

# МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ СЕВЕРНОГО ФЛАНГА МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИНДЯК НА ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© С.Е. Знаменский,

доктор геолого-минералогических наук,  
заведующий лабораторией,  
Институт геологии,  
Уфимский научный центр РАН,  
ул. К. Маркса, 16/2,  
450077, г. Уфа, Российская Федерация,  
эл. почта: Znamensky\_Sergey@mail.ru

По результатам детальных литолого-фациальных, структурных, тектонофизических, петрофизических и изотопно-геохимических исследований разработана геолого-генетическая модель золото-сульфидного месторождения Миндяк, расположенного в зоне Главного Уральского разлома на северном окончании Магнитогорской мегазоны. Индикаторными характеристиками этой модели, которые можно использовать в прогнозных построениях, являются следующие: 1) региональный структурный контроль – приуроченность месторождения к сдвиговому дуплексу растяжения, а в его пределах – к узлу пересечения чешуйчатого взбросо-надвига юго-восточного падения с тектонической зоной близмеридионального простирания; 2) локальный структурный контроль – размещение золото-сульфидного оруденения во вторичных сдвигах и косых разрывах правосдвиговой зоны, образовавшейся на месте взбросо-надвиговой пластины; 3) литологический контроль – концентрация золоторудной минерализации в пластине полимиктового олистострома с углеродсодержащим глинисто-кремнистым цементом, обогащенным сингенетичной сульфидной минерализацией (конкрециями пирита и вкрапленностью глобулярного пирита), а внутри олистострома – в олистолитах и олистоплаках диабазов и их брекчий; 4) источники рудного вещества – магматогенный рудообразующего флюида и преимущественно метаморфогенный рудных компонентов, связанный с регенерацией сингенетичной пиритовой минерализации. На северном фланге месторождения в районе д. Амангильдино (Учалинский р-н РБ) выделен участок, перспективный на поиски золото-сульфидного оруденения. Рекомендуемый участок представляет собой структурный узел пересечения коллизионных разломов: северо-восточной надвиговой пластины с более поздней разломной зоной близмеридионального простирания. Надвиговая пластина сложена полимиктовым олистостромом, который состоит из олистолитов и олистоплаков диабазов, серпентинитов, известняков и углеродсодержащего глинисто-кремнистого цемента. В структурном узле локализовано рудопроявление Средний лог, относящееся к золото-сульфидному типу.

Ключевые слова: Южный Урал, золото-сульфидное оруденение, региональная позиция, локальный структурный контроль, надвиг, сдвиг, изотопы С и О, редкоземельные элементы

© S.E. Znamensky

## FORMATION MODEL AND PROSPECTS OF THE NORTHERN FLANK OF THE MINDYAK DEPOSIT FOR GOLD-SULFIDE MINERALIZATION (SOUTHERN URALS)

Institute of Geology,  
Ufa Scientific Centre,  
Russian Academy of Sciences,  
16/2, ulitsa K. Marksa,  
450077, Ufa, Russian Federation,  
e-mail: Znamensky\_Sergey@mail.ru

As a result of detailed lithofacies, structural, tectonophysical, petrophysical and isotopic-geochemical investigations, a genetic model is suggested for the gold-sulfide Mindyak deposit located within the zone of the Main Uralian Fault in the northern Magnitogorsk Megazone. Indicating characteristics of this model that can be used for prediction purposes are as follows: 1) regional structural control: occurrence in an extensional strike-slip duplex and, within its limits, at a junction of a N-E-trending imbricate thrust with a submeridional tectonic zone; 2) local structural control: localization of mineralization in secondary shears and oblique faults of a dextral strike-slip zone formed in place of a thrust slice; 3) lithological control: concentration of gold mineralization in a slice of polymictic olistostrome with carbonaceous cherty shale cement enriched with syngenetic sulfide mineralization (pyrite concretions and globular pyrite dissemination), and also within of the olistostrome: in olistoliths and olistoplaques of diabases and basaltic breccias; 4) sources of ore

material: magmatogenic (ore-forming fluids) and primarily metamorphic (ore components associated with the regeneration of syngenetic pyrite mineralization). A promising area for gold-sulfide mineralization has been selected in the northern flank of the deposit near the village of Amangildino. This area represents a junction of collision-stage faults: a N-E-trending thrust slice with a younger submeridional fault zone. The thrust slice is composed of polymictic olistostrome that consists of olistoliths and olistoplaques of diabases, limestones, serpentinites and carbonaceous cherty shale cement. The Sredny Log gold-sulfide ore occurrence is located in the structural junction.

Key words: Southern Urals, gold-sulfide mineralization, regional localization, local structural control, thrust, strike-slip fault, carbon and oxygen isotopes, rare-earth elements

Месторождение Миндяк расположено в зоне Главного Уральского разлома в Учалинском рудном районе, занимающем северное замыкание Магнитогорской мегазоны (см. рис. 1). Оно относится к классу орогенных месторождений золота, залегающих в углеродсодержащих комплексах. В настоящее время этот тип оруденения является одним из наиболее перспективных на Южном Урале [1; 2]. Выяснение факторов формирования орогенных месторождений золота представляет собой актуальную задачу в связи с проведением Федеральным агентством по недропользованию на территории Башкирского Зауралья прогнозно-поисковых работ на золото.

Нами на месторождении и его флангах выполнены литолого-фациальные, структурные и петрофизические исследования, а также проведен изотопно-геохимический анализ золоторудной минерализации. Результаты исследований в сочетании с данными других авторов позволили разработать геолого-генетическую модель месторождения и дать практические рекомендации по направлению поисковых работ. В качестве индикаторных характеристик модели месторождения, которые возможно использовать в прогнозных построениях, использованы следующие: 1) региональная геолого-структурная позиция, 2) локальный структурный контроль, 3) литологический контроль, 4) источники рудного вещества.

**Региональная геолого-структурная позиция.** По нашим данным, региональная позиция месторождения Миндяк определяется приуроченностью к крупному сдвиговому дуплексу растяжения (рис. 1) [3], образовавшемуся в Маг-

нитогорской мегазоне на позднепалеозойском этапе общей коллизии после главной фазы надвиговых деформаций [4; 5]. В его пределах месторождение расположено в узле пересечения

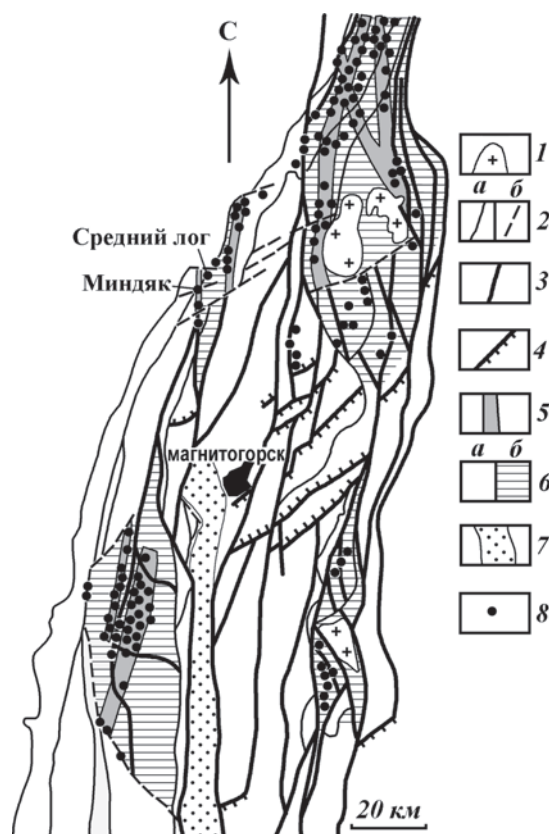


Рис. 1. Структурная схема Магнитогорской мегазоны, иллюстрирующая региональную позицию месторождения Миндяк:

1 – тоналит-гранодиоритовые массивы; 2–5 – позднепалеозойские коллизионные разломы: 2 – ранние надвиги (а) и трансферные разрывные нарушения (б); 3–5 – поздние левые сдвиги и взбросо-сдвиги (3), надвиги, взбросы, сдвиго-надвиги, сдвиго-взбросы (4), зоны малоамплитудных сдвигов и косых разрывов, образующие и разрушающие сдвиговые дуплексы растяжения (5); 6 – области с преобладающим транспрессивным режимом развития (а) и сдвиговые дуплексы растяжения (б); 7 – компенсационный прогиб (С<sub>2</sub>); 8 – месторождения и рудопроявления золота

взбросо-надвига юго-восточного падения с более поздней Баишевско-Тимирьяновкой тектонической зоной (рис. 2). Взбросо-надвиг относится к коллизионным разрывным нарушениям второго порядка зоны Главного Уральского разлома [6]. В районе месторождения он состоит из следующих структурных элементов: 1) северо-восточного правого и северо-западного левого сдвигов трансферного типа, ограничивающих месторождение с севера и юга соответственно; 2) антиформы северо-восточного простирания, расположенного внутри тектонического клина; 3) чешуйчатых взбросо-надвигов юго-восточного падения. В антиформу смят пакет тектонических пластин [7].

#### *Локальный структурный контроль.*

Золото-сульфидное оруденение локализовано во взбросо-надвиговой пластине, ограниченной Западным и Восточным разломами (рис. 2). На рудном этапе она была трансформирована в зону правого сдвига. Две главные фазы ранних взбросо-надвиговых и поздних сдвиговых смещений по граничным разломам реконструированы при изучении малых структурных форм. С движениями надвигового типа связано образование цилиндрических складок волочения  $F_1$ , сохранившихся в отдельных интервалах разломных зон. Их шарниры ориентированы субпараллельно линиям простирания граничных разрывных нарушений. На диаграммах плотностей полюсов слоистости, замеренной в таких интервалах, цилиндрическим складкам соответствуют полюса, расположенные по дуге большого круга (диаграммы «а» и «д» на рис. 2). Положение шарниров частных складок и оси складчатости  $B_1$  (нормали к поясу) свидетельствует о взбросо-надвиговых смещениях по разломам.

Индикатором правосдвиговых движений по Западному и Восточному разломам могут служить мелкие конические складки волочения  $F_2$ , отличающиеся преобладающим северо-западным простиранием. Во всех пунктах структурных наблюдений ориентировка шарниров частных складок волочения совпадает с положением оси складчатости  $B_2$ , восстановленным при статистическом анализе элементов залегания слоистости (диаграммы

«б» и «д» на рис. 2). На поздние смещения с правым знаком указывают также поля напряжений, реконструированные вблизи граничных разломов по рудным прожилкам с помощью метода П.Н. Николаева [8] (диаграммы «в», «г», «е» и «ж» на рис. 2).

Рудные тела месторождения представляют собой зоны, включающие раннюю прожилково-вкрапленную пиритовую и более позднюю прожилковую сульфидно (пирит, халькопирит, сфалерит)-карбонат-кварцевую с самородным золотом минерализацию. Оруденение обеих генераций локализовано внутри сдвиговой зоны во вторичных разрывах продольного северо-восточного (аз. пр.  $10-35^\circ$ ), диагонального северо-восточного (аз. пр.  $50-75^\circ$ ), диагонального север-северо-западного (аз. пр.  $320-350^\circ$ ) и диагонального север-северо-восточного (аз. пр.  $0-10^\circ$ ) направлений, которые аппроксимируют  $Y$ -,  $R$ -,  $R'$ - и  $P$ -сколами соответственно.

#### *Литологический контроль оруденения.*

Золоторудная минерализация в промышленных масштабах развита только в пластине полимиктового олистодрома (рис. 2). Олистодром представляет собой хаотическое нагромождение олистолитов и олистоплаков пород офиолитовой ассоциации (серпентинитов, пироксенитов, габбро и диабазов, идентичных по геохимическим признакам базальтам поляковской свиты среднего ордовика), известняков, известняковых брекчий и кремней (см. рис. 3). Цементом служат углеродсодержащие глинисто-кремнистые сланцы, содержащие прослой известняков с фораминиферами ( $C_1S_1$ ). В пределах олистодрома оруденение локализовано преимущественно в интервалах пересечения вторичными разрывами правосдвиговой зоны олистоплаков диабазов и их брекчий.

Литологический контроль обусловлен геохимическими и петрофизическими факторами. Геохимические факторы связаны с присутствием в цементе олистодрома в больших объемах сингенетичной сульфидной минерализации, представленной вкрапленностью глобулярного пирита и конкрециями пирита. Данные по геохимии редкоземельных элементов (РЗЭ) указывают на то, что эта минерализация

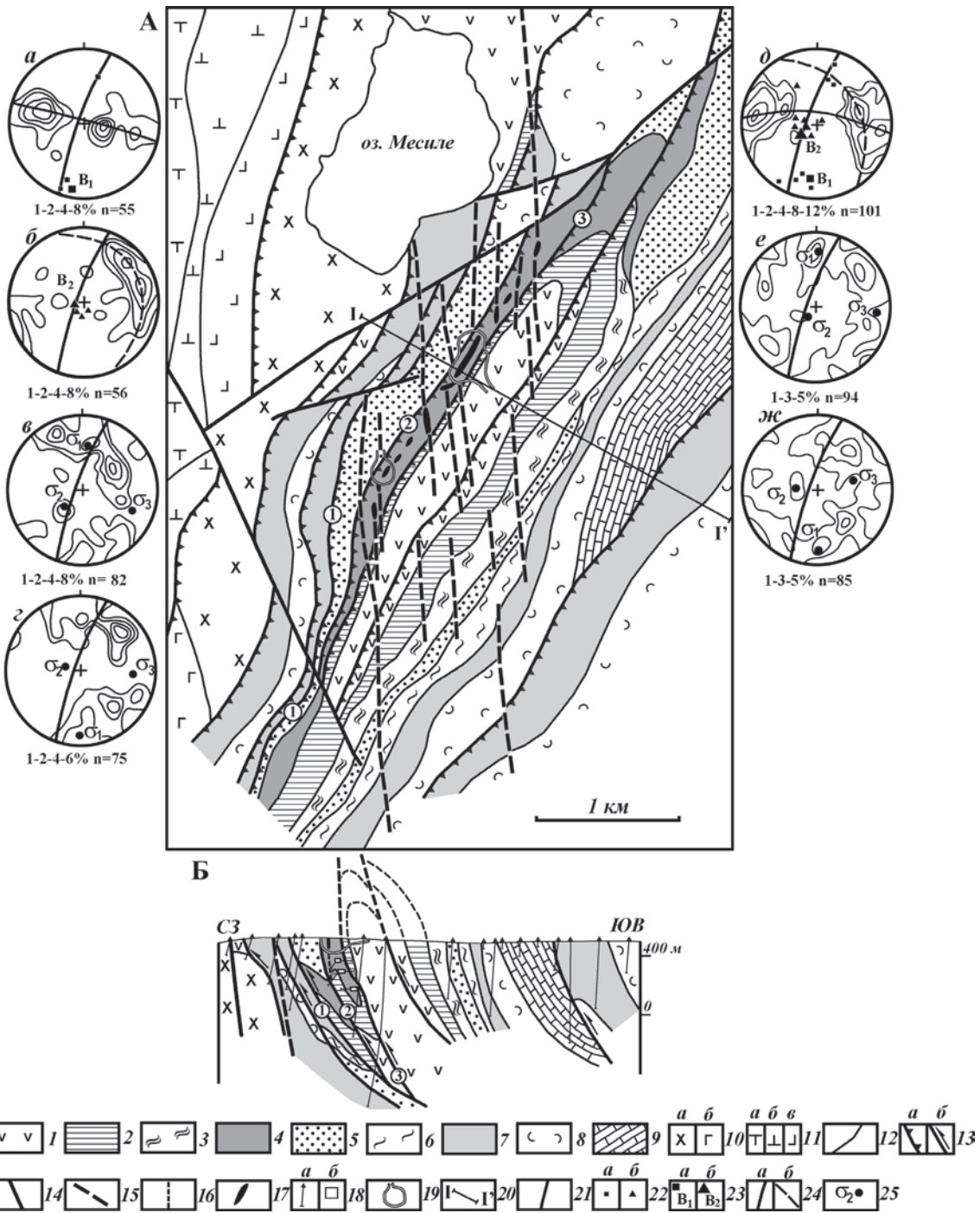


Рис. 2. Схема геологического строения (А) и разрез (Б) месторождения Миндяк (составлена с использованием данных Миндякского рудника):

а-ж – диаграммы (сетка Вульфа, верхняя полусфера) плотностей полюсов слоистости (а, б, д), рудных прожилков пиритового (в, е) и сульфидно-карбонат-кварцевого (г, ж) состава; 1-9 – тектонические пластины: 1 – вулканиты ( $D_2e_1$ ), 2 – карбонатный олистостром ( $C_1t-v$ ), 3 – меланжированные ультрабазиты и габбро, 4 – рудовмещающий полимиктовый олистостром ( $C_1$ ), 5 – терригенно-карбонатные породы ( $C_1v$ ), 6 – меланжированные ультрабазиты и габбро, 7 – карбонатный олистостром ( $C_1v$ ), 8 – вулканогенно-осадочные и кремнистые породы ( $D_3$ ), 9 – известняки ( $C_1v_3-s$ ); 10 – диориты и габбро (а) и габбро-диабазы (б); 11 – Миндякский ультрабазитовый массив: а – гарцбургит-лерцолитовая серия, б – дунит-пироксенитовый комплекс, в – габбро; 12 – границы тектонических пластин и пород; 13 – взбросо-надвиги юго-восточного падения в плане (а) и на разрезе (б); 14 – трансферные сдвиги; 15 – вторичные сдвиги и косые разрывы близмеридиональной тектонической зоны; 16 – рудовмещающие разрывы на разрезе; 17 – рудные тела; 18 – скважины (а) и горные выработки (б); 19 – контуры карьеров; 20 – линия геологического разреза I-I'; 21-25 – на диаграммах: 21 – плоскости разломов, ограничивающих рудовмещающую сдвиговую зону; 22 – замеренные шарниры складок волочения  $F_1$  (а) и  $F_2$  (б); 23 – реконструированные оси складчатости  $F_1$  (а) и  $F_2$  (б); 24 – плоскости симметрии складчатости  $F_1$  (а) и  $F_2$  (б); 25 – оси главных нормальных напряжений ( $\sigma_1$  – максимальных,  $\sigma_2$  – средних,  $\sigma_3$  – минимальных). Арабскими цифрами в кружках обозначены взбросо-надвиги: 1 – Главный, 2 – Западный, 3 – Восточный



Рис. 3. Строение полимиктового олистострома в карьере Куш-Таш:  
1 – 5 – пластина рудовмещающего полимиктового олистострома (C<sub>1</sub>):

1 – диабазы, 2 – брекчии основного состава, 3 – серпентиниты, 4 – известняки, 5 – углеродсодержащие глинисто-кремнистые сланцы; 6 – терригенно-карбонатные породы (C<sub>1v</sub>); 7 – листовиты; 8 – зоны окварцевания, серицитизации и хлоритизации; 9 – рудные тела; 10 – взбросо-надвиги; 11 – рудовмещающие разрывы; 12 – границы олистолитов и олистоплаков; 13 – горные выработки и подземные скважины; 14 – скважины

могла служить одним из источников рудных компонентов.

Петрофизический контроль связан с преобразованием диабазов и их брекчии в рудовмещающих разрывах в прерудное время в хрупко-малопрочные кварц-серицит-хлоридовые метасоматиты. Эти метасоматиты среди пород месторождения по физико-механическим свойствам являются наиболее

благоприятными для образования рудолокализирующих систем трещин и разрывов [9].

**Источники рудного вещества.** Для оценки возможных источников вещества золотосульфидного оруденения нами проведены изотопные исследования углерода и кислорода кальцита из рудоносных сульфидно-карбонат-кварцевых прожилков, а также изучено распределение РЗЭ в пирите.

Для кальцита из поздних прожилков установлены следующие значения изотопного состава углерода и кислорода:  $\delta^{13}\text{C} = -6,1 \dots -7,3\text{‰}$ ;  $\delta^{18}\text{O} = 18,3 \dots 20,1\text{‰}$ . Значения  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  ( $-5,9 \dots -7,1\text{‰}$ ) и  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  ( $8,5 \dots 10,3\text{‰}$ ) рудоносного флюида, рассчитанные в равновесии с кальцитом при 200°C [10], отвечают изотопному составу углерода и кислорода магматического происхождения (рис. 4).

Этот вывод согласуется с данными других авторов [10]. Источник магматических флюидов не установлен.

Распределение РЗЭ исследовано в конкреционном, глобулярном и рудном пирите (таблица). Выяснено, что спектры распределения РЗЭ в рудном пирите обеих генераций близки к трендам лантаноидов в конкреционном и глобулярном пирите (рис. 5). Исследования, выполненные в последние годы [15; 16], показали, что составы РЗЭ в сульфидах

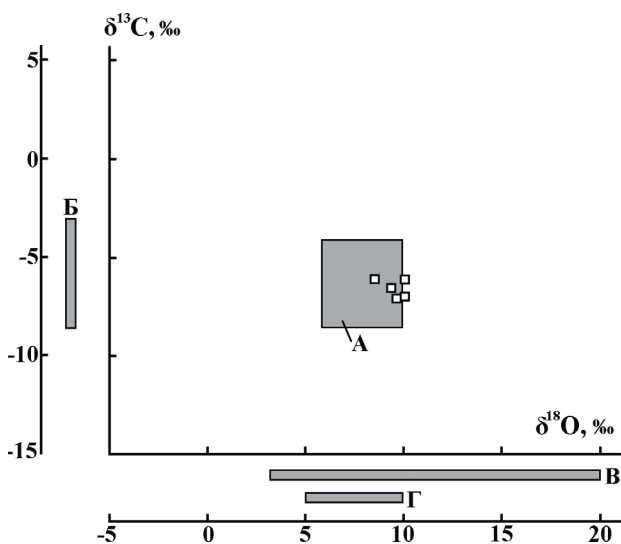


Рис. 4. Изотопный состав углерода и кислорода рудообразующего флюида, формировавшего кальцит карбонат-кварцевых прожилков:

А – поле карбонатитов [11]; изотопные составы: Б – углерода магматического или глубинного корового флюида [13], В – кислорода метаморфической воды [12], Г – кислорода магматической воды [12]

Таблица – Содержание РЗЭ в пирите месторождения Миндяк

	К-1	К-2	К-3	Г-1	Г-2	Р-1	Р-2	Р-3	Р-4	Р-5	Р-6	Р-7	Р-8
La	0,45	0,58	1,1	29,11	7,31	8,4	2,8	14,9	10,71	16,9	0,38	19,62	5,86
Ce	1,0	1,3	2,2	53,09	15,64	23,5	6,2	45,0	30,60	32,2	0,95	49,4	12,49
Pr	0,12	0,12	0,2	6,34	2,17	2,1	0,68	3,7	2,61	4,1	0,12	4,62	1,65
Nd	0,57	0,56	0,74	21,81	8,30	8,5	2,8	14,4	9,92	16,1	0,68	18,08	7,73
Sm	0,16	0,13	0,15	3,29	1,34	1,6	0,70	2,9	1,92	2,8	0,21	3,58	1,83
Eu	0,01	0,01	0,01	0,52	0,21	0,29	0,16	0,65	0,40	0,39	0,04	0,70	0,50
Gd	0,39	0,45	0,30	2,36	0,86	1,4	0,81	3,0	1,04	2,1	0,49	1,85	1,76
Tb	0,03	0,03	0,03	0,40	0,11	0,18	0,09	0,43	0,18	0,22	0,03	0,29	0,35
Dy	0,19	0,16	0,14	2,80	0,70	1,2	0,55	2,8	1,15	1,2	0,25	1,41	1,84
Ho	0,05	0,04	0,04	0,65	0,14	0,27	0,12	0,59	0,25	0,24	0,05	0,25	0,38
Er	0,15	0,13	0,12	1,85	0,40	0,92	0,14	1,8	0,97	0,81	0,15	0,75	1,18
Tm	0,02	0,02	0,02	0,28	0,06	0,15	0,06	0,26	0,13	0,14	0,02	0,13	0,22
Yb	0,16	0,13	0,14	1,60	0,42	1,1	0,45	1,8	0,81	1,1	0,15	0,85	1,21
Lu	0,03	0,02	0,02	0,21	0,07	0,18	0,08	0,28	0,14	0,18	0,02	0,16	0,21
$\Sigma$ РЗЭ	3,33	3,68	5,39	124,31	37,73	49,79	15,91	92,51	60,82	78,48	3,54	83,07	37,21
$\Sigma$ РЗЭ <sub>L</sub>	2,31	2,7	4,4	114,16	34,97	44,39	13,34	81,55	56,15	72,49	2,38	77,38	30,06
$\Sigma$ РЗЭ <sub>H</sub>	1,02	0,98	0,81	10,15	2,76	5,4	2,57	10,96	4,67	5,99	1,16	5,69	7,15
$\Sigma$ L/ $\Sigma$ H	2,26	2,76	5,43	11,25	12,67	8,22	5,19	7,44	12,02	12,10	2,05	13,60	4,20
Eu/Eu*	0,29	0,31	0,29	0,62	0,66	0,71	0,81	0,76	0,82	0,63	0,63	0,81	0,85
Ce/Ce*	0,98	1,03	0,96	0,88	1,0	1,31	0,99	1,41	1,34	0,90	1,02	1,18	0,94
(La/Yb) <sub>N</sub>	2,02	3,21	5,63	13,09	12,52	5,49	4,48	5,96	9,51	11,05	1,82	16,61	3,48
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	2,02	2,86	1,77	1,22	1,69	1,05	1,49	1,38	1,06	1,58	2,70	1,80	1,20
(La/Sm) <sub>N</sub>	1,82	2,88	4,73	5,71	3,52	3,39	2,58	3,32	3,62	3,90	1,17	3,54	2,07

Примечание. Анализы выполнены методом ICP-MS в ИГТ УрО и ИПСМ РАН.  $Eu/Eu^*=Eu/(Sm \cdot (Tb \cdot Eu)^{0,5})^{0,5}$ ;  $Ce/Ce^*=Ce/((2La+Sm)/3)$ . Нормирование произведено на хондрит  $C_1$  [14]. Пирит: К-1, К-2, К-3 – конкреционный, Г-1, Г-2 – глобулярный, Р-1, Р-2, Р-3, Р-4 – первой рудной генерации, Р-5, Р-6, Р-7, Р-8 – второй рудной генерации.

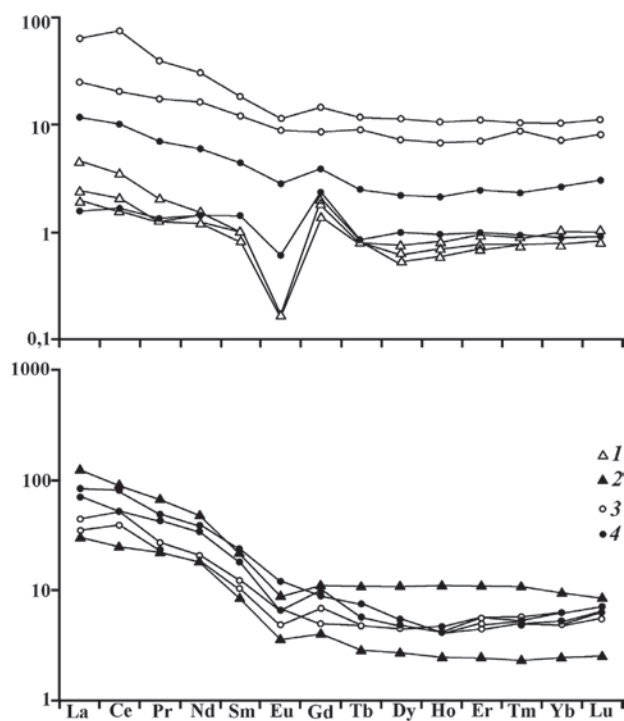


Рис. 5. Нормализованные графики распределения РЗЭ в пирите. Пирит: 1 – конкреционный, 2 – глобулярный, 3 – первой рудной генерации, 4 – второй рудной генерации

в целом наследуют состав минералообразующего флюида и могут быть использованы для оценки его источников. Сходные спектры РЗЭ в глобулярном, конкреционном и рудном пирите позволяют предполагать участие в рудном процессе компонентов, заимствованных из сингенетичной пиритовой минерализации.

**Модель формирования и перспективы северного фланга месторождения на золото-сульфидное оруденение.** Индикаторными характеристиками модели формирования месторождения Миндяк являются следующие: 1) региональная структурная позиция – приуроченность к сдвиговому дуплексу растяжения, а в его пределах – к узлу пересечения чешуйчатого взбросо-надвига юго-восточного падения с тектонической зоной близмеридионального простирания; 2) локальный структурный контроль – размещение оруденения во вторичных разрывах правосдвиговой зоны, образовавшейся на месте взбросо-надвиговой пластины; 3) литологический контроль – концентрация золоторудной минерализации в пластине полимиктового олистострома, углеродсодержащий глинисто-кремнистый цемент которого обогащен сингенетичной сульфидной минерализацией, а в пределах олистострома – в олистоплаках диабазов и их брекчий; 4) источники рудного вещества – магматогенный рудообразующего флюида и преимущественно метаморфогенный рудных компонентов, связанный с регенерацией сингенетичной пиритовой минерализации.

Результаты исследований позволили оценить перспективы северного фланга месторождения на золото-сульфидное оруденение.

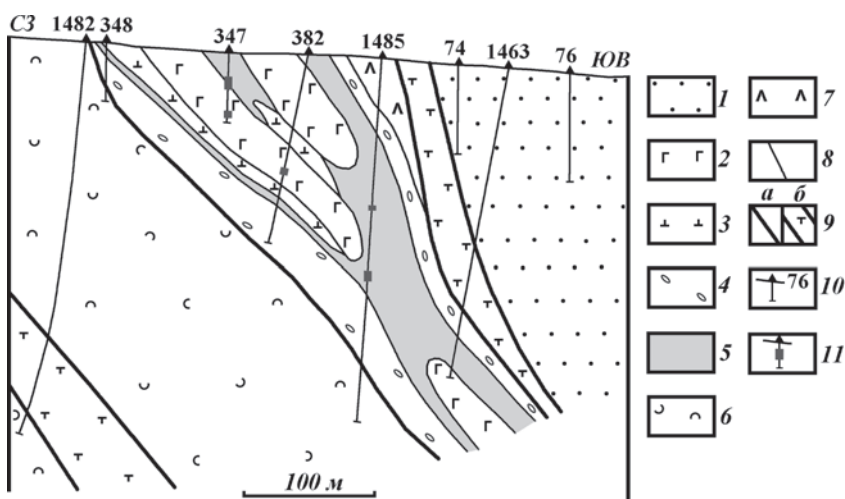


Рис. 6. Геологический разрез рудопоявления Средний лог: 1 – терригенно-карбонатно-кремнистые отложения ( $C_1$ ); полимиктовый олистостром ( $C_1$ ); 2–5 – олистоплаки диабазов (2), серпентинитов (3), известняковых брекчий (4), 5 – углеродсодержащий глинисто-кремнистый цемент; 6 – кремнистые сланцы ( $D_3$ ); 7 – линзены; 8 – геологические границы; 9 – разломы (а), в т.ч. выполненные серпентинитами (б); 10 – скважины и их номера; 11 – рудные интервалы

В качестве одного из критериев для выделения перспективных участков, могут быть использованы узлы пересечения северо-восточных и близмеридиональных разломов, наложенные на углеродсодержащие комплексы.

По нашим данным, полимиктовый олистостром с углеродсодержащим осадочным цементом прослеживается к северу от месторождения Миндяк на расстояние менее 6 км. Он разбурен профилем поисковых скважин на рудопоявлении Средний лог (рис. 6), расположенном на юго-западной окраине д. Амангильдино. Судя по данным бурения, олистостром слагает здесь надвиговую пластину юго-восточного падения. По составу пород, слагающих цемент и олистоплаки, олистостром рудопоявления Средний лог аналогичен миндякскому. Скважинами 347, 382, 1485 вскрыто несколько зон сульфидной минерализации с промышленными содержаниями золота. Золоторудная минерализация развита в олистоплаках диабазов и в углеродсодержащем глинисто-кремнистом цементе олистоstromа.

По геологическим и геофизическим данным, а также материалам дешифрирования аэрофотоснимков на северном фланге месторождения выделяется крупный структурный узел пересечения северо-восточной надвиговой зоны с разрывами близмеридионального простирания (рис. 7).

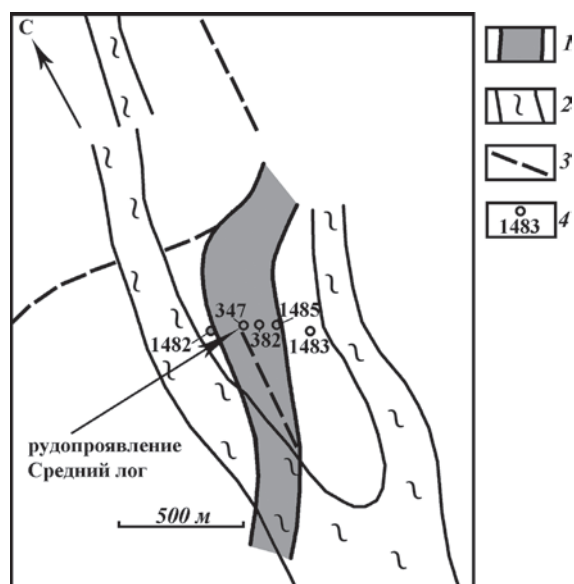


Рис. 7. Структурная схема окрестностей рудопоявления Средний лог (составлена с использованием геофизических данных Учалинского филиала ОАО «Башкиргеология»):

1 – надвиговая пластина полимиктового олистоstromа; 2 – зоны анизотропии, связанные с расщеплением пород; 3 – разломы; 4 – скважины и их номера

Поисковые работы, проведенные к настоящему времени в пределах этого узла, не позволяют достоверно оценить масштабы развитого здесь оруденения. В то же время имеются структурные, литологические и минералого-геохимические предпосылки для обнаружения промышленных концентраций золото-сульфидной минерализации.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Арифуров Ч.Х., Арсентьева И.В., Ожерельева А.В. Золоторудные месторождения в рифтогенных черносланцевых отложениях Южного Урала. М.: ЦНИГРИ, 2013. 108 с.

2. Сначев А.В., Сначев В.И., Рыкус М.В., Савельев Д.Е., Бажин Е.А., Ардисламов Ф.Р. Геология, петрохимия и рудоносность углеродистых отложений Южного Урала. Уфа: ДизайнПресс, 2012. 208 с.

3. Знаменский С.Е., Знаменская Н.М. Роль сдвиговых дуплексов в региональном структурном контроле позднепалеозойского золотого оруденения Магнитогорской мегазоны (Южный Урал) // Литосфера. 2009. № 4. С. 83–92.

4. Пучков В.Н., Косарев А.М., Знаменский С.Е. Геологическая интерпретация комплексного сейсмического профиля УРСЕЙС–95 // Геол. сб-к. Информац. материалы: юбилейный выпуск. РАН, Уфим. науч. центр, Ин-т геологии. Уфа, 2001. С. 3–28.

5. Знаменский С.Е. Структурная эволюция Магнитогорской мегазоны (Южный Урал) в позднем палеозое // Доклады АН. 2008. Т. 420. № 1. С. 85–88.

6. Казанцева Т.Т., Казанцев Ю.В. Структурный фактор в теоретической геологии. Уфа: АН РБ, Гилем, 2010. 328 с.

7. Знаменский С.Е., Мичурин С.В. Условия образования золото-сульфидного месторождения Миндяк (Южный Урал): структурные и изотопно-геохимические аспекты // Литосфера. 2013. № 4. С. 121–135.



8. Николаев П.Н. Методика статистического анализа трещин и реконструкции полей палеонапряжений // Изв. вузов. Геология и разведка. 1977. № 12. С. 103–115.
9. Знаменский С.Е., Знаменская Н.М. Петрофизические условия локализации золотого оруденения месторождения Миндяк (Южный Урал) // Геология. Изв. Отд-ния наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2015. № 21. С. 76–82.
10. Мурзин В.В., Бортников Н.С., Сазонов В.Н. Происхождение рудообразующего флюида на Миндякском золоторудном месторождении (Южный Урал) // Эволюция внутриконтинентальных подвижных поясов: тектоника, магматизм, метаморфизм, седиментогенез, полезные ископаемые. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2003. С. 197–199.
11. Valley J.W. Stable isotope fractionation in carbonate and sulfate minerals // Reviews in Mineralogy. 1986, vol. 16, pp. 445–486.
12. Sheppard S.M.F. Characterization and isotopic variations in natural waters // Reviews in Mineralogy. 1986, vol. 16, pp. 165–183.
13. Taylor B.E. Magmatic volatiles: isotopic variations of C, H and S // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 1986, vol. 16, pp. 185–225.
14. Sun S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society Special Publication. 1989, no. 42, pp. 313–345.
15. Римская-Корсакова М.Н., Дубинин А.В. Редкоземельные элементы в сульфидах подводных гидротермальных источников Атлантического океана // Доклады РАН, 2003. Т. 389. № 5. С. 672–676.
16. Guangzhou M., Renmin H., Jianfeng G. Existing forms of REE in gold-bearing pyrite of the Jinshan gold deposit, Jiangxi Province, China // Journal of rare earths, 2009, vol. 27, no. 6, pp. 1079–1087.

R E F E R E N C E S

1. Arifulov Ch.Kh., Arsenteva I.V., Ozhereleva A.V. Zolotorudnye mestorozhdeniya v riftogennykh chernoslantsevnykh otlozheniyakh Yuzhnogo Urala [Gold deposits in black shale rift sediments of the Southern Urals]. Moscow, TsNIGRI, 2013. 108 p. (In Russian).
2. Snachev A.V., Snachev V.I., Rykus M.V., Savelev D.E., Bazhin E.A., Ardislamov F.R. Geologiya, petrokhiimiya i rudonosnost uglerodistykh otlozheniy Yuzhnogo Urala [Geochemistry, petrology and ore content of carbonaceous deposits in the Southern Urals]. Ufa, Dizain-Press, 2012. 208 p. (In Russian).
3. Znamensky S.E., Znamenskaya N.M. Rol sdvigovykh dupleksov v regionalnom strukturnom kontrole pozdnepaleozoyskogo zolotogo orudneniya Magnitogorskoy megazonny (Yuzhnyy Ural) [The role of strike-slip duplexes in the regional control of Late Paleozoic gold mineralization in the Magnitogorsk Megazone (Southern Urals)]. Litosfera – Lithosphere, 2009, no. 4, pp. 83–92 (In Russian).
4. Puchkov V.N., Kosarev A.M., Znamensky S.E. Geologicheskaya interpretatsiya kompleksnogo seismicheskogo profilya URSEIS-95 [Geological interpretation of the URSEIS'95 seismic profile]. Collected papers in geology. Information materials: Jubilee edition. Russian Academy of Sciences, Ufa Scientific Centre, Institute of Geology. Ufa, 2001, pp. 3–28 (In Russian).
5. Znamensky S.E. Strukturnaya evolyutsiya Magnitogorskoy megazonny (Yuzhnyy Ural) v pozdnem paleozoe [The Late Paleozoic structural evolution of the Magnitogorsk Megazone in the Southern Urals]. Doklady Earth Sciences, 2008, vol. 420, no. 1, pp. 85–88 (In Russian).
6. Kazantseva T.T., Kazantsev Yu.V. Strukturnyy faktor v teoreticheskoy geologii [The structural factor in the theoretical geology]. Ufa, Gilem, 2010. 328 p. (In Russian).
7. Znamensky S.E., Michurin S.V. Usloviya obrazovaniya zoloto-sulfidnogo mestorozhdeniya Mindyak (Yuzhnyy Ural): strukturnye i izotopno-geokhimicheskie aspekty [Conditions of formation of Mindyak gold-sulfide deposit (Southern Urals): Structural and isotopic-geochemical aspects]. Litosfera – Lithosphere, 2013, no. 4, pp. 121–135 (In Russian).
8. Nikolaev P.N. Metodika statisticheskogo analiza treshchin i rekonstruktsii poley paleonapryazheniy [Methods for statistical analysis of fractures and reconstruction of paleostress fields]. Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka – Bulletin of Higher Schools. Geology and Prospecting, 1977, no. 12, pp. 103–115 (In Russian).
9. Znamensky S.E., Znamenskaya N.M. Petrofizicheskie usloviya lokalizatsii zolotogo orudneniya mestorozhdeniya Mindyak (Yuzhnyy Ural) [Petrophysical conditions of gold ore localization in the Mindyak deposit (Southern Urals)]. Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk

o Zemle i prirodnykh resursov Akademii nauk Respubliki Bashkortostan, 2015, no. 21, pp. 76–82 (In Russian).

10. Murzin V.V., Bortnikov N.S., Sazonov V.N. Proiskhozhdenie rudoobrazuyushchego flyuida na Mindyakhskom zolotorudnom mestorozhdenii (Yuzhnyy Ural) [The origin of the ore-forming fluid in the Mindyak gold deposit (Southern Urals)]. Evolyutsiya vnutrikontinentalnykh podvizhnykh poyasov: tektonika, magmatizm, metamorfizm, sedimentogenez, poleznye iskopaemye [Evolution of intracontinental mobile belts: Tectonics, magmatism, metamorphism, sedimentogenesis, minerals]. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 2003, pp. 197–199 (In Russian).

11. Valley J.W. Stable isotope fractionation in carbonate and sulfate minerals. Reviews in Mineralogy, 1986, vol. 16, pp. 445–486.

12. Sheppard S.M.F. Characterization and isotopic variations in natural waters. Reviews in Mineralogy, 1986, vol. 16, pp. 165–183.

13. Taylor B.E. Magmatic volatiles: Isotopic variations of C, H and S. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 1986, vol. 16, pp. 185–225.

14. Sun S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society Special Publication, 1989, no. 42, pp. 313–345.

15. Rimskaya-Korsakova M.N., Dubinin A.V. Redkozemelnye elementy v sulfidakh podvodnykh gidrotermalnykh istochnikov Atlanticheskogo okeana [Rare earth elements in sulfides of submarine hydrothermal vents of the Atlantic Ocean]. Doklady Earth Sciences, 2003, vol. 389, no. 5, pp. 672–676 (In Russian).

16. Guangzhou M., Renmin H., Jianfeng G. Existing forms of REE in gold-bearing pyrite of the Jinshan gold deposit, Jiangxi Province, China. Journal of Rare Earths, 2009, vol. 27, no. 6, pp. 1079–1087.

