

УДК 553.41

DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-3-459-474

## МИНЕРАЛОГИЯ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АВЗЯНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО РАЙОНА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2018 г. Е. Е. Паленова<sup>1</sup>, К. А. Новоселов<sup>1</sup>, Е. В. Белогуб<sup>1</sup>, И. А. Блинов<sup>1</sup>, С. Д. Григорьева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт минералогии УрО РАН, 456317, Челябинская обл., г. Миасс, Ильменский заповедник,  
e-mail: palenova@mineralogy.ru

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9,  
Поступила в редакцию 21.07.2017 г., принята к печати 18.10.2017 г.

Охарактеризована минералогия россыпей водотоков бассейна р. Бол. Авзян. Проведено сопоставление с минеральным и химическим составом коренных проявлений золота Горный Прииск, Богряшка и Улюк-Бар. Особое внимание уделяется характеристике фосфатов редкоземельных элементов – монацита и ксенотима. Сделано предположение об их формировании в стадию катагенеза и/или метаморфизма.

**Ключевые слова:** Башкирский мегантиклинорий, углеродисто-терригенные формации, золоторудные месторождения, Горный Прииск, Богряшка, Улюк-Бар, монацит, ксенотим

## MINERALOGY OF ALLUVIAL SEDIMENTS OF AVZYAN GOLD REGION (THE SOUTHERN URALS)

Ekaterina E. Palenova<sup>1</sup>, Konstantin A. Novoselov<sup>1</sup>, Elena V. Belogub<sup>1</sup>,  
Ivan A. Blinov<sup>1</sup>, Svetlana D. Grigor'eva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Mineralogy Ural Branch of RAS, Ilmeny Reserve, Chelyabinsk district, Miass, 456317, Russia,  
e-mail: palenova@mineralogy.ru

<sup>2</sup>St. Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russia

Received 21.07.2017, accepted 18.10.2017

*Introduction.* The Avzyan gold region is located within the Bashkirian anticlinorium and includes lode gold deposits and placers. The Gorny Priisk, Bogryashka and Ulyuk-Bar gold deposits are hosted in the Riphean metamorphosed carbonaceous sequence. The article describes the mineralogy of the heavy concentrates from alluvial sediments of the streams of Bolshoy Avzyan basin which drains the Gorny Priisk, Bogryashka and Ulyuk-Bar gold ore deposits. The comparison of mineralogical and chemical feature of the studied heavy concentrates is done. *Samples and Methods.* Samples from the streams were collected every 50–100 m. Hand specimens of ore and host rocks from the lode gold deposits were collected from outcrops and dumps. The content of metals in the heavy concentrates estimated using X-ray fluorescence analyzer Innov-X alfa. Chemical composition of the accessory minerals was studied using electron microscope Vega-3 Tescan with EDA X-Act Oxford. *Discussion and Results.* The source of the alluvial sediments was the lode gold deposits located in the immediate vicinity of placers. Heavy concentrates of the Kamenny stream are characterized by a high content of As and Cu while ones of the Bogryashka and Bolshoy Klyuch streams show a high content of Cr and Ba. Goethite is major ore mineral for all studied samples. Ilmenite, rutile, epidote and barite are also widespread in the samples from the Bogryashka and Bolshoy Klyuch streams. Native gold is present in the sediments of all studied stream. The greatest number of gold grains was found in the samples from the Bolshoy Klyuch stream. The weak roundness of the golds and the presence of unoxidized sulfides (pyrite, chalcopyrite and pyrrhotite) indicate a relatively small age of placers. Monazite and xenotime morphology suggests autigenic catagenetic and/or metamorphic origin. Monazite contains (apfu) Ce (0.27–0.56), Nd (0.10–0.37) and La (0.09–0.33), minor Pr, Sm, Gd, Eu and Dy; ThO<sub>2</sub> up to 9.78 wt. % (0.08 apfu). It is similar with monazite composition from other streams of the east part of the Bashkirian anticlinorium and can be evidence of their similar origin. Xenotime contains major Gd, Dy and Er and minor Tb and Ho. Xenotime from the Bogryashka stream is characterized by the increased concentration of (apfu) Gd (0.10–0.24), Nd (0.01–0.02), Sm (0.03–0.06), Eu (0.02–0.06) and absence of Ho and Yb. Xenotime composition from the Kamenny and Bolshoy Klyuch streams is similar with ones from east part of the Bashkirian anticlinorium. Galena inclusions in REE phosphates, monazite inclusions in goethite and xenotime inclusions in pyrite can be evidence about similar conditions and time of formation gold-sulfide and REE mineralization.

**Keywords:** Bashkirian anticlinorium, Gorny Priisk, Bogryashka and Ulyuk-Bar deposits, gold, placers, carbonaceous clastic formations, monazite, xenotime

**Для цитирования:** Паленова Е.Е., Новоселов К.А., Белогуб Е.В., Блинов И.А., Григорьева С.Д. (2018) Минералогия аллювиальных отложений Авзянского золоторудного района (Южный Урал). *Литосфера*, **18**(3), 459–474. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-3-459-474

**For citation:** Palenova E.E., Novoselov K.A., Belogub E.V., Blinov I.A., Grigor'eva S.D. (2018) Mineralogy of alluvial sediments of Avzyan gold region (the Southern Urals). *Litosfera*, **18**(3), 459–474. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-3-459-474

### Acknowledgements

The authors are grateful to S.G. Kovalev (IG UScC RAS) for valuable advices and the opportunity to work with a collection of rare earth phosphates from alluvial deposits of the Bashkirsky anticlinorium.

*The work is supported by RFBR, research project No. 16-05-00580a, and budget topic of the Institute of Mineralogy UB RAS No. AAAA-A16-116021010244-0.*

## ВВЕДЕНИЕ

Месторождения золота, залегающие в углеродистых терригенных и карбонатно-терригенных толщах, занимают одну из ведущих позиций в мировом балансе этого металла. Это обусловлено распространением потенциально рудоносных комплексов в разновозрастных складчатых поясах и масштабами локализованных в них месторождений. В России значительные запасы золота приурочены к отложениям Енисейской, Байкало-Патомской и Южно-Верхоянской провинций [Беневольский и др., 2007; Иванов, 2014]. Разновозрастные черносланцевые комплексы Южного Урала также вмещают ряд перспективных золотых месторождений и проявлений, к которым относятся и объекты Башкирского мегантиклинория, в том числе Авзянский золоторудный район [Сазонов и др., 1999; Сначев и др., 2012; Арифулов и др., 2013].

Авзянский золоторудный район расположен в осевой части Башкирского мегантиклинория. Объекты исследования – рудопроявления Горный Прииск, Богряшка и Улюк-Бар и прилегающие к ним аллювиальные россыпи – приурочены к Ямантаускому антиклинорию, который сложен породами бурзянской и юрматинской серий рифейского стратона. Раннерифейские отложения, залегающие в основании разреза и широко распространенные в сводовой части антиклинория, представлены большеинзерской, суранской и юшинской свитами. Более молодые среднерифейские породы машакской, зигальгинской, зигазино-комаровской и авзянской свит слагают крылья антиклинория.

На р. Бол. Авзян и его правых притоках Богряшка, Бол. Ключ, Кургашля, Ирля разрабатывались аллювиальные русловые и террасовые золотоносные россыпи. Россыпь Кургашля одна из наиболее крупных, имела длину 3000 м и ширину от 20 до 200 м. Мощность золотоносного пласта 1.4–2.0 м. Содержание золота в средней части россыпи 2–2.5, в нижней – 1–1.2 г/м<sup>3</sup>. Встречались самородки массой 500–1000 г. Другие россыпи Авзянского района по содержанию золота близки к россыпи Кургашля, за исключением россыпи Бол. Ключ, где встречались отдельные гнезда с содержанием золота до 75 г/м<sup>3</sup>. Всего до 1943 г. в Авзянском районе было добыто 1840.2 кг россыпного золота. В настоящее время россыпи в значительной степени отработаны [Геологическая карта..., 1967].

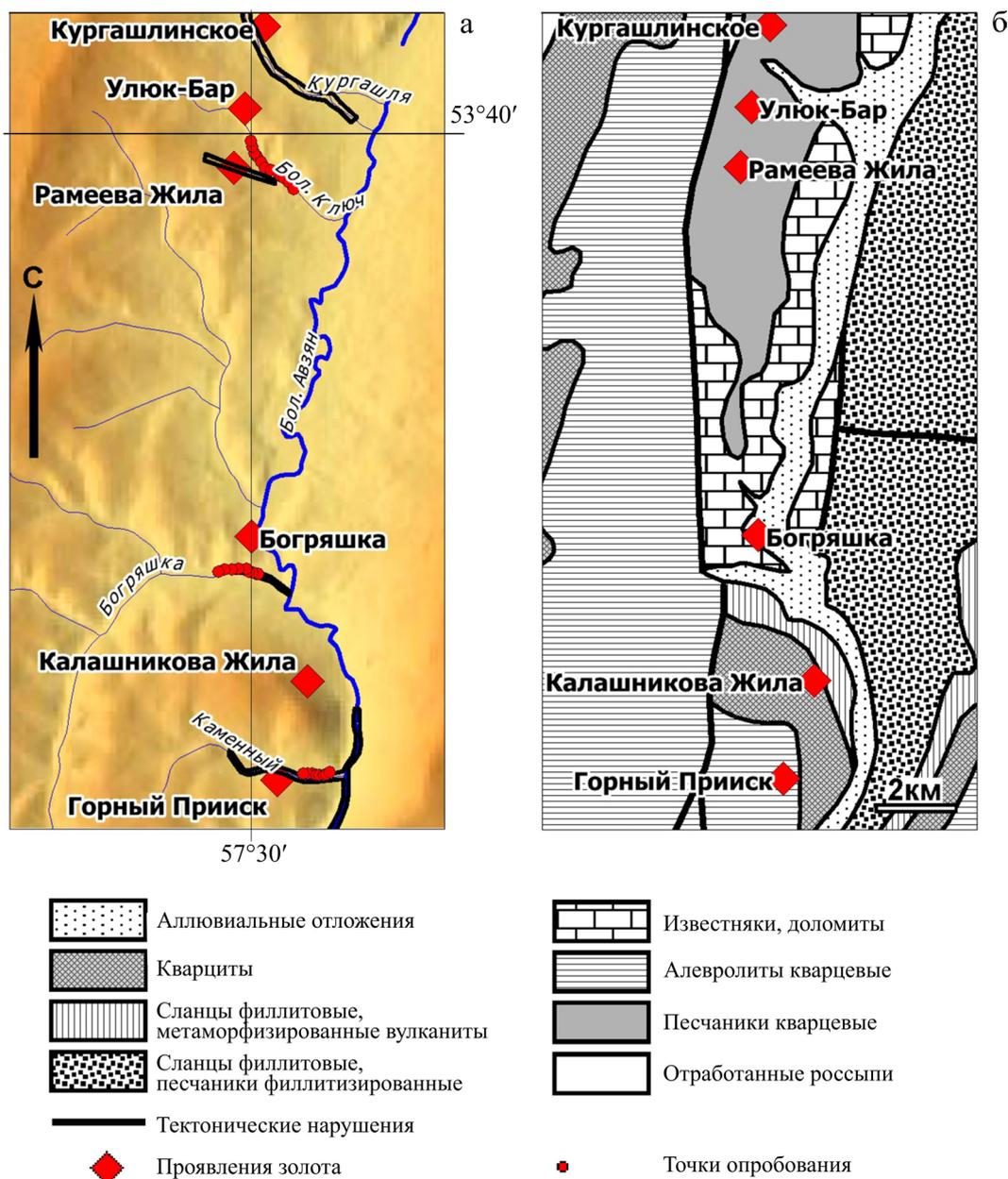
Рельеф района денудационный структурно-литоморфный. Наблюдается зависимость рельефа от тектоники и литологии. Морфология низкогорная, субмеридиональные повышения субпараллельны простирацию самого высокого в регионе Большого Шатакского хребта и связаны с распространением антиклиналей. Понижения рельефа и расположение речных долин обусловлены тектоническими нарушениями. Речные террасы имеют эрозионный и эрозионно-аккумулятивный характер. Считается, что речная сеть приобрела современный облик в нижнечетвертичный этап [Геологическая карта..., 1967].

Работа посвящена характеристике минерального состава аллювиальных отложений водотоков бассейна р. Бол. Авзян (руч. Каменный, Богряшка, Бол. Ключ), которые дренируют рудопроявления золота Горный Прииск, Богряшка и Улюк-Бар соответственно. Цель работы состояла в выявлении типоморфных особенностей акцессорной минерализации, в том числе редкоземельной, которая может являться индикатором условий формирования золотого оруденения.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа выполнена в Институте минералогии УрО РАН на материале, отобранном авторами при полевых исследованиях 2014 г. Шлиховое опробование аллювиальных отложений водотоков бассейна р. Бол. Авзян проводилось с шагом 50–100 м (рис. 1а). Всего отобрано 29 шлиховых проб объемом 5 л: 8 – руч. Каменный, 9 – руч. Богряшка, 12 – руч. Бол. Ключ. Отмывка до серого шлиха проводилась в полевых условиях. Серый шлик доводился в бромформе ( $\rho = 2.9 \text{ г/см}^3$ ). Тяжелый концентрат просматривался под бинокулярным микроскопом (Stemi 2000-C, Carl Zeiss), полированные препараты – в поляризационном микроскопе Axioscope A1 (Carl Zeiss). Вариации содержания основных металлов в черном шлихе оценивались с помощью рентгенофлуоресцентного анализатора (РФА, портативный прибор Innov-X alpha, калибровка по стандартному образцу).

Штуфное и сколковое опробование коренных обнажений и отвалов в районах рудопроявлений Горный Прииск, Богряшка и Улюк-Бар проводилось в целях сопоставления минерального и химического состава потенциально золотоносных



**Рис. 1.** Точки опробования и проявления золота на карте рельефа (а) и схематической геологической карте (б) [Геологическая карта..., 1967, с упрощением] Авзянского золотоносного района.

**Fig. 1.** Sampling points and gold deposits on relief map (а) and on schematic geological map (б) [Geologicheskaya karta..., 1967, with simplification] of the Avzyan gold-bearing area.

пород с составом аллювиальных отложений размывающих их водотоков. Для изучения штучных образцов был применен комплекс оптико-микроскопических методов. Сколковые пробы (масса 1.5–5 кг) использовались для выявления и диагностики аксессуарных минералов в тяжелом концентрате, полученном дроблением, отмывкой и доводкой в бромформе, и для определения состава и содержания редких и редкоземельных элементов с помощью ИСП-МС (спектрометр Agilent

X7700, калибровка по стандартным растворам, аналитик К.А. Филиппова).

Микроструктурные особенности и состав аксессуарных минералов исследованы на электронном микроскопе Vega-3 Tescan с энергодисперсионной приставкой EDA X-Act Oxford (аналитик И.А. Блинов). Используются эталоны MINM-25-53 фирмы “ASTIMEX Scientific Limited” (стандарт № 01-044) и стандарт № 1362 фирмы “Microanalysis Consultants Ltd.”.

**Таблица 1.** Содержание микропримесей в породах с площади месторождений Горный Прииск, Богряшка и Улюк-Бар, г/т  
**Table 1.** Trace elements content in the rocks from the Gorny Priisk, Bogryashka and Ulyuk-Bar deposits, ppm

Элемент	Горный Прииск					Богряшка		Улюк-Бар		
	90167г	90167е	90167п	3163-7а	90167в	3163-6а	3162-0	90168б	90168в	90168г
	Кварцевый песчаник			Глинистый сланец		Жильный кварц	Доломит	Кварц-ПШ песчаник		Сланец
Be	1.02	0.125	0.28	1.31	4.66	0.37	0.149	0.48	0.72	2.95
Cs	1.41	0.150	0.30	2.41	3.62	0.52	0.135	1.23	1.43	4.95
Sc	6.98	1.62	2.49	10.6	18.7	1.54	0.69	3.39	2.65	12.8
Li	24.7	26.3	14.3	7.99	26.1	2.51	4.62	10.5	9.93	35.5
Rb	51.3	1.93	14.2	93.6	140	13.2	5.20	26.7	38.8	138
Ti	433	151	184	723	950	120	39.0	254	280	1109
V	56.9	6.17	33.8	76.2	120	15.8	5.59	22.8	17.7	95.2
Zr	93.6	49.4	42.7	103	114	11.9	5.79	49.5	37.9	116
Y	8.18	3.29	3.90	9.26	13.5	1.70	2.05	4.40	3.58	6.87
Th	6.64	3.44	2.10	6.19	9.22	0.97	0.77	5.19	3.61	11.0
U	1.38	0.86	0.77	1.57	2.14	0.34	0.46	0.69	0.91	1.12
Ge	1.44	1.23	0.83	1.91	2.48	0.60	0.43	1.16	0.84	1.39
Hf	2.52	1.24	1.02	2.77	3.02	0.30	0.22	1.27	0.98	3.21
Mo	0.48	1.45	1.12	0.65	4.53	7.10	Н.о.	0.191	0.40	0.74
Tl	0.196	Н.о.	0.022	0.30	0.55	0.043	—”	0.096	0.166	0.53
Ta	1.96	—”	Н.о.	0.31	4.84	Н.о.	0.36	Н.о.	Н.о.	0.130
Nb	1.02	1.16	0.203	0.81	1.54	0.032	0.71	0.22	0.183	1.01
W	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.81	0.24	Н.о.	Н.о.	0.23	0.024	0.35
Te	—”	0.34	0.119	0.110	0.053	—”	—”	Н.о.	Н.о.	Н.о.
Se	—”	Н.о.	Н.о.	0.61	1.40	—”	—”	—”	—”	—”
Σ REE	79.57	39.27	35.21	111.85	99.62	25.87	14.56	51.73	41.79	78.36
La/Yb	16.64	18.61	15.05	17.68	8.70	26.47	17.14	20.02	17.29	16.06

Примечание. Н.о. – ниже предела обнаружения.

Notes. Н.о. – below limit of detection.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Авзянское золоторудное поле относится к метаморфогенно-гидротермальным [Сазонов и др., 1999], существует также предположение о связи первичных концентраций металлов с гидротермально-осадочными процессами [Арифуров и др., 2013]. Промышленные залежи прожилково-вкрапленных золотосульфидных руд выявлены в черносланцевых терригенных и карбонатно-терригенных отложениях бурзянской серии (большеинзерская, суранская свиты) и карбонатно-терригенных отложениях юрматинской серии (зигазино-комаровская свита) [Сначев и др., 2012; Арифуров и др., 2013]. Собственно черносланцевые породы золотоносны в зонах влияния разрывных нарушений (рис. 16) [Сазонов и др., 1999; Сначев и др., 2012].

Рудопоявление **Горный Прииск** является наиболее крупным объектом на рассматриваемой территории. Оно расположено в тектоническом блоке, ограниченном с запада Караташским и с востока Большеавзянским субмеридиональными разломами [Сначев и др., 2012] (см. рис. 16). Рудопоявление локализовано в породах сeregинской под-свиты зигазино-комаровской свиты, в размещении

стратифицированных золотоносных залежей существенную роль играют складчатые дислокации [Арифуров и др., 2013].

Вмещающие кварцевые и кварцитовидные песчаники и серицитовые сланцы метаморфизованы в условиях серицит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации, локально проявлен динамометаморфизм. Песчаники с серицит-хлоритовым и кварц-хлоритовым цементом содержат пылеватую вкрапленность углеродистого вещества; песчаники с серицитовым цементом и серицитовые сланцы – тонкоигольчатые выделения рутила без примеси углеродистого вещества. Типичные акцессорные минералы – циркон и турмалин, встречаются апатит, обломки рутила, сфен.

Золоторудная минерализация локализуется в зонах северо-восточного простирания, в которых можно выделить линзовидно-пластовый, прожилковый и жильный типы рудных тел. Первый тип представлен вкрапленностью пирита в алевропелитах и песчаниках, иногда совместно с арсенопиритом, пирротинном, халькопиритом. Содержание золота не превышает 2–4 г/т [Сначев и др., 2012]. Прожилково-вкрапленная золото-полисульфидно-карбонат-кварцевая минерализация сосредоточена в зонах рассланцевания. Золото-карбонат-кварце-

вые жилы выполняют трещины отрыва, сопряженные с зонами расланцевания. Сульфиды в жилах представлены пиритом и арсенопиритом, реже халькопиритом, галенитом, сфалеритом. Содержание золота достигает  $n \times 10$  г/т. С разрушением жил связаны золотоносные россыпи [Арифуров и др., 2013].

В минеральном составе вкрапленных руд абсолютно преобладает пирит, иногда присутствуют арсенопирит и пирротин, значительно реже – халькопирит. Содержание золота не превышает 2–4 г/т. В кварцевых жилах сульфиды представлены пиритом и арсенопиритом, реже халькопиритом, галенитом, сфалеритом. Самородное золото приурочено к прожилкам и вкрапленности пирита и арсенопирита, зальбандам жил [Сначев и др., 2012]. В тяжелой фракции, кроме перечисленных минералов, встречен магнетит, частично замещенный гематитом. Самородное золото образует мелкие (до 30 мкм) зерна, пластинки и проволоочки.

Содержание редких и редкоземельных элементов в пробах, отобранных из пород и кварцевой жилы рудопроявления Горный Прииск, в целом низкое (табл. 1) и значительно ниже кларка “черных сланцев” [Юдович, Кетрис, 1994]. Исключение составляют Be, Sc, Rb и Ta, содержание которых в отдельных пробах в несколько раз превышает кларковые (рис. 2а). Наименьшие концентрации микропримесей характерны для кварцевой жилы и кварцита, относительно более высокие – для серицитовых сланцев.

Содержание РЗЭ увеличивается от кварцевых жил и кварцитов к серицитовым сланцам. Спектры распределения РЗЭ, нормированные по хондриту [Балашов, 1976], характеризуются отрицательным наклоном и отчетливо проявленным минимумом Eu (Eu/Eu\* = 0.71–0.86) (рис. 2б). В серицитовых сланцах могут наблюдаться повышенные концентрации тяжелых РЗЭ. Вероятно, это связано с кристаллохимическими особенностями исходных глинистых минералов [Юдович, Кетрис, 1994].

Шлиховое опробование проводилось в русле руч. Каменный, в левом борту которого располагаются многочисленные шурфы, вскрывающие минерализованные зоны рудопроявления Горный Прииск. Устье руч. Каменный представляет собой перемытую россыпь, высота искусственной террасы достигает 20 м. Долина ручья узкая, с довольно крутыми залесенными склонами. Русло частично заболочено.

В химическом составе шлиховых проб, по данным РФА, преобладают Fe (>10%) и Ti, а также содержится значительное количество As (871–1504 г/т) и Cu (172–861 г/т) (табл. 2). Постоянное присутствие этих элементов существенно отличает аллювиальные отложения руч. Каменка от отложений других изученных водоотоков.

Основу тяжелого концентрата составляют гетит и лимонитизированные обломки пород (более

**Таблица 2.** Оценка содержания металлов в тяжелой фракции шлиховых проб из отложений ручьев Каменный (1–8), Богряшка (9–17), Бол. Ключ (18–29)

**Table 2.** Estimation of the metals content in the heavy concentrates from the sediments of Kamenny (1–8), Bogryashka (9–17), Bolshoy Klyuch (18–29) streams.

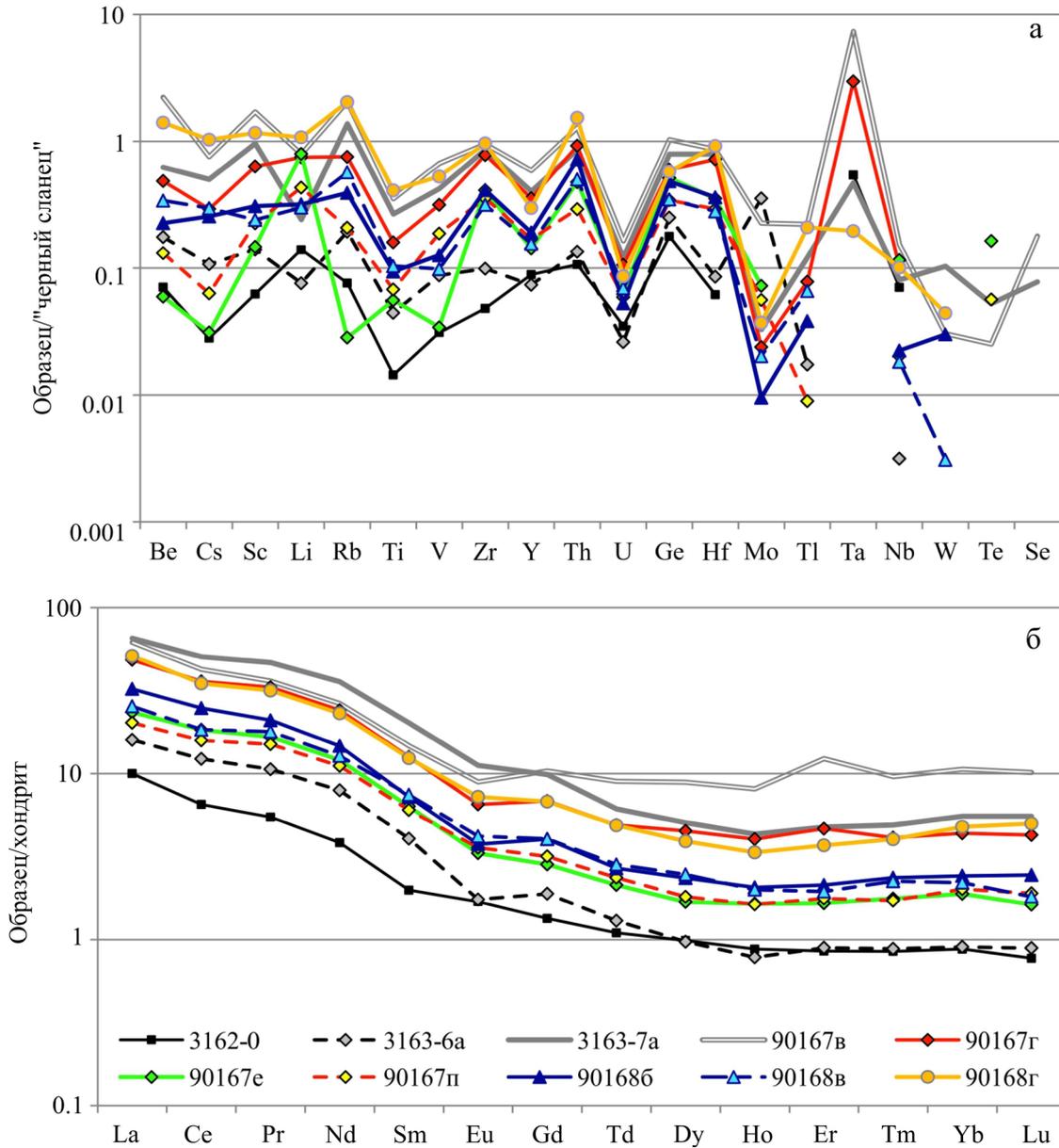
№ п/п	Выход, г/м <sup>3</sup>	Ti Mn Cr Ba					Cu Zn Pb As Zr				
		мас. %					г/т				
1	12.2	2	–	–	–	215	–	249	987	264	
2	11.4	5	–	0.2	0.5	218	76	284	458	1177	
3	10.6	2	–	–	–	289	112	359	1504	329	
4	5.2	4	0.2	–	–	861	101	340	992	365	
5	5.4	3	–	–	–	242	–	255	1448	530	
6	3.8	4	–	–	–	431	117	348	1359	667	
7	26.4	3	0.2	–	–	172	123	387	871	629	
8	9.4	3	–	–	–	229	–	438	1148	402	
9	36.4	6	1.8	–	–	–	–	510	–	181	
10	11.2	2	0.4	0.3	1.0	–	112	105	–	1220	
11	17.2	>10	2.2	0.5	0.5	–	–	374	197	624	
12	6.0	8	3.7	–	0.4	–	–	333	–	333	
13	8.2	>10	2.1	–	–	–	–	492	281	204	
14	3.0	9	0.5	0.1	0.4	–	117	79	–	299	
15	1.2	6	0.1	0.1	–	–	23	20	–	188	
16	11.0	>10	1.8	1.1	0.9	–	167	227	–	421	
17	10.0	>10	0.7	1.0	1.9	–	192	339	–	2182	
18	10.8	>10	0.5	0.2	0.7	–	227	322	–	4622	
19	8.8	>10	0.6	0.3	0.9	–	186	370	–	3071	
20	6.2	>10	0.2	–	0.7	–	185	286	137	1924	
21	10.8	>10	0.3	0.2	1.0	–	222	229	–	3038	
22	14.4	>10	0.6	0.3	1.3	–	284	205	118	8137	
23	9.6	>10	0.4	0.3	0.6	–	205	469	–	2404	
24	4.8	>10	0.5	0.2	0.5	–	205	305	–	4832	
25	27.0	>10	0.3	0.6	1.2	–	139	477	–	4690	
26	31.6	>10	0.6	0.2	0.6	–	–	489	–	2157	
27	11.0	>10	0.4	0.2	0.5	–	–	392	–	2675	
28	9.4	>10	0.5	0.2	0.7	–	214	236	–	5202	
29	4.4	>10	0.5	0.4	–	–	215	215	–	9501	

Примечание. Здесь и в табл. 3 и 4: прочерк – ниже предела обнаружения.

Note. Here and in tables 3, 4: dash – below limit of detection.

90 об. %). Также присутствуют пирит и магнетит, в одной пробе встречено три пластинки золота. Типичные нерудные минералы – циркон, турмалин, более редки эпидот, апатит, гранат, зеленый амфибол. Редкоземельная минерализация представлена монацитом и ксенотимом (единичные находки).

Рудопроявление **Богряшка** находится в 4 км севернее Горного Прииска в долине одноименного ручья. Залегает в карбонатно-терригенных отложениях миньянской подсвиты суранской свиты. Рудноносный литолого-стратиграфический уровень представлен грубослоистыми доломитами с песчано-глинистыми прослоями. Выше по разрезу они сменяются углеродистыми сланцами, алевролитами и песчаниками. Верху суранской свиты сложены доломитизированными известняками, доломитами с



**Рис. 2.** Распределение редких и редкоземельных элементов в породах изученных участков.  
а – нормировано по кларку “черных сланцев” по [Юдович, Кетрис, 1994], б – нормировано по хондриту по [Балашов, 1976]. Номера проб соответствуют номерам в табл. 1.

**Fig. 2.** Distribution of the rare and rare earth elements in the rocks of studied sites.  
а – normalized to clark of a “black shales” after [Yudovich, Ketris, 1994], б – normalized to chondrite after [Balashov, 1976]. Numbers of samples correspond to numbers in Table 1.

прослоями известковистых сланцев и магнезитов. Рудовмещающие отложения интенсивно дислоцированы, смяты в изоклинальные складки [Арифуров и др., 2013]. В районе рудопоявления известны дайки роговообманковых диабазов лапыштинского комплекса [Мичурин, Шарипова, 2015].

Светло-серые мелкозернистые доломиты выходят на поверхность в виде гряд с отчетливым напластованием и плитчатой отдельностью. Поро-

ды содержат небольшую примесь обломков кварца и мусковита. Содержание микропримесей (см. табл. 1, рис. 2а) значительно ниже, чем в терригенных породах, вмещающих Горный Прииск, и ниже кларка “черных сланцев”, в том числе углеродистых карбонатных пород [Юдович, Кетрис, 1994]. Спектр распределения РЗЭ имеет отрицательный наклон, аномалии распределения Eu и Ce не наблюдаются (см. рис. 2б).

Золотоносная вкрапленная сульфидная минерализация приурочена к зоне метасоматических изменений доломитов, проявленных в окварцевании и образовании магнезиально-железистых карбонатов. В измененных доломитах и сланцах развита штокверкоподобная сеть кварцевых прожилков с вкрапленностью халькопирита, пирита, арсенипирита, реже блеклых руд. Содержание золота коррелируется с концентрацией сульфидов, среднее содержание составляет 0.2–0.8, редко до 2.0 г/т [Коньшев и др., 1985], в прожилках достигают  $n \times 10$  г/т [Арифуров и др., 2013].

Нами опробованы аллювиальные отложения руч. Богряшка, к которому приурочена долинная россыпь с содержанием золота 1.2 г/м<sup>3</sup> при мощности золотоносного пласта 1.6 м. За время эксплуатации в 1940-х гг. здесь было добыто около 100 кг золота, россыпь до конца не отработана [Мичурин, Шарипова, 2015].

В левом борту ручья наблюдаются отдельные скальные выходы серых мелкозернистых доломитов. В обоих бортах встречаются заросшие и оплывшие шурфы и траншеи. Русло ручья галечное, в отдельных участках – крупногалечное и глыбовое, в нижнем течении перемыто. Верхнее течение ручья заболоченное, опробование в этом районе не проводилось.

По данным РФА, в химическом составе шлиховых концентратов преобладают Fe, Ti и Mn, наблюдается высокое содержание Cr (до 11263 г/т), Ba (до 18 550 г/т), в отдельных пробах – Zr (до 2182 г/т), эпизодически присутствует As (см. табл. 2).

В тяжелом концентрате проб преобладают гетит и ильменит (более 60 об. %), широко распространены эпидот, рутил, анатаз(?) (10–30 об. %). Также присутствуют магнетит, гематит и хромит, из сульфидов – пирит и халькопирит, редко – пирротин. В двух пробах обнаружены пластинки самородного золота. Из нерудных, кроме эпидота, встречаются циркон, гранат, барит, зеленый амфибол. Редкоземельная минерализация представлена монацитом и ксенотимом (единичные находки).

Рудопроявление **Улюк-Бар** расположено в зоне Караташского надвига среди песчано-сланцевых отложений большеинзерской свиты, подвергшихся интенсивной складчатости и прорванных дайками габбро-диабазов. Оруденение представлено кварцевыми жилами или сериями жил, локализованными в зонах интенсивного рассланцевания и смятия серицит-полевошпат-кварцевых песчаников [Сначев и др., 2012]. Наряду с жильно-штокверковой золото-сульфидно-кварцевой минерализацией отмечаются реликты вкрапленности диагенетического пирита с повышенным содержанием Au, Ag, As, Cu, Zn [Арифуров и др., 2013].

В пределах рудопроявления вмещающие кварцевые и полевошпатовые песчаники с кварцмусковитовым цементом, углеродисто-глинистые

сланцы и известняки большеинзерской свиты метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации. Углеродистое вещество в сланцах распределено послойно, его содержание не превышает 1 об. %. Акцессорные минералы песчаников – циркон, рутил, турмалин, сланцев – рутил.

Состав и содержание микропримесей в песчаниках и сланцах сопоставимо с таковым в породах, вмещающих Горный Прииск (см. табл. 1, рис. 2а). Концентрации элементов ниже кларка “черных сланцев” [Юдович, Кетрис, 1994] или находятся на околокларковых значениях. Спектр распределения РЗЭ имеет отрицательный наклон, наблюдается слабый Eu минимум (см. рис. 2б).

Рудная зона представлена кварцевыми жилами, штокверками и прожилково-вкрапленной золото-сульфидной минерализацией. В золотоносных породах присутствуют пирит, арсенипирит, халькопирит, галенит, сфалерит, самородное золото [Сначев и др., 2012].

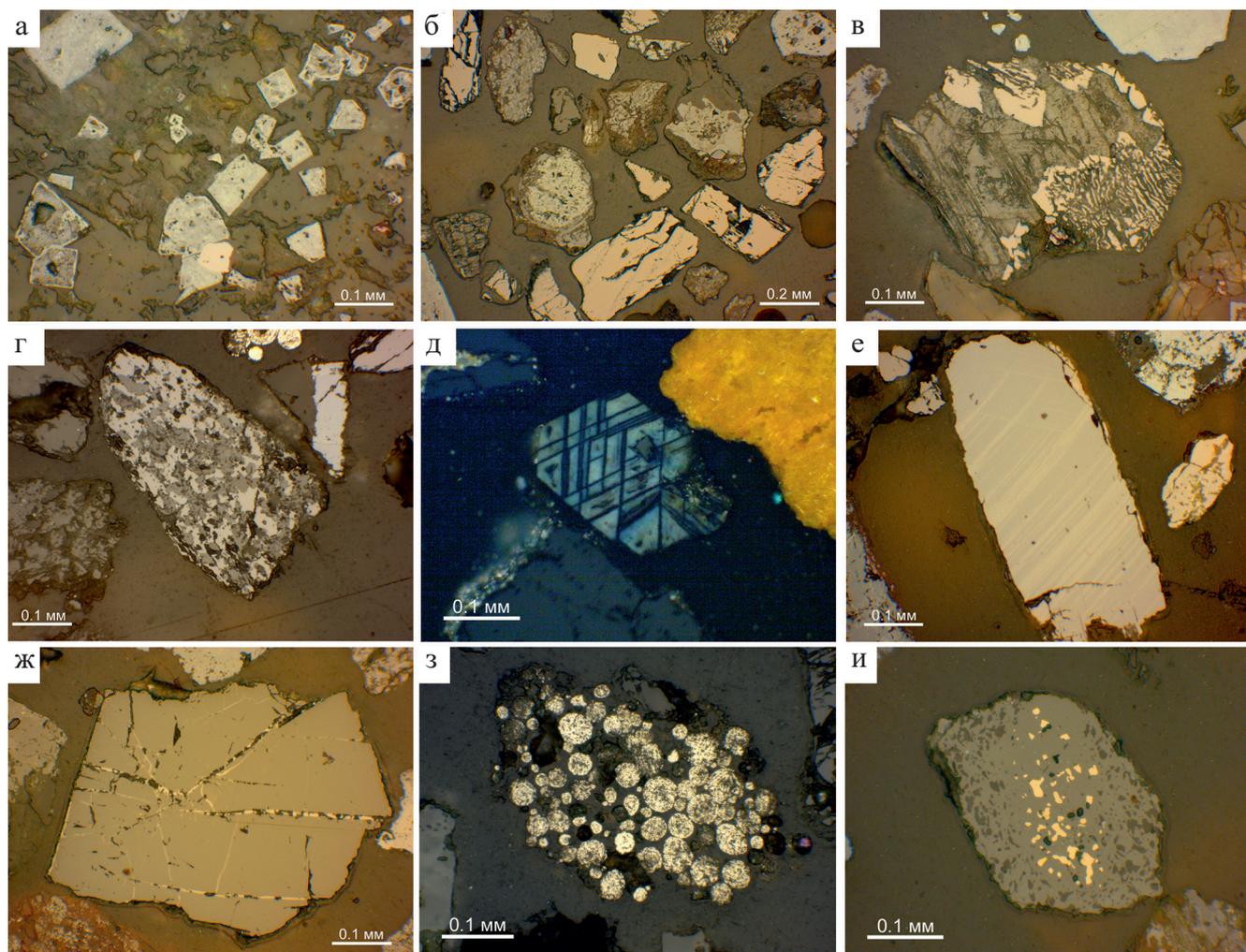
Нами опробованы аллювиальные отложения руч. Бол. Ключ. Берег ручья зарос кустарником, русло песчано-галечное. Материал отбирался из русла и естественных кос.

В составе тяжелого концентрата шлиховых проб, по данным РФА, преобладают Fe и Ti, отмечаются стабильно высокие концентрации Ba и Cr, а также Zr, последнее не характерно для отложений руч. Каменный и Богряшка (см. табл. 2).

В минеральном составе тяжелой фракции шлиховых проб преобладают гетит, ильменит, магнетит, рутил (более 70 об. %), распространены эпидот и циркон (10–20 об. %). По ильмениту и магнетиту развивается гематит. Пирит редок. К типичным акцессорным минералам относятся барит, турмалин, гранат, амфибол, анатаз(?), корунд(?). В трех пробах встречено самородное золото, причем в пробе из русловых отложений в верховье руч. Бол. Ключ насчитано 72 знака неокатанных золотинок. Редкоземельная минерализация представлена монацитом и ксенотимом (единичные находки).

## МИНЕРАЛЫ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Основу всех шлиховых проб составляют *гидроксиды железа* в виде псевдоморфоз по кубическим кристаллам пирита (рис. 3а), корок, почковидных агрегатов и сплошной пропитки пород. Широко распространен *ильменит*, образующий таблитчатые кристаллы и их обломки, изредка полисинтетические двойники, а также мирмекитоподобные сростки с оксидами титана (рис. 3б, в). Третьим по распространенности минералом является *рутил* и тонкозернистые агрегаты оксидов титана. Рутил образует окатанные зерна и призматические кристаллы, оксиды титана развиваются в интерстициях обломков кварца (рис. 3г), часто замещают ильменит. В последнем случае



**Рис. 3.** Морфология оксидов и сульфидов в тяжелом концентрате.

а – псевдоморфозы гетита по кристаллам пирита; б – ильменит, гетит и оксиды титана; в – мирмекитоподобные сростки ильменита и оксидов титана; г – оксиды титана в нерудной матрице; д – замещение ильменита (темная решетка) оксидами титана; е – магнетит с ламеллями гематита; ж – хромит с магнетитом по трещинам; з – фрамбоиды пирита; и – реликты халькопирита в гетите. Отраженный свет, а–г, е–и – с поляризатором, д – с анализатором.

**Fig. 3.** Morphology of oxides and sulfides in heavy concentrates.

а – pseudomorph of goethite after pyrite crystals; б – ilmenite, goethite and titanium oxides; в – mirremekite-like intergrowth of ilmenite and titanium oxides; г – titanium oxides in gangue matrix; д – replacement of ilmenite (dark grid) by titanium oxides; е – magnetite with hematite lamelle; ж – chromite with magnetite in cracks; з – framboids of pyrite; и – chalcopyrite relics in goethite. Reflected light, а–г, е–и – with polarizer, д – with analyzer.

формируются решетчатые агрегаты реликтов ильменита в оксидах титана (рис. 3д). По-видимому, к оксидам титана относятся и кремовые пластинчатые зерна с ярким алмазным блеском и элементами огранки (анатаз?).

Реже встречается *магнетит* в виде слабо окатанных октаэдрических кристаллов часто с ламеллями *гематита* (рис. 3е). Гематит также образует самостоятельные зерна. В шлиховых пробах руч. Богряшка отмечается *хромит*, что согласуется с высоким содержанием хрома в концентрате. В трещинах хромита развивается магнетит (рис. 3ж).

Сульфиды сравнительно редки, из них больше распространен *пирит*, в пробах руч. Богряшка также обнаружены *халькопирит* и *пирротин*. Пирит образует обломки кристаллов, часто с рубашкой гетита, реже тонкую кристаллическую вкрапленность в нерудной массе, сплошные тонкозернистые агрегаты, фрамбоиды (рис. 3з). Отмечены сростки пирита и магнетита, тонкие округлые включения пирита в цирконе. Халькопирит образует обломки, а также реликты в гетите (рис. 3и). Пирротин изредка формирует включения в пирите.

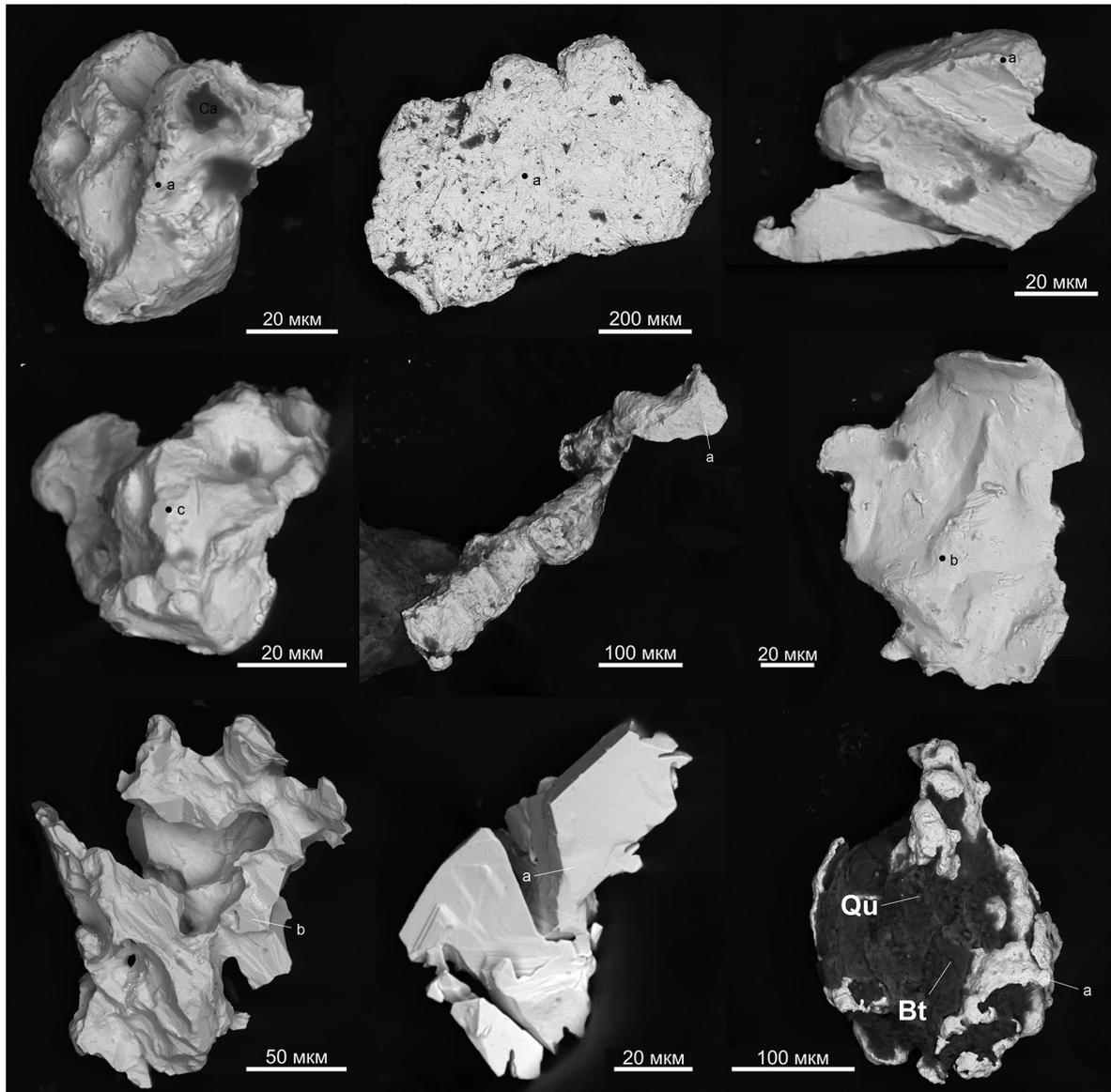


Рис. 4. Морфология золота из аллювиально-делювиальных отложений.

*Bt* – биотит, *Qu* – кварц. Изображение BSE.

Fig. 4. Morphology of gold from alluvial-deluvial sediments.

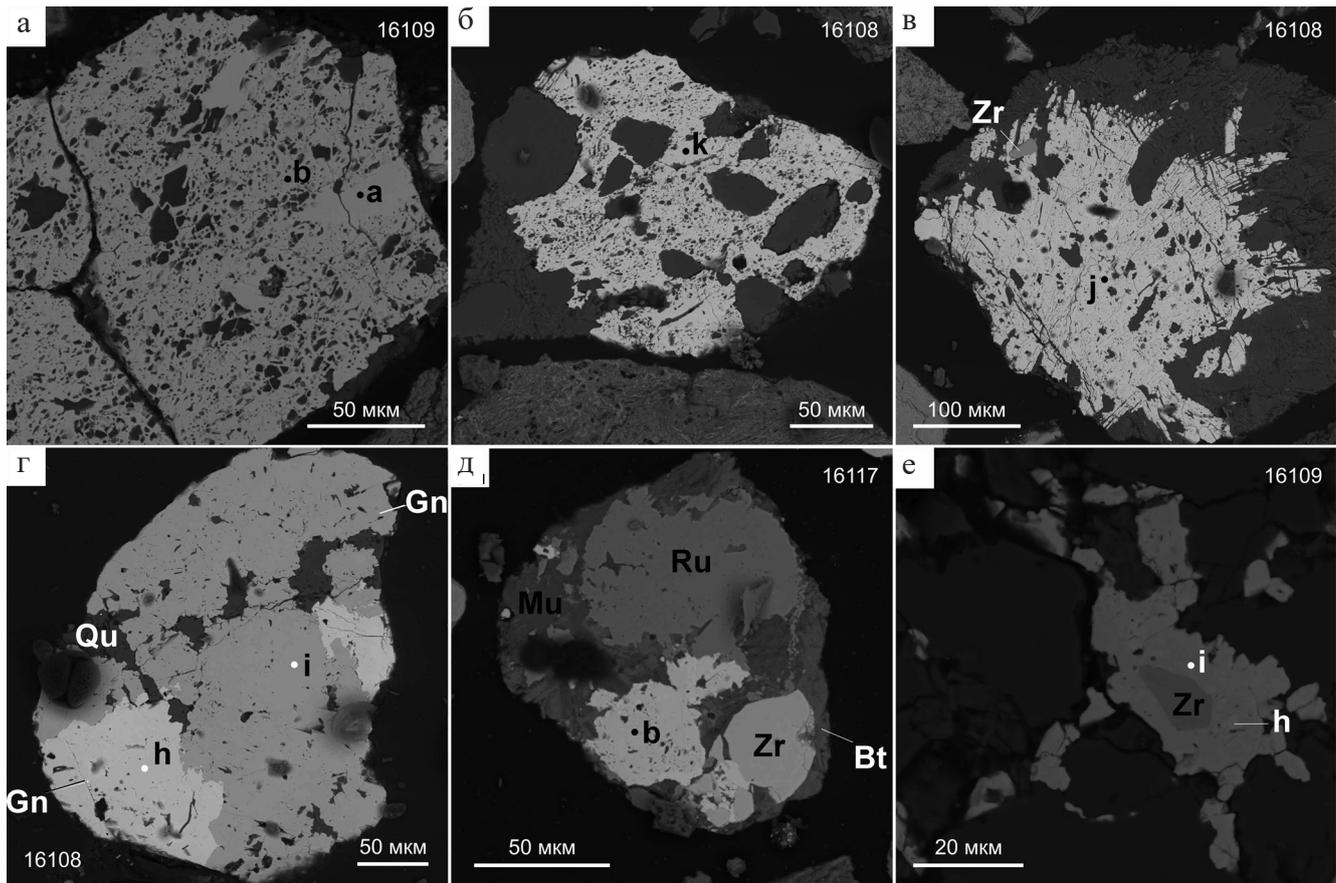
*Bt* – biotite, *Qu* – quartz. BSE-image.

Золото обнаружено в шлиховых пробах ручьев Каменный, Богряшка и Бол. Ключ (рис. 4). Золото образует частично окатанные пластинки, проволоочки, комковидные выделения размером от 60 мкм до 0.8 мм, в пробе 3164-3 золотины сложной формы с отпечатками ростовых поверхностей сосуществовавших минералов. На поверхности зерен часты каверны и царапины. Встречаются сростки золота с гидроксидами железа, слюдами и кварцем.

Фосфаты редкоземельных элементов – монацит и ксенотим – обнаружены во всех шлиховых пробах и в тяжелом концентрате окварцованных пес-

чаников с прожилками кварца и карбоната из отвалов рудопроявления Горный Прииск, где также присутствуют многочисленные знаки золота, пирит и арсенопирит.

Монацит  $CePO_4$  образует крупные (до 0.3 мм) окатанные зерна, иногда с элементами огранки, часто с многочисленными включениями кварца (рис. 5а–в), редко – галенита (рис. 5г). В кварцевых песчаниках пористые массы монацита часто замещают слюдястый цемент, образуют сноповидные сростки пластинчатых кристаллов (рис. 5б). Нередки сростки монацита и ксенотима (рис. 5г, д),



**Рис. 5.** Монацит и ксенотим из аллювиально-делювиальных отложений.

а – монацит с включениями кварца; б – монацит замещает цемент кварцевого песчаника; в – сросток пластинчатых кристаллов монацита; г – сросток монацита (h) и ксенотима (i) с включениями галенита (Gn); д – сросток ксенотима (b) с рутилом (Ru) и цирконом (Zr) в массе мусковита (Mu) и биотита (Bt); е – эпитаксия ксенотима (h, i) на цирконе (Zr). Цифрами указаны лабораторные номера проб, буквами – точки анализов, приведенные в табл. 3 и 4.

**Fig. 5.** Monazite and xenotime from alluvial-deluvial sediments.

а – monazite with quartz inclusions; б – monazite replacement of quartz sandstone cement; в – intergrowth of platy crystals of monazite; г – accretion of monazite (h) and xenotime (i) with galena (Gn) inclusions; д – intergrowth of xenotime (b) with rutile (Ru) and zircon (Zr) in muscovite (Mu) and biotite (Bt); е – epitaxy of xenotime (h, i) at the zircon (Zr). The numbers and letters indicate the lab. No (№ ан.) given in Tables 3 and 4.

а также тонкие включения монацита в ксенотиме и включения монацита в гетитовых агрегатах.

В химическом составе монацита наблюдается высокое содержание Nd (0.10–0.37 к. ф.) и La (0.09–0.33 к. ф.), практически постоянно присутствует Pr и Sm, редко Gd, Eu и Dy (табл. 3, рис. 6). Содержание ThO<sub>2</sub> варьирует и может достигать 9.78 мас. % (0.08 к. ф.). Характерны примеси Ca и Fe. Наблюдается два основных типа распределения РЗЭ в монаците из всех объектов исследования: Ce > Nd > La и Ce > La > Nd; в пробах руч. Каменный и Богряшка отмечены единичные анализы Nd > Ce > Sm > La(Gd). Состав монацита из отложений руч. Каменный близок составу монацита из песчаников Горного Прииска.

Ранее был изучен монацит аллювиальных отложений ряда водотоков восточной части Башкирско-

го мегантиклинория, размывающих метаморфизованные рифейские отложения [Алексеев, Тимофеева, 2008; Ковалев и др., 2009; Паленова и др., 2016]. В этих пробах он представлен медово-желтыми таблитчатыми кристаллами и их обломками размером до 2 мм. Внутреннее строение кристаллов однородное, наблюдаются включения кварца, мусковита, кальцита, сфена, галенита [Паленова и др., 2016]. В химическом составе присутствуют высокие концентрации La (0.15–0.34 к. ф.) и Nd (0.10–0.18 к. ф.). К постоянным примесям относятся: Pr (0.04–0.08 к. ф.), Sm (до 0.03 к. ф.), Th (до 0.06 к. ф. и до 17 мас. % Th<sub>2</sub>O по [Алексеев, Тимофеева, 2008]), Ca до 0.03. Отмечается примесь Gd (до 3.02 мас. % Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> по [Алексеев, Тимофеева, 2008]), а также Tb, Dy, Ho и U. Распределение РЗЭ в монаците отвечает схеме: Ce > La > Nd > Pr > Sm, в отдельных точ-

Таблица 3. Состав монацита из аллювиально-делювиальных отложений бассейна р. Бол. Авзян, мас. %  
 Table 3. Composition of monazite from alluvial-deluvial sediments of the Bolshoy Avzyan river basin, wt. %

№ ан.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	FeO	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	Сумма	Формула
1	16118a	31.56	—	14.20	35.11	2.89	14.51	1.61	—	—	99.87	(Ce <sub>0,48</sub> La <sub>0,20</sub> Nd <sub>0,19</sub> Pr <sub>0,04</sub> Sm <sub>0,02</sub> ) <sub>0,93</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
2	16118b	31.88	—	5.08	28.28	4.18	26.22	3.74	—	0.94	100.30	(Ce <sub>0,38</sub> Nd <sub>0,35</sub> La <sub>0,07</sub> Pr <sub>0,06</sub> Sm <sub>0,05</sub> Th <sub>0,01</sub> ) <sub>0,91</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
3	16118c	30.87	0.14	10.87	33.14	3.65	18.16	1.81	—	0.68	99.31	(Ce <sub>0,46</sub> Nd <sub>0,25</sub> La <sub>0,15</sub> Pr <sub>0,05</sub> Sm <sub>0,02</sub> Th <sub>0,01</sub> Ca <sub>0,01</sub> ) <sub>0,95</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
4	16118d	31.14	0.73	3.82	22.13	3.43	27.00	4.99	1.79	4.06	99.10	(Nd <sub>0,37</sub> Ce <sub>0,31</sub> Sm <sub>0,07</sub> La <sub>0,05</sub> Pr <sub>0,05</sub> Th <sub>0,04</sub> Ca <sub>0,03</sub> Gd <sub>0,02</sub> ) <sub>0,93</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> ) <sub>4</sub>
5	16118e	30.21	0.17	5.53	25.71	3.81	22.66	5.98	3.31	1.07	99.08	(Ce <sub>0,37</sub> Nd <sub>0,32</sub> La <sub>0,08</sub> Sm <sub>0,08</sub> Pr <sub>0,05</sub> Gd <sub>0,04</sub> Fe <sub>0,02</sub> Th <sub>0,01</sub> Ca <sub>0,01</sub> ) <sub>0,98</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
6	16118f	30.93	—	9.15	33.80	3.70	18.07	3.04	1.35	—	100.42	(Ce <sub>0,47</sub> Nd <sub>0,23</sub> La <sub>0,13</sub> Pr <sub>0,05</sub> Sm <sub>0,04</sub> Gd <sub>0,02</sub> Fe <sub>0,01</sub> ) <sub>0,97</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
7	16118g	30.93	—	9.15	33.80	3.70	18.07	3.04	1.35	—	100.42	(Ce <sub>0,47</sub> Nd <sub>0,23</sub> La <sub>0,13</sub> Pr <sub>0,05</sub> Sm <sub>0,04</sub> Gd <sub>0,02</sub> Fe <sub>0,01</sub> ) <sub>0,97</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
8	16118h	31.51	0.16	12.33	34.53	2.95	16.17	2.35	—	—	100	(Ce <sub>0,47</sub> Nd <sub>0,22</sub> La <sub>0,17</sub> Pr <sub>0,04</sub> Sm <sub>0,03</sub> Ca <sub>0,01</sub> ) <sub>0,94</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
9	16118i	31.05	0.16	13.83	36.69	3.03	13.80	—	—	1.45	100	(Ce <sub>0,51</sub> Nd <sub>0,19</sub> La <sub>0,19</sub> Pr <sub>0,04</sub> Th <sub>0,01</sub> Ca <sub>0,01</sub> ) <sub>0,95</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
10	16118k	31.76	1.18	14.78	30.13	2.06	9.96	—	—	9.78	100	(Ce <sub>0,41</sub> La <sub>0,20</sub> Nd <sub>0,13</sub> Th <sub>0,08</sub> Ca <sub>0,05</sub> Pr <sub>0,03</sub> ) <sub>0,91</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
11	16109a	30.80	0.17	10.62	31.85	3.48	17.20	2.64	1.39	0.89	99.04	(Ce <sub>0,45</sub> Nd <sub>0,24</sub> La <sub>0,15</sub> Pr <sub>0,05</sub> Sm <sub>0,03</sub> Gd <sub>0,02</sub> Th <sub>0,01</sub> Ca <sub>0,01</sub> ) <sub>0,95</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
12	16109b	31.43	—	11.41	33.74	3.64	17.53	2.25	—	—	100	(Ce <sub>0,46</sub> Nd <sub>0,24</sub> La <sub>0,16</sub> Pr <sub>0,05</sub> Sm <sub>0,03</sub> ) <sub>0,94</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
13	16109g	29.34	0.79	16.70	32.61	2.57	9.31	—	—	5.29	100.22	(Ce <sub>0,48</sub> La <sub>0,23</sub> Nd <sub>0,13</sub> Fe <sub>0,12</sub> Pr <sub>0,04</sub> Th <sub>0,05</sub> Ca <sub>0,03</sub> ) <sub>1,10</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
14	16109i	31.83	—	24.41	34.98	—	7.17	—	0.78	—	99.18	(Ce <sub>0,48</sub> La <sub>0,33</sub> Nd <sub>0,10</sub> Gd <sub>0,01</sub> ) <sub>0,91</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
15	16109m	30.18	0.2	18.11	32.90	2.43	10.49	—	—	3.88	100.66	(Ce <sub>0,47</sub> La <sub>0,26</sub> Nd <sub>0,15</sub> Fe <sub>0,08</sub> Pr <sub>0,03</sub> Th <sub>0,03</sub> Ca <sub>0,01</sub> ) <sub>1,04</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
16	16108a	30.85	0.39	8.41	29.75	3.65	18.01	2.97	2.26	2.88	99.17	(Ce <sub>0,42</sub> Nd <sub>0,23</sub> La <sub>0,12</sub> Pr <sub>0,05</sub> Sm <sub>0,04</sub> Gd <sub>0,03</sub> Th <sub>0,03</sub> Ca <sub>0,02</sub> ) <sub>0,94</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
17	16108b	31.03	1.39	13.91	31.05	2.19	11.07	—	—	9.37	100	(Ce <sub>0,43</sub> La <sub>0,20</sub> Nd <sub>0,15</sub> Th <sub>0,08</sub> Ca <sub>0,06</sub> Pr <sub>0,03</sub> ) <sub>0,95</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
18	16108c	31.56	—	15.23	35.85	2.66	13.66	1.16	—	0.73	100.86	(Ce <sub>0,49</sub> La <sub>0,21</sub> Nd <sub>0,18</sub> Pr <sub>0,04</sub> Sm <sub>0,01</sub> Th <sub>0,01</sub> ) <sub>0,94</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
19	16108e	32.09	—	23.07	34.92	2.37	7.24	—	—	—	99.70	(Ce <sub>0,47</sub> La <sub>0,31</sub> Nd <sub>0,10</sub> Pr <sub>0,03</sub> ) <sub>0,91</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
20	16108f	27.02	0.38	17.32	35.79	2.82	13.20	0.80	2.09	—	100	(Ce <sub>0,56</sub> La <sub>0,27</sub> Pr <sub>0,04</sub> Gd <sub>0,03</sub> Ca <sub>0,02</sub> Sm <sub>0,01</sub> ) <sub>1,13</sub> (P <sub>0,98</sub> Si <sub>0,02</sub> ) <sub>1,00</sub> (O <sub>4,00</sub> )
21	16108j	31.25	0.30	3.60	19.17	3.24	24.73	11.01	4.46	—	99.66	(Nd <sub>0,33</sub> Ce <sub>0,27</sub> Sm <sub>0,14</sub> Gd <sub>0,06</sub> La <sub>0,05</sub> Pr <sub>0,04</sub> Eu <sub>0,02</sub> Ca <sub>0,01</sub> ) <sub>0,93</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
22	16108h	31.68	—	12.40	32.94	3.25	17.04	2.31	—	0.39	100	(Ce <sub>0,45</sub> Nd <sub>0,23</sub> La <sub>0,17</sub> Pr <sub>0,04</sub> Sm <sub>0,03</sub> ) <sub>0,92</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
23	16108k	31.34	0.25	7.85	29.09	3.72	19.77	4.90	2.54	—	99.46	(Ce <sub>0,40</sub> Nd <sub>0,27</sub> La <sub>0,11</sub> Sm <sub>0,06</sub> Pr <sub>0,05</sub> Gd <sub>0,03</sub> Ca <sub>0,01</sub> ) <sub>0,93</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
24	16117a	30.82	0.50	6.13	28.95	4.27	22.59	2.91	—	3.00	99.17	(Ce <sub>0,41</sub> Nd <sub>0,31</sub> La <sub>0,09</sub> Pr <sub>0,06</sub> Sm <sub>0,04</sub> Th <sub>0,03</sub> Ca <sub>0,02</sub> ) <sub>0,95</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )
25	16117d	31.64	0.23	11.71	35.22	3.37	16.35	—	—	—	99.83	(Ce <sub>0,48</sub> Nd <sub>0,22</sub> La <sub>0,16</sub> Pr <sub>0,05</sub> Fe <sub>0,02</sub> Dy <sub>0,01</sub> Ca <sub>0,01</sub> ) <sub>0,94</sub> (P <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub> )

Примечание. 1–10 – руч. Каменный; 11–15 – руч. Богряшка; 16–23 – руч. Бол. Ключ; 24, 25 – кварцевые песчанки месторождения Горный Прииск. Дополнительно (оксид, содержание, мас. % (№ анализа)): Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.35 (10); 0.65 (25); SiO<sub>2</sub> 0.57 (20); Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.90 (21). Точки анализа соответствуют таковым на рис. 5. Формулы рассчитаны на PO<sub>4</sub> = 1.

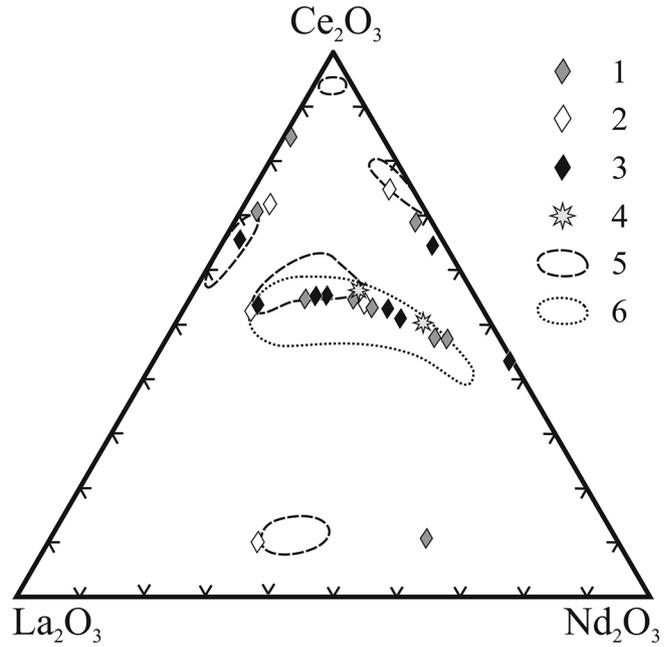
Note. 1–10 – Kamenny stream; 11–15 – Bogryashka stream; 16–23 – Bolshoy Klyuch stream; 24–25 – quartz sandstone from Gorny Priisk deposit. Additionally (oxide, content, wt. % (№ analysis)): Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.35 (10); 0.65 (25); SiO<sub>2</sub> 0.57 (20); Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.90 (21). Points of analysis correspond to Fig. 5. Formulae were calculated at PO<sub>4</sub> = 1.

**Таблица 4.** Состав ксенотима из аллювиально-дельтавиальных отложений бассейна р. Бол. Авзян, мас. %  
**Table 4.** Composition of xenotime from alluvial-deltaic sediments of the Bolshoy Avzyan river basin, wt. %

№ ан.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	FeO	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Формула
1	16118j	36.69	—	46.26	—	—	—	—	4.33	—	5.36	1.26	3.64	2.47	100	(Y <sub>0.79</sub> Dy <sub>0.06</sub> Gd <sub>0.05</sub> Er <sub>0.04</sub> Yb <sub>0.02</sub> ) <sub>0.96</sub> (P <sub>1.00</sub> O <sub>4.00</sub> )
2	16109h	33.57	0.63	25.92	—	0.73	5.31	5.24	20.82	2.67	5.10	—	—	—	100	(Y <sub>0.49</sub> Gd <sub>0.24</sub> Dy <sub>0.06</sub> Sm <sub>0.06</sub> Eu <sub>0.06</sub> Tb <sub>0.03</sub> Fe <sub>0.02</sub> Nd <sub>0.01</sub> ) <sub>0.97</sub> (P <sub>1.00</sub> O <sub>4.00</sub> )
3	16109i	34.43	0.58	35.57	—	—	2.64	2.05	14.33	1.87	5.91	—	1.82	—	99.19	(Y <sub>0.65</sub> Gd <sub>0.16</sub> Dy <sub>0.07</sub> Sm <sub>0.03</sub> Er <sub>0.02</sub> Tb <sub>0.02</sub> Eu <sub>0.02</sub> Ca <sub>0.02</sub> ) <sub>0.99</sub> (P <sub>1.00</sub> O <sub>4.00</sub> )
4	16109j	35.19	0.42	39.67	—	1.28	2.30	2.88	8.61	—	3.93	—	2.61	—	99.84	(Y <sub>0.71</sub> Gd <sub>0.10</sub> Dy <sub>0.04</sub> Er <sub>0.03</sub> Ta <sub>0.03</sub> Sm <sub>0.03</sub> Eu <sub>0.03</sub> Nd <sub>0.02</sub> Ca <sub>0.02</sub> ) <sub>0.99</sub> (P <sub>1.00</sub> O <sub>4.00</sub> )
5	16108d	35.59	—	46.67	—	—	0.80	—	3.93	—	4.75	—	3.74	3.96	99.44	(Y <sub>0.82</sub> Dy <sub>0.05</sub> Gd <sub>0.04</sub> Er <sub>0.04</sub> Yb <sub>0.04</sub> Sm <sub>0.01</sub> ) <sub>1.01</sub> (P <sub>1.00</sub> O <sub>4.00</sub> )
6	16108i	36.35	—	46.18	—	—	0.36	—	3.88	—	4.89	—	3.39	4.53	99.58	(Y <sub>0.86</sub> Dy <sub>0.05</sub> Gd <sub>0.04</sub> Yb <sub>0.04</sub> Er <sub>0.03</sub> ) <sub>0.98</sub> (P <sub>1.00</sub> O <sub>4.00</sub> )
7	16117b	35.73	—	48.99	—	—	—	—	2.17	—	4.25	1.15	3.88	3.83	100	(Y <sub>0.76</sub> Dy <sub>0.05</sub> Er <sub>0.04</sub> Yb <sub>0.04</sub> Gd <sub>0.02</sub> ) <sub>1.01</sub> (P <sub>1.00</sub> O <sub>4.00</sub> )
8	16117c	34.24	0.18	41.49	—	—	1.00	—	6.36	1.13	5.26	1.00	2.71	2.61	99.02	(Y <sub>0.76</sub> Gd <sub>0.07</sub> Dy <sub>0.06</sub> Er <sub>0.03</sub> Yb <sub>0.03</sub> Sm <sub>0.01</sub> Tb <sub>0.01</sub> Th <sub>0.01</sub> Ca <sub>0.01</sub> ) <sub>1.05</sub> (P <sub>1.00</sub> O <sub>4.00</sub> )
9	16117e	36.14	—	44.33	—	—	0.28	—	4.92	—	5.18	1.5	3.59	3.11	99.04	(Y <sub>0.77</sub> Gd <sub>0.05</sub> Er <sub>0.04</sub> Yb <sub>0.03</sub> ) <sub>0.95</sub> (P <sub>1.00</sub> O <sub>4.00</sub> )

Примечание. 1 – руч. Каменный; 2–4 – руч. Богряшка; 5, 6 – руч. Бол. Ключ; 7–9 – кварцевые песчаники месторождения Горный Прииск. Дополнительно (оксид, содержание, мас. % (№ анализа)): Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2.96 (4); ThO<sub>2</sub> 1.04 (8). Точки анализов соответствуют таковым на рис. 5. Формулы рассчитаны на PO<sub>4</sub> = 1.

Note. 1 – Kamenny stream; 2–4 – Bogryashka stream; 5, 6 – Bolshoy Klyuch stream; 7–9 – quartz sandstone from the Gorny Priisk deposit. Additionally (oxide, content, wt. % (№ analysis)): Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2.96 (4); ThO<sub>2</sub> 1.04 (8). Points of analysis correspond to Fig. 5. Formulae were calculated at PO<sub>4</sub> = 1.



**Рис. 6.** Состав монацита на треугольной диаграмме La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (мас. %).

1 – руч. Каменный; 2 – руч. Богряшка; 3 – руч. Бол. Ключ; 4 – песчаник месторождения Горный Прииск; 5, 6 – аллювиальные отложения восточной части Башкирского мегантиклинория (в том числе р. Бол. Авзян): 5 – наши данные; 6 – по [Алексеев, Тимофеева, 2008].

**Fig. 6.** Composition of monazite at the triangle plot La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (wt. %).

1 – Kamenny stream; 2 – Bogryashka stream; 3 – Bolshoy Klyuch stream; 4 – sandstone from the Gorny Priisk deposit; 5, 6 – alluvial sediments of Eastern part of the Bashkirian meganticlinorium (including B. Avzyan River): 5 – our data, 6 – after [Aleksseev, Timofeeva, 2008].

ках анализов Ce > Nd > La > Pr > Sm. В анионной группировке Р замещается Si (до 0.05 к. ф.), изредка S (до 0.1 к. ф.).

Таким образом, состав монацита аллювиальных отложений ручьев Каменный, Богряшка и Бол. Ключ близок составу монацита из отложений других водотоков восточной части Башкирского мегантиклинория (см. рис. 6).

Ксенотим YPO<sub>4</sub> в изученных шлиховых пробах образует окатанные зерна размером до 350 мкм, сростки с монацитом, ксеноморфные выделения во фрагментах терригенных пород, эпитаксиальные нарастания на цирконе (см. рис. 5e). В ксенотиме содержатся включения кварца, слюды, тонкие – галенита и монацита. Обнаружено включение ксенотима в пирите из пробы песчаников рудопроявления Горный Прииск.

В составе ксенотима наблюдается высокое содержание Gd, Dy, Er, более низкое – Tb и Ho (табл. 4). Ксенотим из отложений руч. Богряшка резко отличается повышенной концентрацией Gd (0.10–

0.24 к. ф.) и легких РЗЭ: Nd (0.01–0.02 к. ф.), Sm (0.03–0.06 к. ф.), Eu (0.02–0.06 к. ф.). Отмечено отсутствие примесей Ho и Yb и наличие Ta (до 2.96 мас. % Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Состав ксенотима из отложений руч. Каменный и Бол. Ключ более однороден. Распределение РЗЭ в ксенотиме отвечает схеме  $Dy \geq Gd > Er$  (Yb) и  $Gd > Dy \geq Sm$  (руч. Богряшка).

Ксенотим в аллювиальных отложениях восточной части Башкирского мегантиклинория представлен изометричными зернами белого, серого или зеленого цвета и редко дипирамидальными или удлинено-призматическими кристаллами. Размеры выделений достигают 1–1.5 мм [Алексеев, Тимофеева, 2008]. Зерна ксенотима во вторичных электронах однородные, иногда с включениями кварца. В составе постоянно присутствуют примеси Dy (0.05–0.09 к. ф.), Er (0.04–0.06 к. ф.), Yb (0.02–0.05 к. ф.), Gd (0.01–0.06 к. ф.), Ho (0.01–0.02 к. ф.), реже – Lu, Sm, Nd, U (до 0.01 к. ф.) [Паленова и др., 2016], а также Tb [Алексеев, Тимофеева, 2008]. Схемы распределения РЗЭ:  $Dy \geq Er > Yb > Gd \geq Ho$  и  $Dy > Gd > Er > Yb > Ho$ . В анионной группировке Р замещается Si (до 0.02 к. ф.).

Состав ксенотима из отложений руч. Каменный и Бол. Ключ близок ксенотиму из других водотоков восточной части Башкирского мегантиклинория. Состав ксенотима из аллювия руч. Богряшка отличается преобладанием Gd среди РЗЭ, что, вероятно, связано с составом пород суранской свиты.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В размещении золоторудной минерализации Авзянского района существенную роль играют разрывные нарушения, контролирующие как коренные, так и россыпные объекты (см. рис. 1) [Сначев и др., 2012]. Морфология золотин (см. рис. 4) из отложений ручьев Каменный, Богряшка и Бол. Ключ однозначно свидетельствует о малой дальности их переноса. Наличие в шлиховых пробах не полностью окисленных сульфидов – признак сравнительно небольшого возраста отложений. Очевидно, источником золота и сульфидов в россыпях являются близлежащие коренные проявления. Это подтверждается и содержанием основных металлов в шлиховых концентратах разных объектов исследования (см. табл. 2): в пробах руч. Каменный стабильно высокое содержание As и Cu, а в составе кварцевожильного типа руд Горного Прииска преобладают пирит и арсенопирит, присутствуют халькопирит и другие сульфиды [Сначев и др., 2012]. Кроме того, углеродистые породы зигазино-комаровской свиты, вмещающей рудопроявление Горный Прииск, отличаются повышенными фоновыми концентрациями меди [Рыкус и др., 1993]. Галенит присутствует в рудах рудопроявлений Горный Прииск и Улюк-Бар, а включения галенита обнаружены в монаците из аллювия руч. Бол. Ключ.

Обилие ильменита, оксидов титана и эпидота, а также практически постоянное присутствие барита в отложениях ручьев Богряшка и Бол. Ключ отличают их от проб с руч. Каменный. Это отражается и в химическом составе концентратов (см. табл. 2). Относительно повышенное содержание титана отмечено в усредненной пробе серицитовых сланцев с рудопроявления Улюк-Бар (см. табл. 1). Вероятно, источником ильменита и оксидов титана служили терригенные породы большеинзерской свиты в большей степени, чем карбонатно-терригенные отложения суранской. Следует отметить, что ильменит и рутил – типичные шлиховые минералы аллювия водотоков бассейна р. Белой [Алексеев, Тимофеева, 2008].

Присутствие хромита и высокие содержания хрома в пробах ручьев Богряшка и Бол. Ключ могут быть связаны с метавулканитами машакской свиты, участвующими в геологическом строении площади (см. рис. 1). Среднее содержание хрома в породах этой свиты превышает кларк [Рыкус и др., 1993].

Собственные минералы РЗЭ – монацит и ксенотим – присутствуют в пробах всех исследованных водотоков и в песчаниках района рудопроявления Горный Прииск. Они формируют порфиروبласты с многочисленными включениями кварца и серицита, замещают цемент песчаников, что однозначно свидетельствует об их образовании уже после накопления и литификации осадка, в стадию катагенеза и/или метаморфизма (см. рис. 5). Незначительное содержание тяжелых РЗЭ в составе монацита и ксенотима согласуется с обогащением терригенных пород легкими РЗЭ.

Метаморфическое происхождение монацита из аллювиальных и коренных источников восточной части Башкирского мегантиклинория подтверждается наличием в нем включений ильменита и магнетита, а также повсеместной ассоциацией в шлиховых пробах монацита и ксенотима с метаморфогенными минералами [Алексеев, Тимофеева, 2008]. Свидетельством единого генезиса монацита всей восточной части Башкирского мегантиклинория является близость состава монацита из аллювия и коренных источников вне зависимости от стратиграфического уровня (см. рис. 6) [Ковалев и др., 2009; 2013].

Монацит обнаружен в составе Au-REE-U-Th минерализации в терригенных отложениях машакской свиты [Ковалев и др., 2009; 2013]. В работе [Ковалев и др., 2009] указывается на находки агрегатов монацита, пирита и собственных минералов тория в песчаниках большеинзерской свиты в районе д. Бзяк. Мы наблюдали включения галенита в фосфатах РЗЭ руч. Бол. Ключ (см. рис. 5г), включения монацита в гетите и ксенотима в пирите. Таким образом, редкоземельная и золото-сульфидная минерализации в пределах восточной части Башкирского мегантиклинория часто сопряжены.

Работами А.А. Алексеева с соавторами [Алексеев и др., 2003; Алексеев, Тимофеева, 2008] в аллю-

вии ряда водотоков бассейна р. Белой (в том числе в районе р. Бол. Авзян) наряду с монацитом и ксенотимом установлен флоренсит ( $\text{Ce, La, Nd, Sm} \text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_6$ ) и редкий рабдофан ( $\text{Ce, La, Nd} \text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Авторами показана пространственная совмещенность ареала распространения фосфатов РЗЭ с зоной развития метаморфических пород рифея и венда. Установлена приуроченность рабдофана к практически неметаморфизованным породам, флоренсита и мелкого монацита – к областям развития пород низкой (филлитовой и зеленосланцевой) ступеней метаморфизма, а более крупного монацита и ксенотима – к участкам распространения пород средней и высокой ступеней метаморфизма.

Фосфаты РЗЭ в углеродистых терригенных породах не редкость. Так, в золотоносных черносланцевых толщах Патомского нагорья (Бодайбинский район Иркутской области) типичным акцессорным минералом РЗЭ является флоренсит, кроме того, встречаются монацит и ксенотим [Буряк, Бакулин, 1998]. В литературе имеются указания на находки включений флоренсита и монацита в россыпном золоте Предпатомского прогиба [Глушкова, Никифорова, 2011].

Флоренсит является главным новообразованным минералом-концентратором РЗЭ в углеродистоглинистых породах месторождений золота Артемовского рудного узла в Бодайбинском районе, в то время как монацит, ксенотим и ортит имеют преимущественно обломочное происхождение. Образование флоренсита началось в стадию диагенетического изменения осадка и продолжалось на стадиях катагенеза и низкоградного метаморфизма [Palenova et al., 2014; Паленова и др., 2015], что согласуется с данными по его росту в зеленосланцевых толщах [Rasmussen, 1996].

На уникальном месторождении золота Сухой Лог (Бодайбинский район) выделено две генерации монацита, связанных с метаморфизмом и собственно рудным гидротермально-метасоматическим этапами [Meffre et al., 2008; Юдовская и др., 2011]. Метаморфогенный монацит I образует округлые порфиробласты (размером до 0.5 мм), насыщенные многочисленными включениями калиевой слюды, кварца, пирита и пирротина. Гидротермальный монацит II распространен только в рудной зоне и преимущественно в богатых рудах, он представлен прозрачными мелкими (обычно 10–30 мкм) идиоморфными и скелетными кристаллами и их сростками в виде включений в пирите. Прозрачный монацит II отличается от монацита I более высокими и сравнительно постоянным содержанием  $\text{ThO}_2$  – 3–4 мас. % [Юдовская и др., 2011]. По сравнению с детритовым метаморфогенный монацит из низкоградных ассоциаций черных сланцев отличается низкими содержаниями Th и U [Rasmussen et al., 2001; 2007].

Таким образом, редкоземельные фосфаты в черносланцевых толщах могут являться индикаторами стадий метаморфического преобразования пород и процессов рудообразования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Источником аллювиальных отложений Авзянского рудного района являлись коренные рудопроявления золота, расположенные в непосредственной близости от россыпей. Отложения руч. Каменный (район рудопроявления Горный Прииск) отличаются высоким содержанием As и Cu; руч. Богряшка (рудопроявление Богряшка) и Бол. Ключ (Улюк-Бар) – высокими концентрациями Sr и Ba. Это отражается и в минеральном составе тяжелых концентратов.

Основу шлиховых проб всех изученных объектов составляет гетит, в пробах руч. Богряшка и Бол. Ключ также широко распространены ильменит, рутил, эпидот и барит. Золото присутствует в отложениях всех изученных водотоков, наибольшее количество знаков встречено в пробах руч. Бол. Ключ. Слабая окатанность золотинок, сохранность на них отпечатков других минералов, а также присутствие неокисленных сульфидов указывает на сравнительно небольшой возраст отложений.

Монацит и ксенотим характерны для всех изученных проб аллювиальных отложений. Морфология их выделений свидетельствует об их образовании в стадию катагенеза и/или метаморфизма. Состав монацита из отложений ручьев Каменный, Богряшка и Бол. Ключ близок монациту других водотоков восточной части Башкирского мегантиклинория, что может являться показателем их единого происхождения. Источником РЗЭ в составе новообразованных метаморфических минералов служит глинистое вещество, сорбиравшее эти элементы в осадочном процессе. Перекристаллизация глин при катагенезе и метаморфизме приводит к высвобождению РЗЭ и образованию редкоземельных фосфатов [Rasmussen et al., 2001; 2007]. Состав ксенотима из отложений руч. Каменный и Бол. Ключ близок ксенотиму водотоков бассейна р. Белой, в то время как ксенотим аллювия руч. Богряшка отличается повышенным содержанием Gd, что, вероятно, связано с составом терригенно-карбонатных пород суранской свиты. Присутствие включений галенита в фосфатах РЗЭ, включения монацита в гетите и ксенотима в пирите могут указывать на близость условий и времени формирования золото-сульфидной и редкоземельной минерализации.

Авторы выражают благодарность д. г.-м. н. С.Г. Ковалеву (ИГ УНЦ РАН) за ценные советы и возможность работы с коллекцией редкоземельных фосфатов из аллювиальных отложений Башкирского мегантиклинория.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 16-05-00580а и бюджетной темы Института минералогии УрО РАН № АААА-А16-116021010244-0.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.А., Алексеева Г.В., Тимофеева Е.А. (2003) Монацитовая минерализация и перспективы редкоземельного оруднения в рифейских отложениях Башкирского мегантиклинория. *Геология, полезные ископаемые и проблемы экологии Башкортостана*. Т. 2. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 112-115.
- Алексеев А.А., Тимофеева Е.А. (2008) Редкоземельные фосфаты в горных и аллювиальных отложениях Западного склона Южного Урала. *Литосфера*, (1), 140-145. [http://www.lithosphere.igg.uran.ru/pdf/16819004\\_2008\\_1/16819004\\_2008\\_1\\_140-145.pdf](http://www.lithosphere.igg.uran.ru/pdf/16819004_2008_1/16819004_2008_1_140-145.pdf)
- Арифулов Ч.Х., Арсентьева И.В., Ожерельева А.В. (2013) Золоторудные месторождения в рифтогенных черносланцевых отложениях Южного Урала. М.: ЦНИГРИ, 108 с.
- Балашов Ю.А. (1976) Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 273 с.
- Беневольский Б.И., Мызенкова Л.Ф., Августинчик И.А. (2007) Минерально-сырьевая база благородных металлов – ретроспектива и прогноз. *Руды и металлы*, (3), 25-91.
- Буряк В.А., Бакулин Ю.И. (1998) Металлогения золота. Владивосток: Дальнаука, 403 с.
- Геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXII. М.: Недра, 1967.
- Глушкова Е.Г., Никифорова З.С. (2011) Прогнозирование коренных источников золота на Уринском антиклинория (Предпатомский прогиб). *Материалы II Международного горно-геологического форума, посвященного 110-летию со дня рождения Ю.А. Билибина*. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 123–125.
- Иванов А.И. (2014) Золото Байкало-Патома (геология, оруднение, перспективы). М.: ФГУП ЦНИГРИ, 215 с.
- Ковалев С.Г., Высоцкий И.В., Мичурин С.В., Ковалев С.С. (2013) Геология, минералогия и металлогенетическая специализация углеродсодержащих толщ Улуелгинско-Кудашмановской зоны (западный склон Южного Урала). *Литосфера*, (3), 67-88. [http://www.lithosphere.igg.uran.ru/pdf/16819004\\_2013\\_3/16819004\\_2013\\_3\\_067-088.pdf](http://www.lithosphere.igg.uran.ru/pdf/16819004_2013_3/16819004_2013_3_067-088.pdf)
- Ковалев С.Г., Тимофеева Е.А., Пиндюрина Е.О. (2009) Монацитовая минерализация западного склона Южного Урала. *Геологический сборник № 8. Информ. мат-лы ИГ УНЦ РАН*. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 138-144.
- Коньшев В.О., Ревякин П.С., Ревякина Э.А. (1985) Прогнозная оценка золотоносности Центрально-Уральского поднятия с разработкой направлений поисков. Отчет о научно-исследовательской работе. М.: ЦНИГРИ, 186 с.
- Мичурин С.В., Шарипова А.А. (2015) Изотопно-геохимические особенности рудопроявления золота Богряшка (Южный Урал). *Геологический сборник*, (12), 144-159.
- Паленова Е.Е., Белогуб Е.В., Плотинская О.Ю., Новоселов К.А., Масленников В.В., Котляров В.А., Блинов И.А., Кузменко А.А., Грибоедова И.Г. (2015) Эволюция состава пирита на золоторудных месторождениях в черносланцевых толщах Копыловское и Кавказ (Бодайбинский район, Россия) по данным РСМА и ЛА-ИСП-МС. *Геология рудных месторождений*, 57(1), 71-92.
- Паленова Е.Е., Котляров В.А., Белогуб Е.В., Ковалев С.Г. (2016) Типоморфизм редкоземельных фосфатов аллювиальных отложений западного склона Южного Урала. Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Материалы и доклады. 11-я Межрегиональная научно-практическая конференция, посвященная 65-летию Института геологии УНЦ РАН. Уфа: ДизайнПресс, 108-111.
- Рыкус М.В., Андреев Н.И., Муркин, В.П. Маслов А.В., Сначев В.И (1993) Углеродистые отложения докембрия Южного Урала. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 40 с.
- Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А. (1999) Месторождения золота Урала. Екатеринбург: УГГГА, 570 с.
- Сначев А.В., Сначев И.В., Рыкус М.В. Савельев Д.Е., Бажин Е.А., Ардисламов Ф.Р. (2012) Геология, петрогеохимия и рудоносность углеродистых отложений Южного Урала. Уфа: ДизайнПресс, 208 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (1994) Элементы-примеси в черных сланцах. Екатеринбург: УИФ Наука, 304 с.
- Юдовская М.А., Дистлер В.В., Родионов Н.В. и др. (2011) Соотношение процессов метаморфизма и рудообразования на золотом черносланцевом месторождении Сухой Лог по данным U-Th-Pb-изотопного SHRIMP-датирования акцессорных минералов. *Геология рудных месторождений*, 53(1), 32-64.
- Meffre S., Large R.R., Scott R., Woodhead J., Chang Zh., Gilbert S.E., Danyushevsky L.V., Maslennikov V., Hergt J.M. (2008) Age and pyrite Pb-isotopic composition of the giant Sukhoi Log sediment-hosted gold deposit, Russia. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 72(9), 2377-2391. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016703708001191>
- Palenova E., Belogub E., Lebedeva S., Shtenberg M., Mironov A., Khvorov P. (2014) Florencite from gold bearing black shale from Lena gold province, Eastern Siberia, Russia. *XXI General Meeting of the International Mineralogical Association (IMA-2014)*. Johannesburg, 344.
- Rasmussen B. (1996) Early-diagenetic REE-phosphate minerals (florencite, gorceixite, crandallite, and xenotime) in marine sandstones: a major sink for oceanic phosphorus. *Amer. J. Sci.*, 296, 601-632. <http://www.ajsonline.org/content/296/6/601.full.pdf+html>
- Rasmussen B., Fletcher I. R., McNaughton Neal J. (2001) Dating low grade metamorphic events by SHRIMP U-Pb analysis of monazite in shales. *Geology*, 29, 963-966. [http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613\(2001\)029<0963:DLGM EB>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<0963:DLGM EB>2.0.CO;2)
- Rasmussen B., Fletcher I. R., Muhling J. R. (2007) In situ U-Pb dating and element mapping of three generations of monazite: Unravelling cryptic tectonothermal events in low-grade terranes. *Geochim. Cosmochim. Acta* 71, 670-690. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016703706021703>

#### REFERENCES

- Alexeev A.A., Alexeeva G.F., Timofeeva E.A. (2003) Monazite mineralization and prospects of rare-earth min-

- eralization in the Riphean deposits of the Bashkir megantyclinorium. *Geologiya, poleznye iskopaemye I ekologiya Bashkortostana. T. 2* [Geology, minerals and problems of ecology of Bashkortostan. V. 2]. Ufa: IG USC RAS Publ., 112-115. (In Russian)
- Alexeev A.A., Timofeeva E.A. (2008) Rare-earth phosphates in the rocks and alluvium in the Southern Urals western slope. *Lithosfera*, (1), 140-145. (In Russian)
- Arifulov Ch.H., Arsent'eva I.V., Ozherel'eva A.V. (2013) Zolotorudnye mestorozhdeniya v riftogennykh chernoslantsevyykh otlozheniyakh Yuzhnogo Urala [Gold ore deposits in riftogenic black shale of the Southern Urals]. Moscow, TsNIGRI Publ., 108 p. (In Russian)
- Balashov Yu.A. (1976) *Geokimiya redkozemel'nykh elementov* [Geochemistry of rare earth elements] Moscow, Nauka Publ, 273p. (In Russian)
- Benevolsky B.I., Myzenkova L.F., Avgustinchik I.A. (2007) Mineral and raw materials base of precious metals – a retrospective and forecast. *Rudy i metally*, (3), 25-91. (In Russian)
- Buryak V.A., Bakulin Yu.I. (1998) *Metallogeniya zolota* [Metallogeny of gold]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 403 p. (In Russian)
- Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1 : 200 000. Seriya Yuzhno-Ural'skaya. List N-40-XXII (1967) [Geological map of USSR with scale 1 : 200 000. Serie Yuzhno-Uralskaya. Sheet N-40-XXII]. Moscow, Nedra Publ. (In Russian)
- Glushkova E.G., Nikiforova Z.S. (2011) Forecasting of the indigenous sources of gold at the Urinsky anticlinorium (the Pre-Patom basin). *Materialy II Mezhdunarodnogo foruma, posvyashchennogo 110-letiyu so dnya rozhdeniya Yu.A. Bilibina* [Materials of the II International Forum, dedicated to the 110<sup>th</sup> anniversary of the birth of Yu.A. Bilibin]. Magadan, SVKNII DVB of RAS, 123–125. (In Russian)
- Ivanov A.I. (2014) *Zoloto Baikalo-Patoma (geologiya, orudneniye, perspektivy)* [Gold of the Baikal-Patoma (geology, mineralization, prospects)]. Moscow, FGUP TsNIGRI Publ., 215 p. (In Russian)
- Kovalev S.G., Timofeeva E.A., Pindyurina E.O. (2009) Monazite mineralization of western slope Southern Urals. *Geologicheskii sbornik No 8. Inform. materialy IG USC RAS* [Geological collection No. 8. Inform. Materials of IG USC RAS]. Ufa, DisainPoligrafServis Publ., 138-144. (In Russian)
- Kovalev S.G., Vysotskii I.V., Michurin S.V., Kovalev S.S. (2013) Geology, mineralogy and metallogenic specialization of carbonaceous strata in Uluelga-Kudashmanovskaya zone (west slope of the Southern Ural). *Lithosfera*, (3), 67-88. (In Russian)
- Meffre S., Large R.R., Scott R., Woodhead J., Chang Zh., Gilbert S.E., Danyushevsky L.V., Maslennikov V., Hergt J.M. (2008) Age and pyrite Pb-isotopic composition of the giant Sukhoi Log sediment-hosted gold deposit, Russia. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **72**(9), 2377-2391. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016703708001191>
- Michurin S.V., Sharipova A.A. (2015) Isotope-geochemical features of ore occurrence of gold Bogryashka (the Southern Urals). *Geologicheskii sbornik*, (12), 144-159. (In Russian)
- Palenova E., Belogub E., Lebedeva S., Shtenberg M., Mironov A., Khvorov P. (2014) Florencite from gold bearing black shale from Lena gold province, Eastern Siberia, Russia. *XXI General Meeting of the International Mineralogical Association (IMA-2014)*. Johannesburg, 344.
- Palenova E.E., Belogub E.V., Plotinskaya O.Y., Novoselov K.A., Maslennikov, V.V., Kotlyarov V.A., Blinov I.A., Kuzmenko A.A., Griboedova, I.G. (2015) Chemical evolution of pyrite at the Kopylovsky and Kavkaz black shale-hosted gold deposits, Bodaibo district, Russia: Evidence from EPMA and LA-ICP-MS data. *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **57**(1), 64-84. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1134/S107570151501002X.pdf>
- Palenova E.E., Kotlyarov V.A., Belogub E.V., Kovalev S.G. (2016) Tipomorphism of rare-earth phosphates of alluvial deposits of the western slope of the Southern Urals. *Geologiya, poleznye iskopaemye I problemy geoekologii Bashkortostana i sopredel'nykh territorii: Materialy I doklady 11 Mezhhregionalnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 65-letiyu Instituta geologii USC RAS*, [“Geology, minerals and problems of geology of Bashkortostan, the Urals and adjacent territories” Proc. 11 Interregional Scientific and Practice Conf., dedicated to the 65th anniversary of the Institute of Geology, Ufa Science Center, Russian Academy of Sciences.], Ufa, DisaynPress Publ., 108-111. (In Russian)
- Rasmussen B. (1996) Early-diagenetic REE-phosphate minerals (florencite, gorceixite, crandallite, and xenotime) in marine sandstones: a major sink for oceanic phosphorus. *Amer. J. Sci.*, **296**, 601-632. <http://www.ajsonline.org/content/296/6/601.full.pdf+html>
- Rasmussen B., Fletcher I. R., McNaughton Neal J. (2001) Dating lowgrade metamorphic events by SHRIMP U-Pb analysis of monazite in shales. *Geology*, **29**, 963-966. [http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613\(2001\)029<0963:DLGM EB>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<0963:DLGM EB>2.0.CO;2)
- Rasmussen B., Fletcher I. R., Muhling J. R. (2007) In situ U-Pb dating and element mapping of three generations of monazite: Unravelling cryptic tectonothermal events in low-grade terranes. *Geochim. Cosmochim. Acta* **71**, 670-690. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016703706021703>
- Rykus M.V., Andreev N.I., Murkin V.P., Maslov A.V., Snachev V.I. (1993) *Uglerodistyie otlozheniya dokembriya Yuzhnogo Urala* [Carboniferous Precambrian deposits of the Southern Urals]. Ufa, IG USC RAS Publ., 40 p. (In Russian)
- Sazonov V.N., Ogorodnikov V.N., Koroteev V.A., Poleonov Yu.A. (1999) *Mestorozhdeniya zolota Urala* [Deposits of gold in the Urals]. Ekaterinburg: UGGGA Publ., 570 p. (In Russian)
- Snachev A.V., Snachev I.V., Rykus M.V. Savel'yev D.E., Bazhin E.A., Ardislamov F.R. (2012) *Geologiya, petrogeokhimiya i rudonosnost' uglerodistykh otlozhenii Yuzhnogo Urala* [Geology, petrogeochemistry and ore content of carbon deposits of the Southern Urals]. Ufa, DisaynPress Publ., 208 p. (In Russian)
- Yudovitch Ya.E., Ketris M.P. (1994) *Elementy-primesi v chernykh slantsakh* [Elements-impurities in black shales]. Ekaterinburg, UIF Nauka Publ., 304 p. (In Russian)
- Yudovskaya M.A., Distler V.V., Mokhov A.V., Rodionov N.V., Antonov A.V., Sergeev S.A. (2011) Relationship between metamorphism and ore formation at the Sukhoi Log gold deposit hosted in black slates from the data of U-Th-Pb isotopic shrimp-dating of accessory minerals. *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **53**(1), 27-57.