

## МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОТЛОЖЕНИЙ БЕРДАГУЛОВСКОЙ ПОДСВИТЫ СУРАНСКОЙ СВИТЫ НИЖНЕГО РИФЕЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ШЛИХОВОГО ОПРОБОВАНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2018 г. А. Г. Захарова, С. В. Мичурин, А. А. Шарипова

*Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа*

### Введение

Выходы отложений суранской свиты приурочены к Ямантаускому антиклинорию, который входит в состав Башкирского мегантиклинория (БМА) на Южном Урале. В нем выделяют большеинзерскую, суранскую и юшинскую свиты нижнего рифея, которые являются стратиграфическими аналогами соответственно айской, саткинской и бакальской свит северной части БМА [14]. Отложения суранской свиты простираются в субмеридиональном направлении и занимают обширную территорию, самую большую по сравнению с выходами других нижнерифейских свит. Вместе с тем, несмотря на значительную мощность и площадь выходов свиты, имеются только единичные публикации, в которых с той или иной степенью детальности затрагиваются вопросы ее минералогии и геохимии [5, 10, 3, 12]. Большинство этих работ было опубликовано в конце прошлого столетия около 20–30 лет назад, когда часто основным геохимическим методом являлся приближенно-количественный спектральный анализ, уступающий по точности современным аналитическим методам. Сведения по минералогии отложений нижнего рифея Ямантауского антиклинория известны, главным образом, благодаря работам Н.Д. Сергеевой [15, 16, 17 и др.] в которых, однако, основными объектами являлись породы большеинзерской и юшинской свит.

Мы провели минералогическое и геохимическое изучение шлиховой пробы, отобранной из аллювиальных отложений вблизи устья ручья Караелга, дренирующего породы бердагуловской подсвиты суранской свиты. Ручей является водотоком долины р. Б. Авзян и расположен севернее д. Исмакаево (рис. 1). Он протекает почти строго по отложениям бердагуловской подсвиты, что дает возможность охарактеризовать ее минералогические и геохимические особенности. Породы здесь представлены в основном низкоуглеродисто-глинистыми сланцами с маломощными прослоями карбонатных пород и, видимо, вследствие темного, почти черного цвета сланцев ручей и получил свое название. «Караелга» в переводе означает «Черная речка». Донные отложения ручья действительно сильно насыщены небольшими обломками темно-серых и черных сланцев, что в целом придает его руслу и берегам темную окраску. Целью исследований являлось установление минералогического состава отложений подсвиты и их геохимических особенностей. Кроме того, одной из задач изучения являлась проверка золотоносности аллювиальных отложений ручья, поскольку он впадает в р. Б. Авзян, известную своими богатыми золотоносными россыпями в Авзянском рудном районе.

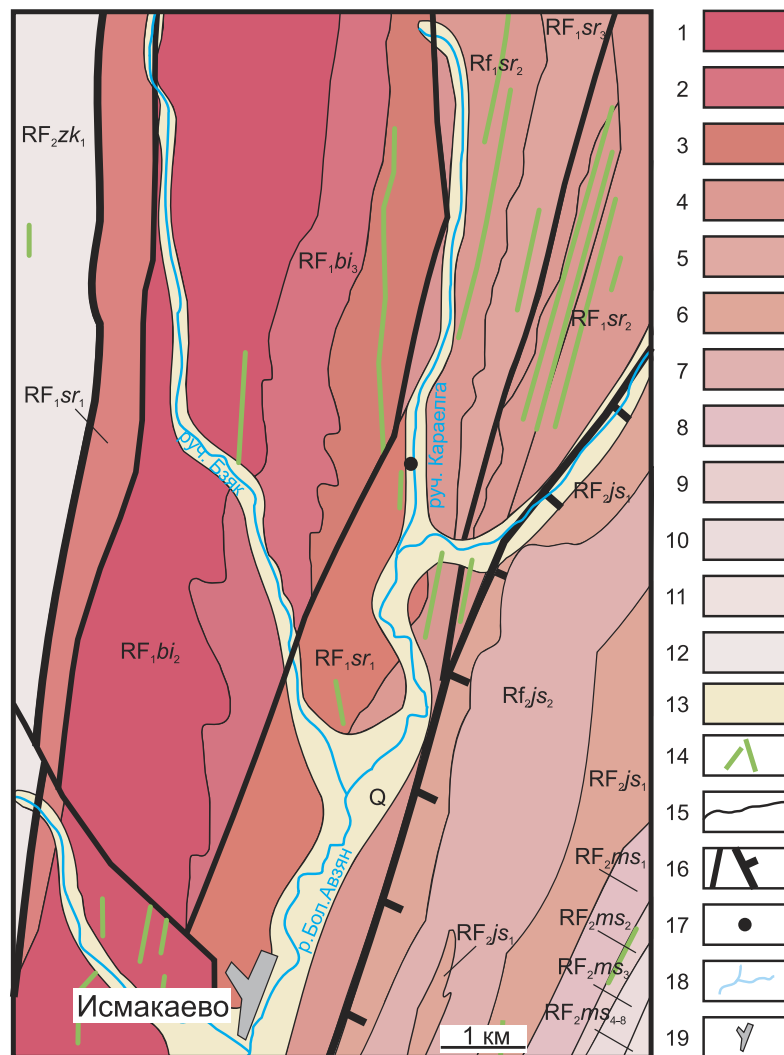
### Геологическое положение

Суранская свита в нижней и верхней частях разреза сложена карбонатными породами, в средней — сланцами, алевролитами и песчаниками. Она подразделяется (снизу вверх) на миньякскую, бердагуловскую, ангастакскую, сердаукскую и лапыштинскую подсвиты. Миньякская подсвита (мощность 300–400 м) сложена преимущественно доломитами и известняками с маломощными прослоями низкоуглеродисто-глинистых и глинистых сланцев. Бердагуловская подсвита (мощность 400–550 м) представлена глинистыми, низкоуглеродисто-глинистыми и карбонатно-низкоуглеродисто-глинистыми сланцами с прослоями известняков и доломитов. Ангастакская подсвита (мощность 200–650 м) сложена кварцевыми алевролитами, глинистыми и серицит-кварцевыми сланцами, мергелями с прослоями известняков и доломитов. Сердаукская подсвита (мощность 200–600 м) представлена преимущественно глинистыми и низкоуглеродисто-глинистыми сланцами,

алевролитами с прослоями известняков и доломитов. Лапыштинская подсвита (мощность 200–550 м) сложена известняками и доломитами с прослоями алевролитов, мелкозернистых песчаников и низкоуглеродисто-глинистых сланцев (см. рис. 1) Ручей Караелга протекает в Белорецком районе Республики Башкортостан. Его устье находится в 40 км по правому берегу р. Б. Авзян, которая входит в речной подбассейн р. Белая.

### Методика исследований

Проба (М-1008) для шлихового анализа отобрана из неглубокого копуша в месте отмели. Вес отобранной и просеянной (–5 мм) пробы составил около 20–25 кг. После этого она была промыта в лотках до серого шлиха весом около 0.4–0.5 кг. Затем ее разделили на две части, одну из которых подвергли минералогическому анализу, а другую истерли и отправили на геохимическое изучение.



**Рис. 1.** Геологическая схема отложений нижнего рифея в районе д. Исмакаево (по [9]) и место отбора шлиховой пробы в руч. Караелга

**Условные обозначения:** 1–7 — отложения нижнего рифея, свиты: 1–2 — большеинзерская, подсвиты: 1 — средняя (RF<sub>1</sub>bi<sub>2</sub>), 2 — верхняя (RF<sub>1</sub>bi<sub>3</sub>); 3–5 — суранская, подсвиты: 3 — миньякская (RF<sub>1</sub>sr<sub>1</sub>), 4 — бердагуловская (RF<sub>1</sub>sr<sub>2</sub>), 5 — ангастакская (RF<sub>1</sub>sr<sub>3</sub>); 6–7 — юшинская, подсвиты: 6 — вязовская (RF<sub>1</sub>js<sub>1</sub>), 7 — багарыштинская (RF<sub>1</sub>js<sub>2</sub>); 8–12 — отложения среднего рифея, свиты: 8–11 — машакская, подсвиты: 8 — кузьелгинская (RF<sub>2</sub>ms<sub>1</sub>), 9 — казавдинская (RF<sub>2</sub>ms<sub>2</sub>), 10 — быковская (RF<sub>2</sub>ms<sub>3</sub>), 11 — верхняя (RF<sub>2</sub>ms<sub>4-8</sub>); 12 — зигальгинская (RF<sub>2</sub>zk<sub>1</sub>); 13 — четвертичные отложения (Q); 14 — дайки магматических пород; 15 — границы свит; 16 — тектонические нарушения разного порядка; 17 — место отбора пробы; 18 — реки и ручьи; 19 — д. Исмакаево.

Минералогический анализ проводился по стандартным методикам [8, 4] и включал следующие операции: разделение в бромформе, сепарация магнитом с выделением магнитной и немагнитной фракции, разделение электромагнитом с выделением электромагнитной и неэлектромагнитной фракции. Каждая операция сопровождалась взвешиванием выделенных классов. Затем проводилось изучение и определение минералов под бинокулярным микроскопом, описание минералогического состава каждой фракции, определение процентного соотношения минералов и отбор отдельных минералов для изучения рентгенофазовым анализом и под растровым электронным микроскопом.

Геохимическое изучение включало следующие виды анализов: рентгенофлуоресцентный, атомно-абсорбционный, рентгеноспектральный с индуктивно связанной плазмой (ISP-AES) и определение химического состава отдельных минералов на растровом электронном микроскопе (РЭМ) JEOL JSM 7100F.

Определение петрогенных окислов,  $S_{\text{общ}}$ , Cl и редких элементов (Zn, Ni, Co, Cu, Pb, Cr, V, Y, Nb, Sc, Sr, Rb, Zr, Ba) проведено рентгенофлуоресцентным анализом (РФА) на спектрометре VRA-30 (фирма «Карл Цейсс», г. Йена, Германия) с использованием рентгеновской трубки с W-анодом (30 кВ, 40 мА) в ИГ УФИЦ РАН.

Атомно-эмиссионное определение элементов (Ti, Fe, Mn, Mg, Ca, P, Li, Be, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Eu, Dy, Yb, Pb) с индуктивно связанной плазмой (метод ИСП АЭС) выполнено на спектрометре ICPE-9000 (Shimadzu, Япония) с распылителем VeeSpray и стеклянной распылительной камерой циклонного типа в Институте нефтехимпереработки (г. Уфа) с пробоподготовкой в ИГ УФИЦ РАН, аналитик З.Р. Биктимерова. Использованы растворы многоэлементных и одноэлементных стандартов производства High-Purity Standards (США), а также государственные стандартные образцы горных пород СГД-2а (габбро эссекситовое), ГБПг-1 (гранат-биотитовый плагиогнейс), СГХМ-3 (карбонатно-силикатные рыхлые отложения) и некоторые другие производства Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (Россия). Разложение проведено открытым способом. Использованы соляная, азотная и фтористоводородная кислоты марки «осч», дополнительно очищенные в системе перегонки кислот BSB-939-IR (Berghof, Германия), а также хлорная кислота  $\text{HClO}_4$  производства Panreac (Испания). Для приготовления растворов использована деионизированная вода, полученная с помощью системы Direct-Q3 Smart Millipore (Франция). Навеска образца составляла 100 мг. Более подробно методика проведения анализа описана в работе [11].

Рентгенофазовый анализ проведен на дифрактометре ДРОН-4 (аналитик Г.С. Ситдикова, ИГ УФИЦ РАН), в котором реализован фокусный метод (схема гониометра «Брэгг-Брентано»). Съемка выполнена в  $\text{Cu K}\alpha$  излучении. Для расчетов использована длина волны  $\text{K}\alpha 1 = 1.54060 \text{ \AA}$ , полученная при напряжении и токе на рентгеновской трубке 40 кВ и 40 мА, соответственно. Съемка осуществлена с шагом  $0.02^\circ$  и временем счета, равным 10 с. Навеска образцов составляла 100–1000 мг.

Атомно-абсорбционный анализ выполнен на спектрофотометре Спектр-5 в ИГ УФИЦ РАН, аналитик Н.Г. Христофорова. Определение Au и Ag проведено с экстракционным концентрированием дифинилтиомочевиной в пробе навеской 10 г. Предел обнаружения при измерении Au составлял 0.01 мкг/мл, Ag — 0.001 мкг/мл.

### Результаты исследований и их обсуждение

После разделения в бромформе пробы общим весом 177.7 г выделены легкая (70.5 мас. %) и тяжелая (29.5 мас. %) фракции. Последняя подверглась разделению магнитом с выделением магнитной (3.1 мас. % от общего веса тяжелой фракции) и немагнитной (96.9 мас. %) фракции. В результате разделения на электромагните немагнитной фракции были получены электромагнитная (96.8 мас. %) и неэлектромагнитная (3.2 мас. %) фракции.

При минералогическом изучении в тяжелой фракции были определены следующие минералы.

**Магнетит** темного, почти черного цвета встречается в неправильных зернах и иногда в виде октаэдров. Часто покрывается охристо-желтым налетом лимонита.

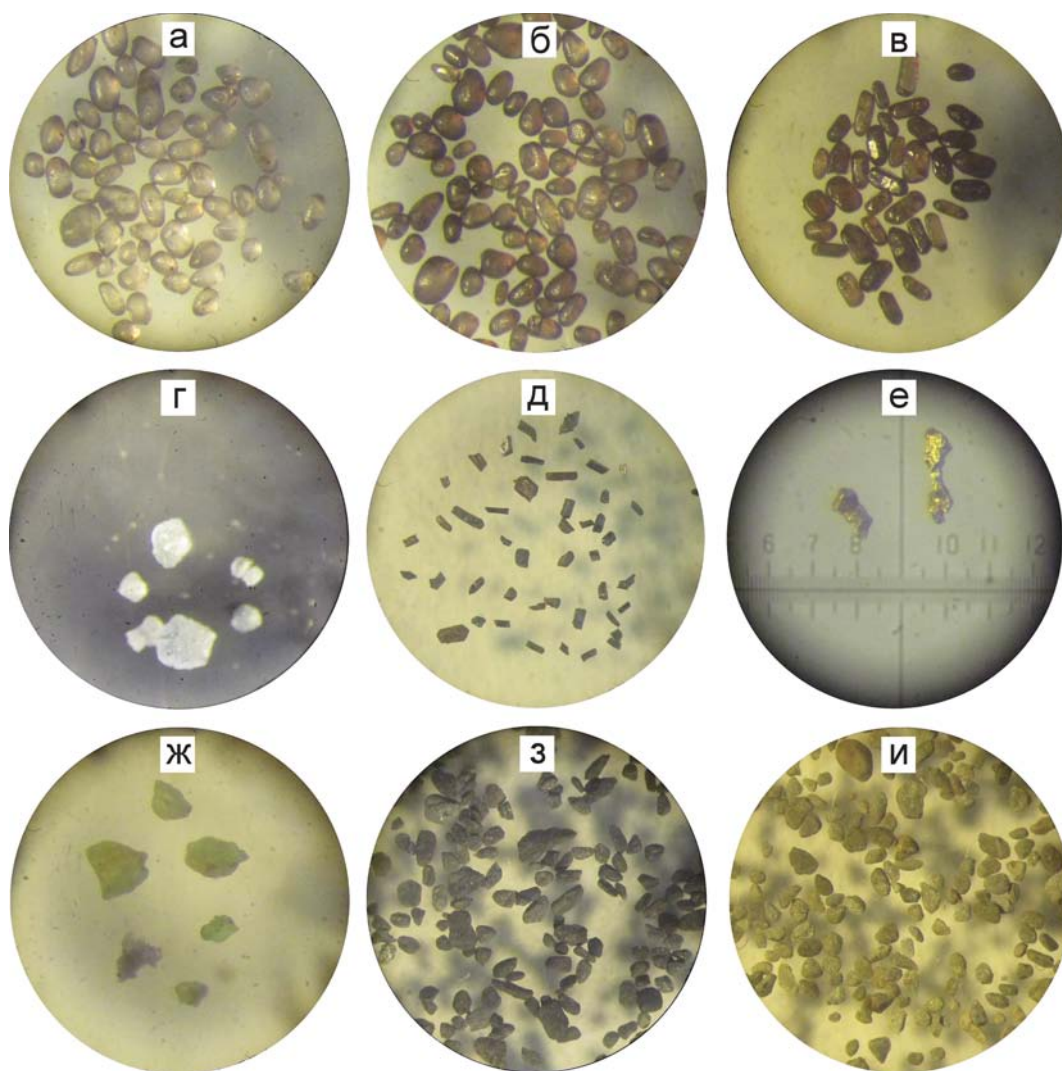
**Пирит** красновато-бурого цвета (лимонит?) наблюдается в кристаллах кубической сингонии. Присутствуют единичные «свежие» зерна латунно-желтого цвета.

**Гетит** встречается в виде почковидных зерен черного цвета.

**Циркон** присутствует преимущественно в окатанных и полуокатанных зернах, округлой и сфероидальной формы. Размер зерен колеблется от 0.12–0.16 до 0.36–0.60 мм, преобладают зерна размером 0.24–0.31 мм. Большею частью встречаются цирконы розового и красного (рис. 2а, б) цвета. Изредка присутствуют цирконы темно-красного и серого цветов, иногда с лиловым оттенком. Встречаются прозрачные, полупрозрачные и непрозрачные разновидности. В некоторых кристаллах наблюдаются газово-жидкие включения. В отдельных зернах отмечаются вмятины, заполненные другим, не диагностируемым минералом.

Призматические кристаллы циркона, которые, вероятно, относятся к цирконовому и гиацинтовому типам [15], по сравнению с окатанными цирконами встречаются реже (рис. 2в). Их размер колеблется от 0.11–0.26 до 0.17–0.42 мм.

**Апатит** представлен бесцветными, прозрачными и полупрозрачными обломками неправильной формы с шероховатой поверхностью (рис. 2г). Качественная реакция на 10% раствор соляной кислоты и молибденовокислого аммония показывает присутствие фосфора в составе этого минерала.



**Рис. 2. Фотографии некоторых минералов шлиховой пробы из руч. Караелга**

**Условные обозначения:** а — циркон светло розового цвета; б — циркон красного цвета; в — призматические кристаллы циркона; г — апатит; д — рутил; е — золото; ж — флюорит; з–и — зерна, состоящие из кварца, мусковита, клинохлора, полевого шпата и рутила: з — зерна болотно-зеленого цвета; и — зерна бледно-зеленого и голубовато-серого цвета.

**Рутил** наблюдается в удлиненной (столбчатой) форме, часто в призмах «карандашиках» и колечатых двойниках, в основном со сростками (рис. 2д). Цвет рутилов темный до черного (нигрин), реже — коричневый. Размер зерен варьирует от 0.19–0.28 до 0.48–0.96 мм, преобладают зерна размером 0.31–0.69 мм. Анализ зерен рутила на растровом электронном микроскопе показывает, что в его составе часто отмечается примесь Cr (0.12–0.75 мас. %), в одном случае установлена примесь Mn (0.07 мас. %).

**Золото** отмечено в двух тонких пластинках золотисто-желтого цвета, размерами 0.06–0.18 и 0.07–0.31 мм (рис. 2е). Поверхность золотин неровная, ямчатая. При большом увеличении на растровом электронном микроскопе с высоким (до 0.4 нм) пространственным разрешением (рис. 3) поверхность золота выглядит слабоокатанной, ноздреватой и участками дендритообразной. Установлен состав золота: Au — 93.25–95.50 мас. % (среднее 94.27 мас. %, n = 7), Ag — 4.49–6.75 мас. % (среднее 5.73 мас. %) Au/Ag отношение в среднем равно 16.5.

По химическому составу найденные пластинки Au отличаются от золота Исмакаевской рудной зоны, от которой руч. Караелга протекает в нескольких км северо-восточнее. В золоте этой зоны, встречающегося в коренных породах отношение Au/Ag находится стабильно на уровне 5–8 [13], найденного в коре выветривания — 27–28 [6]. В Горноприисковой рудной зоне, расположенной в ~10–15 км южнее исследуемого участка, отношение Au/Ag составляет более 21 [13], что также отличается от фиксируемого в золоте из руч. Караелга. Из приведенных материалов следует, что найденное золото по химическому составу не схоже с золотом из коренных рудопоявлений Авзянского рудного района и этот факт требует дополнительного изучения с привлечением большего количества аналитических данных. Измеренное Au/Ag отношение наиболее близко к таковому в золоте руч. Черный ключ или р. Сухая Кургашля [6], которые, однако, находятся довольно далеко за пределами района исследований.

Вместе с тем отметим, что по результатам атомно-абсорбционного анализа в пробе из руч. Караелга Au находится ниже предела обнаружения (<0.1 г/т), что, по-видимому, объясняется неравномерным распределением золота в пробе. Содержание Ag составляет 0.47 г/т.

**Гранат** представлен кристаллами додекаэдров и многогранников более сложной формы красного цвета. Размер зерен варьирует от 0.21–0.25 до 0.34–0.39 мм.

**Флюорит** встречается в виде неправильных зерен фиолетового, светло-фиолетового и зеленого цвета (рис. 2ж).

**Эпидот** присутствует в угловато-окатанных неправильных формах и призматических обломках, иногда с вертикальной штриховкой. Цвет эпидота зеленый, желтовато-зеленый, фисташково-зеленый. Иногда он содержит включения темноцветных минералов.

Основную часть минералов легкой фракции составляет **кварц**, который присутствует в виде желтоватых, молочно-белых, серых зерен, неправильной и угловатой формы. Наблюдаются прозрачные и полупрозрачные разновидности, часто слабожелезные.

Шлиховая проба М-1008 была также изучена рентгенофазовым анализом, основной задачей которого являлось идентификация различных фаз в их смеси на основе интерпретации

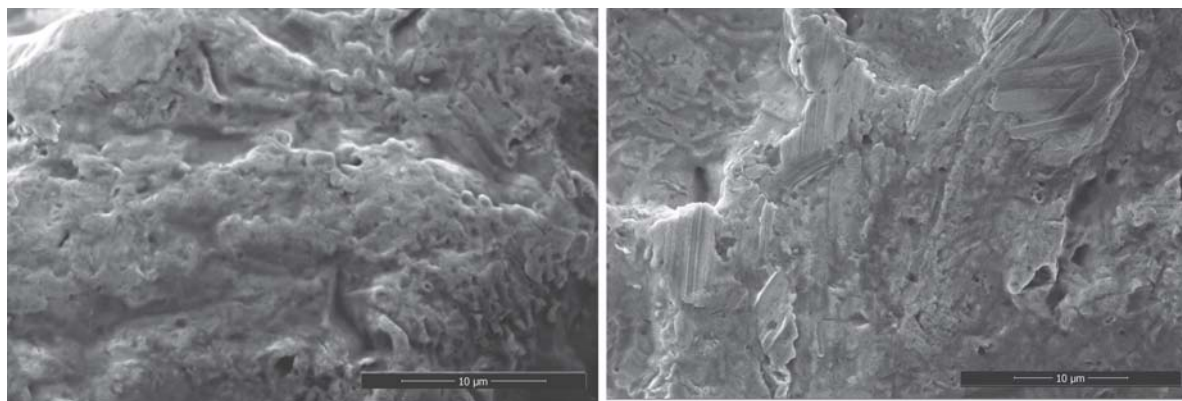


Рис. 3. Поверхность золота из руч. Караелга

дифракционной картины. Определение минералов в истертой смеси проводилось по набору их межплоскостных расстояний и относительным интенсивностям соответствующих линий на рентгенограмме. Результаты анализа представлены на рис. 4. Полученные данные по составу минералов при микроскопических наблюдениях в целом согласуются с результатами изучения рентгенофазового анализа исходной шлиховой пробы. По результатам рентгенофазового анализа помимо описанных выше минералов выявлено также небольшое содержание титанита, гематита, монацита и доломита. Процентное содержание всех установленных минералов и d/n их наиболее интенсивных отражений приводится в табл. 1.

Таблица 1

**Минералогический состав по результатам рентгенофазового анализа и d/n наиболее интенсивных отражений шлиховой пробы из руч. Караелга**

	Содержание (%)	d/n наиболее интенсивных отражений
Кварц	65,0–75,0	4,2542; 3,3435; 2,4575; 2,2813; 1,8187; 1,5423; 1,3829; 1,3761; 1,3729
Мусковит	2–2,5	9,9806; 5,0051; 4,4482
Альбит	2,0	2,5894
Гетит	5,0	4,1867; 2,4502
Титанит	1–1,2	3,2409; 2,9922
Рутил	1–1,2	3,2479; 2,4867
Магнетит	0,7–1,0	25,1900
Гематит	2–2,5	2,6984
Эпидот	2–2,5	2,8881; 2,3946
Анортит	4,0	4,0256; 3,1977
Клинохлор	1,5	6,2281
Циркон	0,2–0,4	2,2924
Флюорит	0,2–0,4	1,9271
Монацит	0,5–0,9	2,8630; 1,9633
Пирит	0,5–0,7	2,7079
Доломит	0,5–0,7	2,8881

В легкой фракции часто встречаются зерна болотно-зеленого цвета в пластинчатой и полуокатанной форме, которые очень похожи на хлорит (рис. 2з), а также зерна бледно-зеленого и голубовато-серого цвета, нередко слабожелезненные, схожие с серицитом (рис. 2и). Однако рентгенофазовый анализ отобранных 100 мг навесок этих зерен показывает, что они представляют собой агрегаты сразу нескольких минералов, главными из которых являются **кварц** (50–55%), **мусковит** и **клинохлор** (каждого 15–25%), **полевого шпат** (альбит, анортит) (10–15%) и в меньшей степени присутствует **рутил** (1–1.5%) (рис. 4б). Обе изученные фракции, несмотря на их четкое цветовое различие, по минералогическому составу оказались практически идентичными.

По результатам геохимического изучения шлиховой пробы методами РФА и ИСП АЭС выявлены сравнительно высокие содержания Cr, Co, Ni, Zn, Pb, Y, Zr, а также редкоземельных элементов (РЗЭ), концентрация которых в сумме составляет около 600 г/т (табл. 2). Судя по установленному минералогическому составу шлиховой пробы, наиболее вероятными минералами концентраторами лантаноидов являются апатит и монацит.

Повышенные концентрации Zr, а также, вероятно, и Y, обусловлены сравнительно высоким содержанием в пробе циркона. По материалам Н.Д. Сергеевой [18] цирконы, встречающиеся в рифейских отложениях БМА, довольно значительно обогащены Y. Концентрация Zr по результатам РФА в пробе составляет около 650 г/т, что предполагает содержание циркона в пробе на уровне 0.1 мас. %. Более низкое значение концентрации циркония в пробе по данным ИСП АЭС, по-видимому, менее достоверно и обусловлено неполным химическим вскрытием трудно растворимого циркона при открытом способе пробоподготовки.



Таблица 2

**Химический состав исходной шлиховой пробы М-1008 (мас. %), содержание в ней и в глинистом сланце суранской свиты редких и редкоземельных элементов (г/т)**

элемент	РФА	ИСП АЭС	Глинистый сланец	элемент	РФА	ИСП АЭС	Глинистый сланец
SiO <sub>2</sub>	73,28	—	—	Ni	33,0	151,8	12,9±3,7
TiO <sub>2</sub>	1,33	0,93	—	Cu	58,2	79,6	9,8±3,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,43	3,90	—	Zn	77,0	97,5	25,1±9,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	11,71	17,84	—	As	107,5	—	—
MnO	0,073	0,067	—	Rb	21,1	—	65,9±21,8
MgO	2,46	0,82	—	Sr	37,8	105,4	27,4±25,0
CaO	1,55	1,43	—	Y	33,0	35,5	9,8±2,6
Na <sub>2</sub> O	0,27	0,20	—	Zr	654,8	223,9	77,8±23,7
K <sub>2</sub> O	0,55	—	—	Nb	5,0	17,8	7,4±2,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,173	0,141	—	Mo	—	0,7	3,3±2,2
S <sub>общ</sub>	0,029	—	—	Ba	458,3	246,7	343,9±127,1
ППП	3,55	—	—	La	—	146,0	25,3±9,0
сумма	99,39	—	—	Ce	—	306,2	50,5±16,6
Li	—	3,6	20,3±5,9	Pr	—	21,8	—
Be	—	1,5	—	Nd	—	114,9	21,8±6,6
Cl	—	—	—	Eu	—	7,4	0,7±0,2
Sc	15,7	6,4	6,7±1,9	Dy	—	8,4	—
V	164,3	138,8	79,3±28,2	Yb	—	3,9	1,6±0,3
Cr	112,6	202,6	36,7±11,1	Pb	48,5	46,2	4,9±2,4
Co	103,5	79,7	3,5±1,9	ΣREE	—	596,3	—

**Примечание:** глинистый сланец — данные ИСП МС по глинистому сланцу суранской свиты по [7].

Co и Ni, как сидерофильные элементы, имеющие высокое сродство с железом, вероятнее всего, связаны с железосодержащими минералами гетитом, гематитом и магнетитом, содержание которых, как и общее содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> общ в пробе, довольно высокое. Судя по результатам, полученным по химическому составу рутила на растровом электронном микроскопе, высокие концентрации Cr в пробе могут быть связаны с этим минералом.

Сравнительный анализ геохимического распределения в пробе редких и редкоземельных элементов показывает наибольшее концентрирование в ней Co и Ni (см. табл. 2 и рис. 5). Если провести нормирование их концентраций в пробе на среднее содержание в глинистых сланцах суранской свиты (RF<sub>1,sr</sub>), данные по которым мы заимствовали из работы С.Г. Ковалева с соавторами [7], значения по ним составят приблизительно 23 и 12 соответственно. Следующие элементы в пробе, имеющие наибольшее концентрирование по сравнению с глинистыми сланцами RF<sub>1,sr</sub>, это — халькофильные элементы Pb и Cu, содержание которых в шлихе больше в 8–9 раз. Появление их концентраций, по-видимому, объясняется возможным присутствием в пробе незначительного количества сульфидных минералов (халькопирита и галенита). Далее по уменьшению значений нормирования содержаний элементов в шлиховой пробе на среднее содержание элементов в глинистых сланцах суранской свиты располагаются редкоземельные элементы La, Ce и Nd. Их значения варьируют в очень узких пределах около 6 и близки между собой, что, вероятно, связано с их совместным вхождением в один и тот же минерал или минералы.



Здесь следует отметить, что проведенное нормирование содержаний этих элементов в шлиховой пробе на их среднее содержание в габбро-долеритах Авзянского рудного района, показывает несколько другие значения и немного отличающуюся картину распределения от нормирования на среднее содержание в глинистых сланцах  $RF_1sr$ . Для построения диаграммы (см. рис. 5) мы использовали данные анализов, выполненных нами методом ИСП МС в ИГГ УрО РАН (аналитик Д.В. Киселева г. Екатеринбург) по образцам габбро-долеритов Исмакаевской рудной зоны из коллекции А.А. Алексева. Наиболее сильное отличие в трендах распределения элементов фиксируется между шлиховой пробой и габбро-долеритами Юшинского комплекса, выходы которых отмечаются примерно в 7 км юго-западнее руч. Караелга в пределах площади рудопроявления Улюк-Бар и которые относятся А.А. Алексевым [1] к нижнерифейскому комплексу. Вместе с тем габбро-долериты, взятые из выходов вблизи ручьев Б. Ключ и Кургашля, расположенных сравнительно недалеко от «Черной речки», показывают близкий геохимический тренд распределения с шлиховой пробой, имеющий незначительные отличия. Из приведенных материалов можно сделать вывод, что минералогические и геохимические особенности шлиховой пробы в основном наследуются из низкоуглеродисто-глинистых сланцев бердагуловской подсвиты и в меньшей степени из габбро-долеритов, развитых вблизи руч. Караелга. Появление редкоземельной минерализации (монацита, апатита) в шлиховой пробе, вероятно, связано с ее широким присутствием в осадочных нижнерифейских породах, в которых она образовалась в результате метаморфогенных процессов [2].

Li, Sc, V, Mo, Ba по сравнению со средними содержаниями в глинистых сланцах  $RF_1sr$  находятся в шлиховой пробе в меньших или близких концентрациях (значения их нормирования колеблются от 0.2 до 1.75), что, по-видимому, объясняется вхождением этих элементов в минералы легкой фракции (кварц, мусковит, клинохлор), которые в отличие от тяжелых минералов не концентрируются в шлихе. Присутствие в этой группе Ba показывает, что этот элемент не входит в состав барита, минерала тяжелой фракции, а является примесью, вероятно, в мусковите.

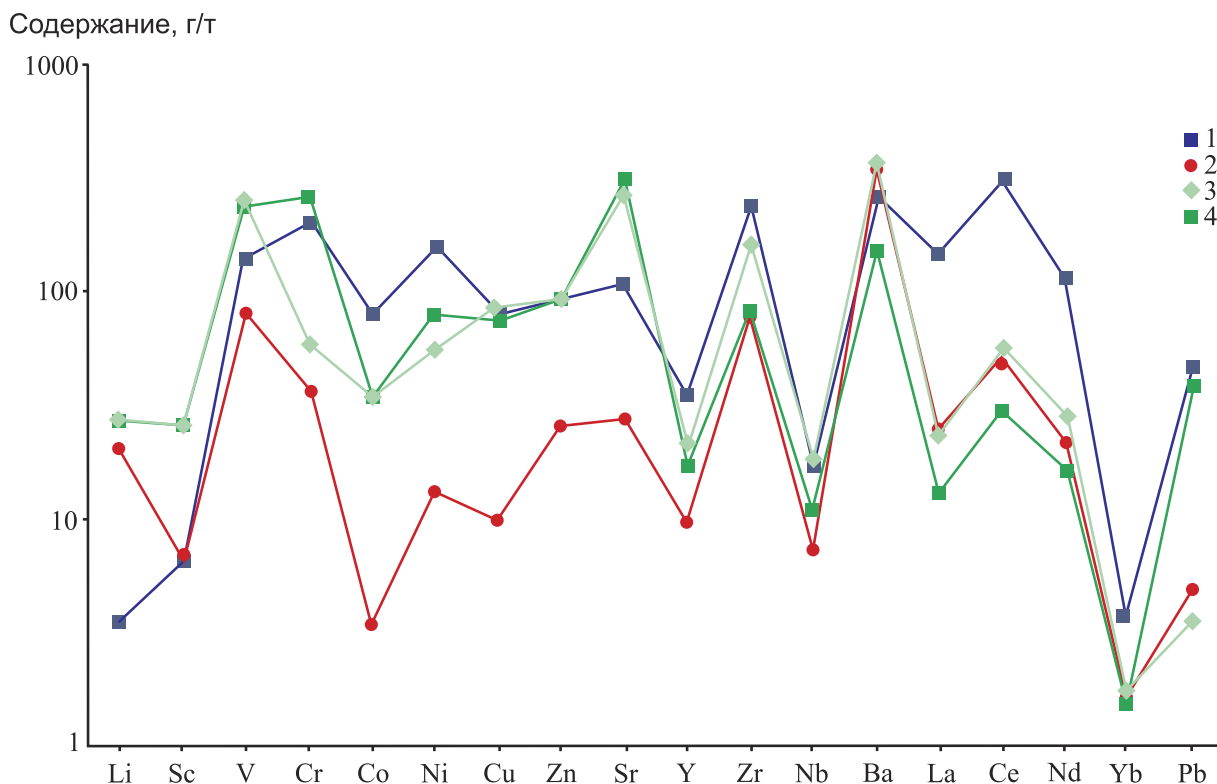


Рис. 5. Геохимические тренды распределения элементов в шлиховой пробе из руч. Караелга (1), в глинистых сланцах суранской свиты (по [7]) (2), габбро-долеритах, взятых из выходов вблизи ручьев Б. Ключ и Кургашля (3), габбро-долеритах нижнерифейского Юшинского комплекса (4)

### Заключение

Минералогическое изучение шлиховой пробы из руч. Караелга, протекающего по отложениям бердагуловской подлитвы, показывает, что в составе ее легкой фракции (около 70 мас. % пробы) основным минералом является кварц, полевые шпаты (альбит – анортит), в сумме составляющими приблизительно 5–6% пробы, и в небольшом количестве (до 3–3.5%) присутствуют мусковит и клинохлор.

Преобладающим минералом тяжелой фракции являются гетит (около 5% пробы). В меньшей степени встречаются (по мере убывания) гематит, эпидот, рутил, титанит, количество каждого из которых варьирует от 1 до 2.5%. В незначительном количестве (менее 0.5–1%) присутствуют магнетит, монацит, доломит, флюорит, циркон, пирит, гранат, апатит. Кроме того, обнаружены две слабоокатанные тонкие пластинки золота, в котором установлена высокая пробность (около 940) и Au/Ag отношение, в среднем равное 16.5. Вместе с тем содержание в пробе Ag составляет около 0.5 г/т, а Au находится ниже предела обнаружения атомно-абсорбционного анализа (<0.1 г/т), что, по-видимому, объясняется малым количеством и не равномерным распределением золота в пробе. Найденные пластинки Au по химическому составу несколько отличаются от золота из коренных рудопоявлений Авзянского рудного района, что требует дополнительного изучения с привлечением большего количества аналитических данных.

По результатам геохимического изучения в пробе выявлены сравнительно высокие содержания Co, Cr, Ni, Zn, Pb, Y, Zr, а также РЗЭ, которые в сумме составляют около 600 г/т. Наиболее вероятными минералами концентраторами лантаноидов являются апатит и монацит. Co и Ni, вероятнее всего, связаны с железосодержащими минералами (гетит, гематит, магнетит), Y – с цирконом, количество которого по результатам РФА составляет около 0.1 мас.%, Cr – с рутилом, в котором установлена постоянная примесь хрома на уровне 0.12–0.75 мас.%. По сравнению с глинистыми сланцами суранской свиты концентрации металлов и лантаноидов в шлиховой пробе увеличены почти на порядок. Однако в целом тренд распределения химических элементов в ней наиболее близок к тренду глинистых сланцев, а также к тренду интрузивных магматических пород (габбро-долериты), выходы которых установлены в сравнительно близко расположенных ручьях Б. Ключ и Кургашля.

*Благодарности.* Авторы искренне признательны Н.Д. Сергеевой, В.М. Горожанину за ценные консультации при проведении минералогического изучения и А.И. Василевскому за помощь при интерпретации данных рентгенофазового анализа.

*Исследования выполнены в рамках темы № 0252-2016-0005 государственного задания ИГ УФИЦ РАН.*

### Литература:

1. Алексеев А.А. Рифейско-вендский магматизм западного склона Южного Урала. – М.: Наука, 1984. – 128 с.
2. Алексеев А.А., Тимофеева Е.А. Редкоземельные фосфаты в горных породах и аллювиальных отложениях западного склона Южного Урала // Литосфера. – 2008. – № 1. – С. 140–145.
3. Анфимов Л.В. Литогенез в рифейских осадочных толщах Башкирского мегантиклинория (Ю. Урал). – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – 290 с.
4. Бакулина Л.П. Шлиховое опробование и анализ шлиховых проб: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. – Ухта: УГТУ, 2014. – 126 с.
5. Гареев Э.З. Геохимия осадочных пород стратотипического разреза рифея: Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. – М.: ГЕОХИ, 1989. – 24 с.
6. Ковалев С.Г., Высоцкий И.В. Геохимия золота западного склона Южного Урала // Геология и перспективы расширения сырьевой базы Башкортостана и сопредельных территорий: Матер. 4-й Респ. геол. конф. – Уфа, 2001. – С. 134–140.
7. Ковалев С.Г., Высоцкий И.В., Пучков В.Н., Маслов А.В., Гареев Э.З. Геохимическая специализация структурно-вещественных комплексов Башкирского мегантиклинория. – Уфа: ДизайнПресс, 2013. – 268 с.
8. Копченова Е.В. Минералогический анализ шлихов. – М.: Госгеоиздат, 1951. – 213 с.
9. Ларионов Н.Н. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:200 000. Южно-Уральская сер. N-40-XXII (Тукан). – СПб.: МПР РФ, 2003.

10. *Ларионов Н.Н.* Карбонаты суранской свиты нижнего рифея юга Башкирского мегантиклинория // Геология докембрия Южного Урала и востока Русской плиты: Сб. статей / БНЦ УрО АН СССР. – Уфа, 1990. – С. 63–72.
11. *Мусина А.М., Мичурин С.В.* Определение элементного состава методом ИСП-АЭС при разложении горных пород открытым способом // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий: Матер. 4-й Всерос. молодежной геол. конф. – Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2016. – С. 39–44.
12. *Мичурин С.В., Биктимерова З.Р., Канипова З.А., Даниленко С.А.* Цинк в карбонатных породах суранской свиты нижнего рифея (Южный Урал) // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Матер. и докл. 10-й Межрег. науч.-практ. конф. Уфа, 13–15 мая, 2014 г. – Уфа, 2014. – С. 150–154.
13. *Мичурин С.В., Шарипова А.А., Крупенин М.Т., Замятин Д.А., Мусина А.М., Попов В.А.* Сульфидная минерализация, самородное золото и его геохимические связи в рифейских отложениях Авзянского рудного района (Южный Урал) // Литосфера. – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 61–81.
14. *Нижний рифей Южного Урала / В.И. Козлов, А.А. Краснобаев, Н.Н. Ларионов, А.В. Маслов, Н.Д. Сергеева, Е.В. Бибикова, Л.А. Генина, Ю.Л. Ронкин.* – М.: Наука, 1989. – 208 с.
15. *Сергеева Н.Д.* Сопоставление айской и большеинзерской свит нижнего рифея Башкирского мегантиклинория Южного Урала по аксессуарным минералам // Верхний докембрий и палеозой Южного Урала (стратиграфия и литология). – Уфа: БФАН СССР, 1982. – С. 20–26.
16. *Сергеева Н.Д.* Сравнительная характеристика аксессуарных минералов из алевролитов и песчаников юшинской и зигазино-комаровской свит рифея Ямантауского антиклинория (Южный Урал) // Стратиграфия, литология и геохимия верхнего докембрия Южного Урала и Приуралья. – Уфа: БФАН СССР, 1986. – С. 66–71.
17. *Сергеева Н.Д.* Аксессуарные минералы терригенных пород стратотипических разрезов рифея на Южном Урале // Верхний докембрий Южного Урала и востока Русской плиты: Сб. статей. – Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1988. – С. 46–53.
18. *Сергеева Н.Д., Краснобаев А.А., Козлов В.И.* Редкоземельные элементы в цирконах осадочных пород верхнего докембрия Башкирского мегантиклинория на Южном Урале // Эндогенные процессы формирования земной коры Южного Урала: Сб. статей. – Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1988. – С. 84–93.