. Рыхлые. Различной степени лежалости. Цвет песков в интервале 0–30 см — бурый, коричневый, глубже — белый, бежевый, желтый, светло-коричневый. Текстура — слоистая, косослоистая. Структура смешанная — псефито-псаммитовая. По гранулометрическому составу техногенные пески относятся к средним, крупным и гравелистым. Степень сортировки — порода не отсортирована. Минеральный состав техногенных песков довольно однообразный, и их можно отнести к мономинеральным кварцевым пескам: кварц — 90–95%; кианит — 0–5%; лимонит — 0–7%; карбонаты — 0–5%; прочие минералы (рутил, турмалин, пирит, хлорит, магнетит, титаномагнетит, минералы группы слюды) — менее 1%. Техногенные пески содержат основное количество кианита и отнесены к продуктивным толщам.

*Ил техногенный.* В эту группу включены техногенные образования, представленные связными высокоглинистыми образованиями, преимущественно глиной белого, серого, коричневого и бурого цветов. Отдельные участки сложены алевритовыми глинами и алевритами. Текстура — массивная и слоистая. Структуры алевритовые и пелитовые, часто смешанные. Консистенция — мягкопластичная, тугопластичная.

*Песок глинистый техногенный.* Гетерогенная порода, образованная в результате техногенной седиментации во время сброса песчано-глинистой пульпы в хвостохранилища. В полевых условиях данная порода диагностировалась как суглинки, глинистые пески, песчаные глины, алевролиты и т. п. названия. Характеризуются значительным количеством глинистого или тонко-алевритового материала в составе «основной» массы (50–80%) с примесью песчаной фракции.

Техногенные образования были оценены на всю глубину с использованием горно-буровой системой разведки по сети 200 м × 100 м и опробованы бороздовым и керновым способом.

Таблица 3  
Средние содержания минералов в основных литологических разностях техногенных образований

Литологические разности	Пески техногенные (ПТ)	Пески глинистые техногенные (ПГТ)	Пески алевроитовые техногенные (ПА)	Илы техногенные (ИТ)	Кора выветривания (КВ)
Среднее содержание кианита, кг /м <sup>3</sup>	7,722	0,391	0,263	0,053	0,164
Среднее содержание золота, г /т	0,032	0,038	0,022	0,039	0,038

Проведенный сокращенный количественный минералогический анализ техногенных песков на кианит и золотопоказал наличие в них промышленных содержаний кианита и убогие содержания золота. Результаты опробования техногенных образований сведены в таблицу 3.

По данным химических анализов содержание  $Al_2O_3$  в кианите колеблется в пределах от 55,5 до 60,2% и зависит от фракционного состава кианита. Изменение химического состава кианита в зависимости от фракции приведено на рисунке 1.

Возможность определения золотороссыпного потенциала техногенных песков с убогим содержанием золота связывается со способностью части золота концентрироваться с использованием современных центробежных концентраторов. Для усовершенствования методологии геологического изучения техногенных образований на золото нами был использован «концентратный» метод опробования [1, 2]. При опробовании техногенных песков в схему пробоподготовки была включена операция гравитационного обогащения (один цикл) с использованием центробежного концентратора «ИТОМАК-0,1».

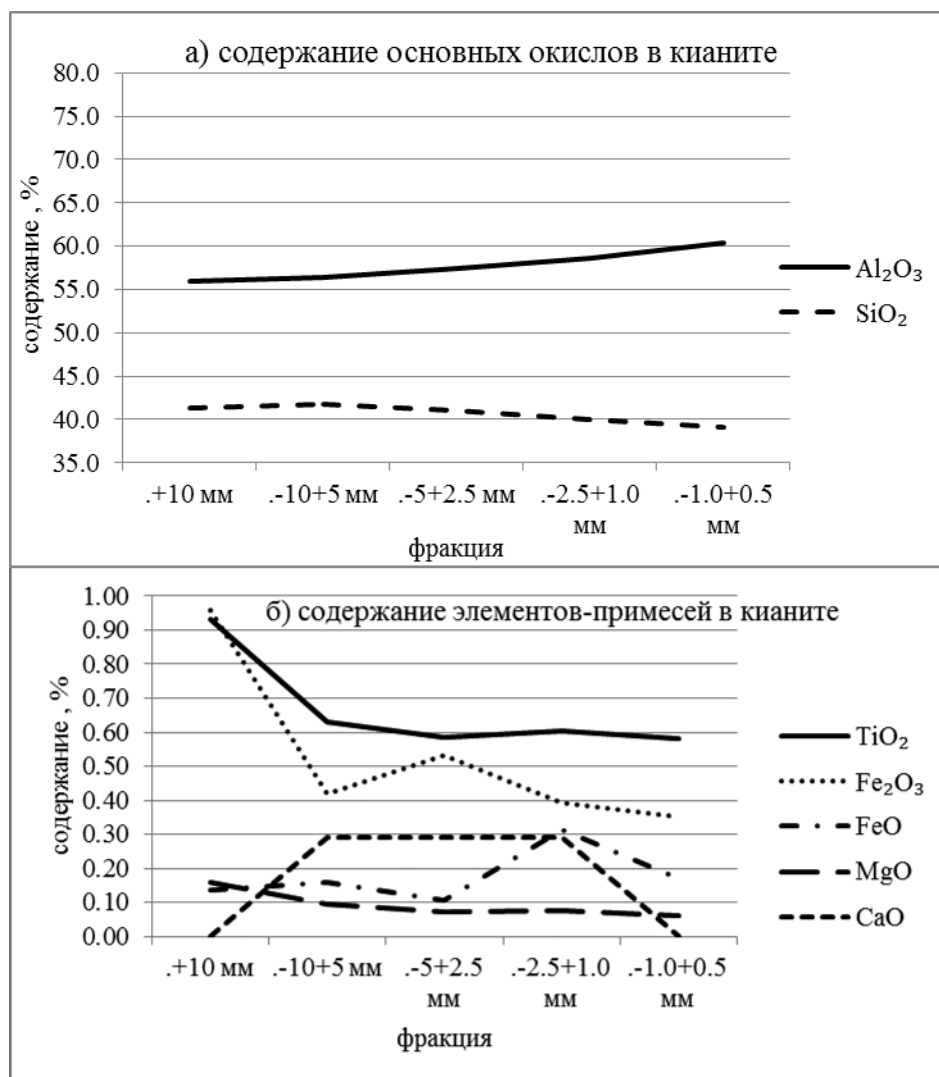
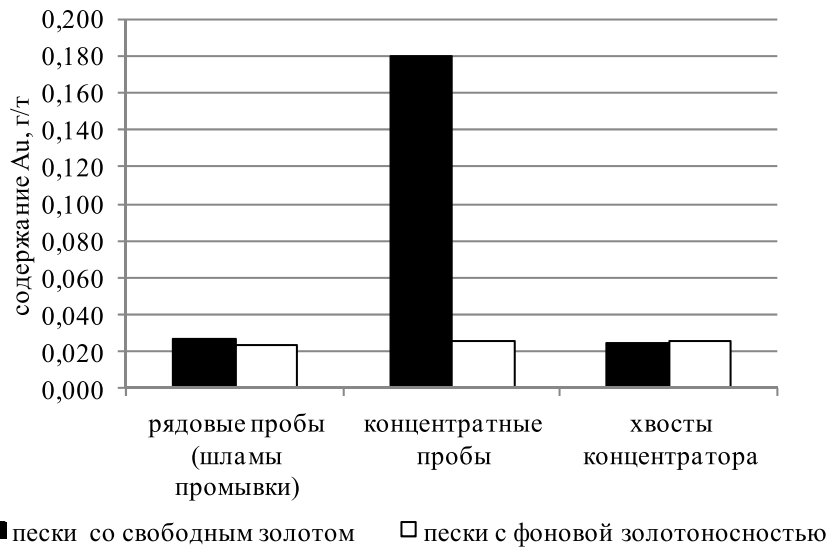


Рис. 1. Изменение содержания основных окислов  $Al_2O_3$  —  $SiO_2$  (а) и элементов — примесей (б) в монофракциях кианита разного фракционного состава



**Рис. 2.** Увеличение содержания извлекаемого золота в концентратных пробах из техногенных песков с фоновой убогой золотоносностью с использованием в процессе пробоподготовки лабораторного центробежного концентратора «ИТОМАК-0,1»



**Рис. 3.** Результаты спектрального анализа техногенных песков на 31 элемент проведенные по рядовым и концентратным пробам

Проведено опробование на золото по схеме: рядовая проба (шламы промывки) — концентратная проба — хвосты. Результаты опробования показали, что даже при убогих содержаниях валового золота в техногенных песках на уровне 0,02–0,03 г/т 55,2% проб обладают способностью к концентрации золота в продуктах обогащения (рис. 2), т. е. из техногенных песков с убогим содержанием золота возможно извлечение золотосодержащего концентрата — попутного «промпродукта» при добыче кианита.

Спектральный анализ исходных проб показал повышенные концентрации в техногенных песках элементов Cr, Mn, Ti, Zn, Ba, Zr, которые связываются нами с наличием в песках соответствующей рудной минерализации: Cr — хромит,

Mn — марганцевые минералы (пирролюзит, псиломелан), Ti — рутил и ильменит, Zn — сфалерит, Ba — барит и Zr — циркон. Использование «концентратного» метода опробования при изучении техногенных песков совместно со спектральным анализом на 31 элемент позволило выделить в них наиболее извлекаемые полезные элементы и связанные с ними минералы. Результаты спектрального анализа техногенных песков показывают увеличение содержаний Cr, Mn, Ti, Zn, Ba и Zr в концентрированных пробах (рис. 3), что говорит о возможном извлечении связанных с этими элементами минералов в концентраты.

Из этой группы элементов наибольший интерес представляет для нас Ti, который мине-

Таблица 4

## Основные технико-экономические показатели 1 очереди горно-обогатительного предприятия

Показатель	Единица измерения	За период эксплуатации
1. Показатели обогащения минерального сырья (для комплексных месторождений — по основному и сопутствующим полезным ископаемым и содержащимся в них компонентам):		
— выход кианитового концентрата	%	95
— извлечение попутных компонентов в товарную продукцию:		
—золотосодержащий концентрат (в пересчете на золото)	%	87
—рутиловый концентрат	%	95
2. Стоимость товарной продукции, общая и для каждого компонента		
— кианитовый концентрат	млн руб.	282,927
— золотосодержащий концентрат (в пересчете на золото)		65,068
— рутиловый концентрат		77,833
		140,025
3. Капитальные затраты, в т. ч.:	млн руб.	49,414
4. Оборотный капитал	млн руб.	15,0
5. Удельные капитальные затраты на 1 т годовой добычи	руб.	4023
6. Эксплуатационные затраты, в т. ч.:	млн руб.	100,725
— амортизация	млн руб.	26,684
— НДС	млн руб.	10,070
7. Затраты на 1 т полезного ископаемого, в т. ч.:	руб.	7791
8. Валовая прибыль	млн руб.	96,801
9. Налог на имущество и прочие платежи	млн руб.	2,9
10. Налогооблагаемая прибыль	млн руб.	102,215
11. Налог на прибыль	млн руб.	20,443
12. Чистая прибыль	млн руб.	78,462
13. Ставка дисконтирования	%	12
14. Чистый дисконтированный доход (NPV)	млн руб.	62,253
15. Индекс доходности (PI)	доли ед.	1,29
16. Срок окупаемости капитальных вложений	лет	1,4
17. Внутренняя норма доходности (IRR)	%	64
18. Бюджетная эффективность	млн руб	98,792

ралоогически представлен рутилом. По данным [6] стоимость рутилового концентрата в период с 2007 г. по 2011 г. выросла с 488 долл/т до 1400 долл/т, что делает коммерчески привлекательной попутную добычу рутила из техногенных песков.

На основании проведенных исследований была разработана принципиальная технологическая схема обогащения техногенных песков Андрее-Юльевского техногенного месторождения кианита [3].

В процессе геологической оценки промышленного потенциала Андрее-Юльевское техногенного месторождения кианита (Южный Урал) получены предварительные данные по технико-экономическим показателям эксплуатации 1

очереди горно-обогатительного предприятия производительностью по кианитовому концентрату 10 тыс. т /год (табл. 4)

Таким образом, в результате геологических исследований техногенных образований Андрее-Юльевского техногенного месторождения кианита использование в процессе работ «концентратного» метода опробования позволило выявить золотороссыпной потенциал техногенных песков с убогим содержанием золота и дополнительно выделить в качестве полезного компонента рутил. Комплексное использование полезных компонентов, содержащихся в техногенных песках Андрее-Юльевского месторождения значительно улучшит технико-экономические показатели эксплуатации.

## Список источников

1. Афанасенко С. И., Лазариди А. Н. Практика применения концентраторов «Итомак» для добычи мелкого, тонкого и связанного золота из техногенного сырья [Электронный ресурс]. URL: <http://www.itomak.ru>
2. Афанасенко С. И., Лазариди А. Н., Петров В. Г. Опыт использования центробежно-гравитационного аппарата «Итомак-0,1» при разведке золоторудного месторождения. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.itomak.ru>

3. Кианитовые руды России / Огородников В. Н., Коротеев В. А., Войтеховский Ю. Л. и др. — Екатеринбург : УрО РАН, 2012.

4. Небокситовое алюминиевое сырье России / Коротеев В. А., Огородников В. Н., Войтеховский Ю. Л. и др. Екатеринбург: УрО РАН, 2011, 227 с.

5. Развитие минерально-сырьевой базы России: освоение новых источников высокоглинозёмистого сырья. Минералы группы силлиманиты и пирофиллита, каолины, золы и др. — МГС / Коротеев В. А., Савичев А. Н., Перепелицын В. А. и др. // Проблемы минерагении России. — М.: ГЦ РАН, 2012. — С. 189-203.

6. U. S. GEOLOGICAL SURVEY: October 20, 2011 [Electronic resource]. URL: <http://www.usgs.gov/pubprod>

### Информация об авторах

**Коротеев Виктор Алексеевич** (Екатеринбург, Россия) — академик РАН, доктор геолого-минералогических наук, советник РАН, Институт геологии и геохимии УрО РАН (620151, г. Екатеринбург, ГСП-169, Почтовый пер., 7, e-mail: Koroteev@igg.uran.ru).

**Савичев Александр Николаевич** (Екатеринбург, Россия) — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, кафедра геологии, Уральский государственный горный университет (620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, e-mail: ansavichev@mail.ru).

**Огородников Виталий Николаевич** (Екатеринбург, Россия) — доктор геолого-минералогических наук, профессор, кафедра геологии, Уральский государственный горный университет (620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, e-mail: Vitaliy.Ogorodnikov@m.ursmu.ru).

**Поленов Юрий Алексеевич** (Екатеринбург, Россия) — доктор геолого-минералогических наук, профессор, кафедра геологии, Уральский государственный горный университет (620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30).

V. A. Koroteyev, A. N. Savichev, V. N. Ogorodnikov, Yu. A. Polenov

### Complex utilization of the useful components of the andree-yuljevskoe kyanite technogenic deposit (Southern Urals)

*Utilization of sillimanite group's minerals (kyanite, sillimanite, andalusite) in high-aluminiferous refractory industry with a purpose of following utilization in metallurgy to obtain silumine and aluminium by electrothermic method is impossible without new resources. A one of them is the Andree-Yuljevskaya group of kyanite-bearing technogenic objects. Technogenic deposits formed as a result of alluvial gold deposits' exploitation at the Southern Urals is an additional source of the complex mineral products. A concentration of minerals of the technogenic objects is higher than initial alluvial placers' one in n10-n1000 times. During the valuation of industrial potential of the Andree-Yuljevskaya technogenic deposit, (Southern Urals) a concentrate method of technogenic sands' sampling has been used which permits estimating a gold placers' potential of the technogenic objects with poor gold and rutile as a useful additional mineral has been distinguished. As a result of researches a principal technological scheme of technogenic sands' concentration permitting to obtain kyanite concentrates with content of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> of 55.5 (%) to 60.2 (%) — the main product and gold-bearing and rutile concentrates as additional products. Complex extraction of kyanite, gold, and rutile from technogenic objects has a commercial attraction of this type deposits' exploitation.*

**Keywords:** Andree-Yuljevskoye technogenic deposit, kyanite, gold, rutile, concentration scheme

### References

1. Afanasenko S. I., Lazaridi A. N. Praktika primeneniya kontsentratorov "Itomak" dlya dobychi melkogo, tonkogo i svyazannogo zolota iz tekhnogenogo syrya [Practice of use of Itomak concentrators for extraction of small, thin and connected gold from technogenic raw materials]. Available at: <http://www.itomak.ru>

2. Afanasenko S. I., Lazaridi A. N., Petrov V. G. Opyt ispolzovaniya tsentrobezno-gravitatsionnogo apparata "Itomak-0,1" pri razvedke zolotorudnogo mestorozhdeniya [Experience of use of the centrifugal and gravitational device «Itomak-0,1» at investigation of a gold field]. Available at: <http://www.itomak.ru>

3. Ogorodnikov V. N., Koroteyev V. A., Voytekhovskiy Yu. L. et al. (2012). Kianitovyie rudy Rossii [Kyanitic ore of Russia]. Yekaterinburg, UrO RAN [The Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Science].

4. Koroteyev V. A., Ogorodnikov V. N., Voytekhovskiy Yu. L. et al. (2011). Neboksitovoye alyuminiyevoye syryo Rossii [Neboksitovoye aluminum raw materials of Russia]. Yekaterinburg, UrO RAN [The Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Science]. 227.

5. Razvitiye mineralno-syryevoy bazy Rossii: osvoyeniye novykh istochnikov vysokoglynozyomistogo syrya. Mineraly gruppy sillimanity i pirofillity, kaoliny, zoly i dr. — MGS [Development of Russia' mineral resources: development of new sources of high-aluminous raw materials. Group minerals as sillimantites and pyrophyllite, kaolins, ashes, etc. — MGS]. Problemy mineragenii Rossii [Russia's minera-geniya problems]. Moscow, GTs RAN [Sciences Geophysical center of RAS], 189-203.

6. U. S. GEOLOGICAL SURVEY: October 20, 2011. Available at: <http://www.usgs.gov/pubprod>

### Information about the authors

**Koroteyev Viktor Alekseyevich** (Yekaterinburg, Russia) — Academission of the RAS, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Adviser of RAS, Ural Branch of the Russian Academy of Science (620151, Yekaterinburg, GSP-169, Pochtovy lane 7, e-mail: Koroteev@igg.uran.ru).

**Savichev Aleksandr Nikolayevich** (Yekaterinburg, Russia) — PhD in Geological and Mineralogical Sciences, Senior Research Scientist, Chair of Geology, Ural State Mining University (620144, Yekaterinburg, Kuybysheva st. 30, e-mail: ansavichev@mail.ru).

**Ogorodnikov Vitaliy Nikolaevich** (Yekaterinburg, Russia) — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Chair of Geology, Ural State Mining University (620144, r. Yekaterinburg, Kuybysheva st. 30, e-mail: Vitaliy.Ogorodnikov@m.ursmu.ru).

**Polenov Yuriy Alekseyevich** (Yekaterinburg, Russia) — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Chair of Geology, Ural State Mining University (620144, Yekaterinburg, Kuybysheva st. 30).