Научная статья
УДК 553.43:551.24
DOI 10.31084/2619–0087/2025-1-1

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОГО УРАЛА

С. Е. Знаменский, Н. М. Знаменская

Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, 450077, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 16/2, Znamensky_Sergey@mail.ru

Охарактеризованы поствулканические деформационные структуры колчеданных месторождений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. Главным методом исследований служил структурно-парагенетический анализ тектонических нарушений, который включал изучение морфогенетических особенностей складчатых и разрывных структур, исследование кинематики разломов на основе анализа малых структурных форм и тектонофизические реконструкции полей палеонапряжений. По результатам исследований колчеданные месторождения мегазоны разделены на две группы. Первая из них объединяет месторождения, в формировании деформационных структур которых ведущую роль играют надвиговые, а вторая — сдвиговые деформации. К надвиговым парагенезисам относятся шовные антиклинали (Учалинское, Новоучалинское месторождения) и надвиги (месторождения Балта-Тау, Бурибай, Бакр-Узяк и др.). Шовные антиклинали представляют собой изоклинальные складки, осложненные в осевой зоне продольными взбросами, а на крыльях — дополнительными ассоциированными складками, образованными рудными телами. Предложен механизм формирования дополнительных ассоциированных складок. Надвиги имеют преимущественно чешуйчатое строение. В их висячих крыльях колчеданные залежи часто смяты в антиклинальные складки волочения. На месторождениях первой группы проявлены также поздние сдвиговые дислокации. Существенного влияния на общую структуру месторождений они не оказывают. Сдвиговые парагенезисы представлены двумя типами структур: 1) сдвигами с оперяющими разрывами (месторождения и рудопроявления Контрольной группы) и 2) вторичными надвигами и взбросами зон крупных сдвигов, развивавшимися в позднем палеозое в условиях транспрессии (месторождения и рудопроявления Александринского рудного района — Сабановское, Бабарыкинское, Александринское). Показано, что тектонические структуры колчеданных месторождений Магнитогорской мегазоны представляют собой коллизионные образования позднепалеозойского возраста.

Ключевые слова: Южный Урал, колчеданные месторождения, деформационные структуры, антиклинали, надвиги, транспрессивные сдвиги

Благодарности: Работа выполнена в рамках программы государственного заказа ИГ УФИЦ РАН № FMRS-2025–0014

Original article

DEFORMATION STRUCTURES OF PYRITE DEPOSITS OF THE SOUTHERN URALS

S. E. Znamensky, N. M. Znamenskaya

Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 16/2, K. Marx St., Ufa, 450077, Russia, Znamensky_Sergey@mail.ru

Для цитирования: *Знаменский С. Е., Знаменская Н. М.* Деформационные структуры колчеданных месторождений Южного Урала // Геологический вестник. 2025. №1. С. 3–15. DOI: 10.31084/2619-0087/2025-1-1

For citation: Znamensky S. E., Znamenskaya N. M. (2025) Deformation structures of pyrite deposits of the Southern Urals. *Geologicheskii vestnik*. 2025. No. 1. P. 3–15. DOI: 10.31084/2619-0087/2025-1-1

© С. Е. Знаменский, Н. М. Знаменская, 2025

Post-volcanic deformation structures of pyrite deposits of the Magnitogorsk megazone of the Southern Urals are characterized. The main research method was the structural-paragenetic analysis of tectonic disturbances, which included the study of morphogenetic features of folded and fault structures, the study of fault kinematics based on the analysis of small structural forms and tectonophysical reconstructions of paleostress fields. Based on the research results, the pyrite deposits of the megazone are divided into two groups. The first of them unites deposits in the formation of deformation structures of which thrust deformations play a leading role, and the second — shear deformations. Thrust parageneses include suture anticlines (Uchaly, New Uchaly deposits) and thrusts (Balta-Tau, Buribai, Bakr-Uzyak deposits, etc.). Suture anticlines are isoclinal folds complicated in the axial zone by longitudinal upthrusts, and on the wings by additional associated folds formed by ore bodies. A mechanism for the formation of additional associated folds is proposed. Thrusts have a predominantly scaly structure. In their hanging wings, pyrite deposits are often crushed into anticline drag folds. The deposits of the first group also exhibit late strike-slip dislocations. They do not exert a significant influence on the general structure of the deposits. Strike-slip parageneses are represented by two types of structures: 1) strike-slip faults with feathering ruptures (deposits and ore occurrences of the Kontrolny Group) and 2) secondary thrusts and reverse faults of large strike-slip zones that developed in the Late Paleozoic under transpression conditions (deposits and ore occurrences of the Aleksandrinsky ore region — Sabanovo, Babarykino, Aleksandrinsky). It is shown that the tectonic structures of the Magnitogorsk megazone pyrite deposits are collisional formations of the Late Paleozoic age.

Keywords: Southern Urals, pyrite deposits, deformation structures, anticlines, thrusts, transpressive shifts

Acknowledgments: The work was carried out within the framework of the state order program of the IG UFITs RAS No. FMRS-2025–0014

Введение

Закономерности палеовулканического контроля колчеданного оруденения Южного Урала детально охарактеризованы в ряде публикаций [Кривцов, 1979; Прокин, 1977; Медноколчеданные…, 1985; и мн. др.]. Особенно хотелось бы отметить работы И. Б. Серавкина, внесшего существенный вклад в познание палеовулканологических условий образования колчеданных месторождений Урала [Серавкин, 1986; Серавкин, 2007 и мн. др.]. Вместе с тем роль поствулканических деформационных процессов в формировании геологических структур колчеданных месторождений региона изучена недостаточно полно, что нередко приводит к неправильной интерпретации палеовулканических условий формирования месторождений и в конечном итоге отрицательно отражается на эффективности поисково-разведочных и эксплуатационных работах. Нами в ходе выполнения госбюджетных программ и хоздоговорных работ проведены специализированные структурные исследования на 10 колчеданных месторождениях Магнитогорской мегазоны (рис. 1). Результаты исследований в сочетание с данными других авторов позволили охарактеризовать основные типы деформационных структур колчеданных месторождений и тектонофизические режимы их формирования.

Методы исследований

Главным методом исследований был структурно-парагенетический анализ тектонических нарушений. Он включал изучение морфогенетических особенностей складчатых и разрывных структур, исследование кинематики разломов на основе анализа малых структурных форм [Kano et al., 1991; Covan, Brandom, 1994; McClay, 1995; и др.], тектонофизические реконструкции полей палеонапряжений [Николаев, 1977; Гущенко, 1979; и др.] и собственно парагенетический анализ структур [Расцветаев, 1987; Старостин, 1988; и др.]. Основой структурных построений на месторождениях служили данные детального картирования их поверхности, документации уступов эксплуатационных карьеров и керна буровых скважин.

Результаты

По результатам исследований выделены две группы колчеданных месторождений, в первой из которых ведущую роль в формировании деформационных структур играют надвиговые, а во второй — сдвиговые деформации.

Тектонические структуры, связанные с надвиговыми деформациями. Деформационные структуры этого типа представлены 1) шовными антиклиналями и 2) надвигами.

1. Шовные антиклинали. Складка такой морфологии определяет современную структуру Учалинского рудного поля, расположенного на северном окончании Магнитогорской мегазоны (см. рис. 1) [Знаменский и др., 1991; Серавкин и др., 1992]. Она представляет собой линейную сильно сжатую антиклиналь, в осевой зоне которой развита серия

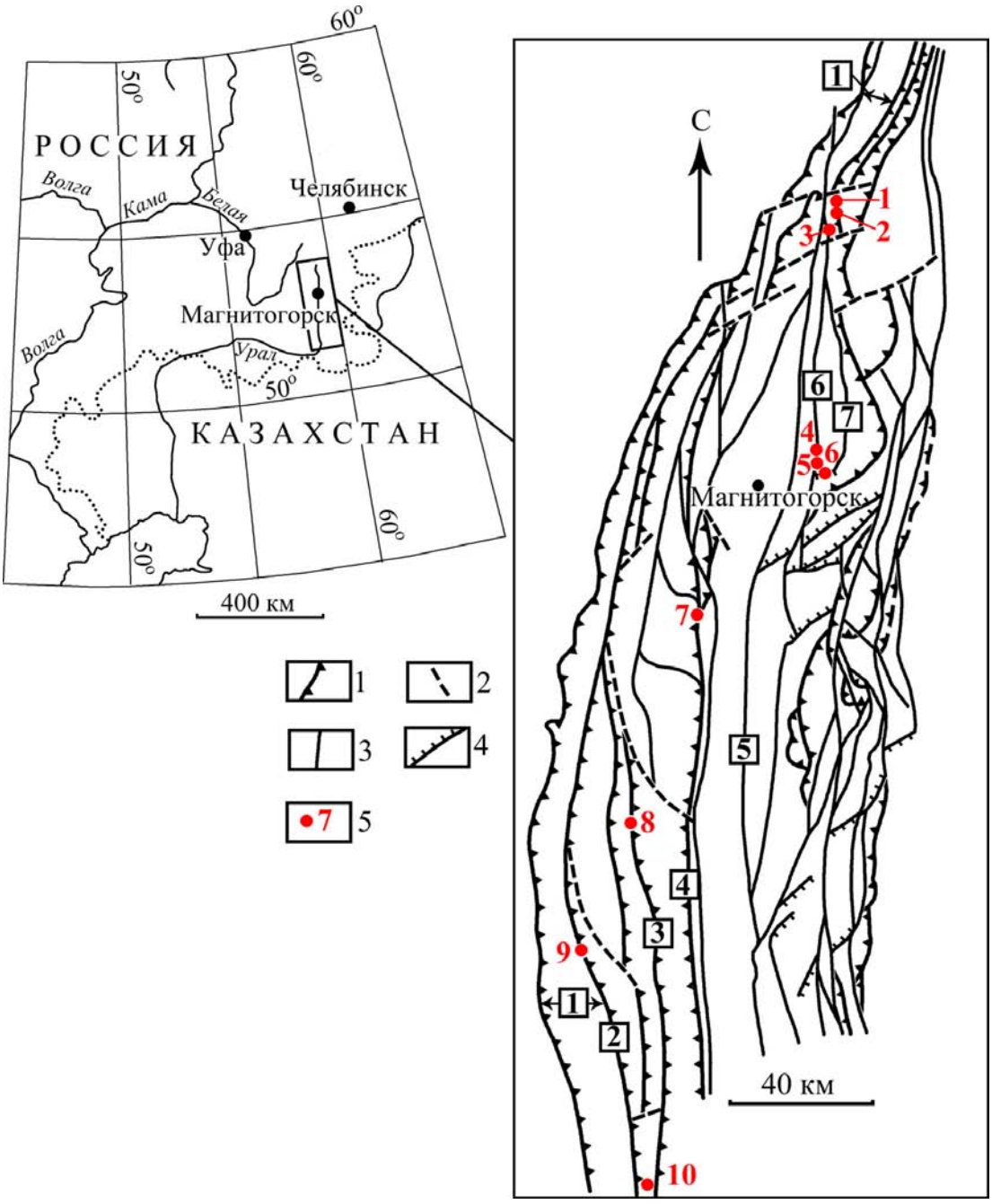

Рис. 1. Схема разрывных нарушений Магнитогорской мегазоны [Знаменский, 2009]

Условные обозначения: 1–2 — разломы раннего надвигового парагенезиса (C_{1-2}): 1 — надвиги и взбросы, 2 — трансферные сдвиги; 3–4 — разломы позднего сдвигового парагенезиса (C_2 — P): 3 — левые сдвиги и взбросо-сдвиги, 4 — надвиги, взбросы, сдвиго-надвиги и сдвиго-взбросы; 5 — изучавшиеся колчеданные месторождения (1 — Учалинское, 2 — Новоучалинское, 3 — Южноконтрольное, 4 — Сабановское, 5 — Бабарыкинское, 6 — Александринское, 7 — Бакр-Узяк, 8 — Балта-Тау, 9 — Бурибайское, 10 — Гайское). Арабскими цифрами в квадратах обозначены разломы: 1 — Главный Уральский, 2 — Бурибайский, 3 — Балта-Тауский, 4 — Кизильский, 5 — Магнитогорский, 6 — Аблязовский (Сабановский), 7 — Западно-Фестивально-Александринский.

Fig. 1. Scheme of faults of the Magnitogorsk megazone [Znamensky, 2009]

Legend: 1–2 — faults of early thrust paragenesis (C_{1-2}): 1 — thrusts and reverse faults, 2 — transfer strike-slip faults; 3–4 — faults of late strike-slip paragenesis (C_2 — P): 3 — left-lateral strike-slip faults and reverse-slip faults, 4 — thrusts, reverse faults, strike-slip faults and reverse-slip faults; 5 — studied pyrite deposits (1 — Uchaly, 2 — New Uchaly, 3 — South Kontrolny, 4 — Sabanovo, 5 — Babarykino, 6 — Aleksandrinsky, 7 — Bakr-Uzyak, 8 — Balta-Tau, 9 — Buribai, 10 — Gai). The faults are indicated with Arabic numerals in squares: 1 — Main Uralian, 2 — Buribai, 3 — Balta-Tau, 4 — Kizilsky, 5 — Magnitogorsk, 6 — Ablyazovsky (Sabanovsky), 7 — West-Festivalno-Aleksandrinsky.

продольных взбросов крутого западного падения (Восточный-I, Восточный-II и др.) (рис. 2). Складка образовалась на месте базальтовой палеовулканической гряды. К ее антиклинальной части приурочены многофазовые эффузивно-экструзивные постройки риодацитового состава, вмещающие колчеданное оруденение Учалинского и Новоучалинского месторождений. Рудовмещающая палеовулканическая гряда с запада последовательно перекрыта горизонтом вулканомиктовых пород с телами риолитов и толщей вулканитов основного состава карамалыташской свиты (D_2), а с востока — вулканогенными породами улутауской свиты (D_{2-3}), выклинивающимися на западном фланге рудного поля. Основным механизмом образования шовной антиклинали было субширотное латеральное сжатие и взбросовые движения по вдольосевым разломам, которые в подрудной части наследуют зону синвулканического разлома.

Западное крыло шовной антиклинали осложнено дополнительными ассоциированными складками сундучной формы, в которые смяты колчеданные залежи Учалинского и Новоучалинского месторождений. По данным эксплуатационных работ, на Учалинском месторождении дополнительная складка имеет в целом плоский замок, ориентированный в современной структуре субвертикально, и крылья в виде флексур, представляющих собой смежные кинк-банды (рис. 3). Нижняя флексура местами нарушена срывами. Верхний кинк-банд разорван взбросом Восточный-I и деформирован в складку волочения этого нарушения. Известно, что кинк-банды формируются при сжатии вдоль слоистости. Мы предполагаем, что ассоциированные складки образовались в начальные периоды сжатия, когда рудные тела и вмещающие породы имели близгоризонтальное залегание. По всей вероятности, формирование таких складок связано с типовыми особенностями колчеданоносных построек Учалинского рудного поля: присутствием двух уровней эффузивно-экструзивных куполов и разделяющих их стратифицированных зон метасоматитов. Ассоциированные складки прослеживаются вниз по разрезу до зоны серицит-кварцевых метасоматитов. При боковом сжатии скольжение и деформации рудных тел происходили по пластичному слою метасоматитов, служившему детачментом, а наличие верхних куполов способствовало образованию над их поверхностями двух противоположно наклоненных кинк-бандов, местами осложненных срывами. При последующих деформациях складки были опрокинуты. Подобные складчатые структуры выявлены и на других колчеданных полях Южного Урала, в частности, на Гайском месторождении. По данным эксплуатационных работ, одна из наиболее богатых Стержневая залежь этого месторождения смята в складку сундучной формы.

Дальнейшая эволюция деформационных структур колчеданных месторождений Учалинского рудного поля связана со сдвиговыми деформациями, которые, в начале, происходили в условиях левосторонней транстенсии, а позднее — в режиме правосторонней транспрессии. На Учалинском месторождении в обстановке левосторонней транстенсии последовательно образовались дайки габбро-диоритов (изотопный возраст 305 млн лет), локализованные в сколовых нарушениях северо-западного простирания, пакеты пологих даек габбро и эпидот-кварцевые штокверки. Под действием транспрессивных деформаций сформировались мелкие зеркала скольжения север-северо-западного и северо-восточного простирания, а также близгоризонтальные зоны трещиноватости. По вдольосевым разломам в этот период времени происходили малоамплитудные правые взбросо-сдвиговые смещения, сопровождавшиеся образованием конических складок волочения северо-западного простирания. Конические складки хорошо выражены в вулканогенных и вулканогенно-осадочных породах улутауской свиты (D_{2-3}), слагающих лежачее крыло вдольосевого разлома Восточный-II в северо-восточной части карьера (рис. 4). Они наложены здесь на синклиналь близмеридионального простирания, образовавшуюся при ранних взбросовых смещениях по разлому Восточный-II. Кинематический анализ векторов смещения по вторичным разрывам позволил реконструировать в зоне этого разлома два разновозрастных поля палеонапряжений: надвиговое с близгоризонтальной широтной ориентировкой ориентировкой оси сжатия и позднее сдвиговое с северо-восточным направлением оси σ_3. Восстановленные поля палеонапряжений связаны с двумя фазами смещений по разлому Восточный-II: ранними взбросовыми и поздними сдвиговыми с правым знаком.

2. Надвиги служат главными элементами деформационных структур Гайского [Серавкин, Скуратов, 2009], Балта-Тауского [Знаменский, 2009], Бакр-Узякского [Знаменский, 2015] и Бурибайского [Серавкин и др., 2001] месторождений. По данным А. И. Кривцова [1971], высокоамплитудные позднепалеозоские надвиги развиты также на месторождениях Тубинского и Мамбетовского рудных полей. Надвиги имеют преимущественно

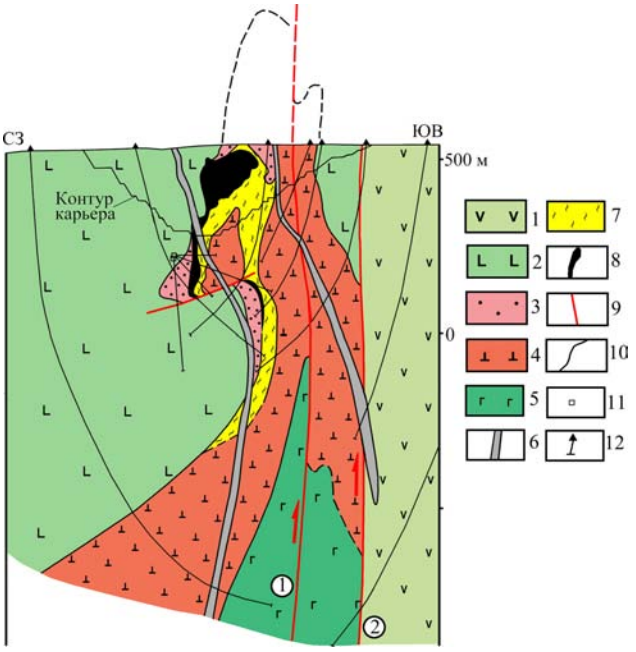

Рис. 2. Схематический геологический разрез Учалинского месторождения по профилю 10 [Знаменский и др., 1991]

Условные обозначения: 1 — вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы улутауской свиты (D_{2-3}); 2–5 — карамалыташская свита (D_2): 2 — базальты, андезибазальты и их туфы, 3 — вулканомиктовые и кремнистые породы с телами экструзивных и эффузивных риолитов, 4 — рудовмещающие риодациты и их брекчии, 5 — подрудные диабазы; 6 — дайки габбро-диоритов; 7 — рассланцованные серицит-кварцевые метасоматиты; 8 — рудные тела; 9 — разломы и направление смещения по ним (арабскими цифрами в кружках обозначены разломы: 1 — Восточный-I, 2 — Восточный-II); 10 — геологические границы; 11 — подземные горные выработки; 12 — скважины.

Fig. 2. Schematic geological section of the Uchaly deposit along profile 10 [Znamensky et al., 1991]

Legend: 1 — volcanogenic and volcanogenic-sedimentary rocks of the Ulutau suite (D_{2-3}); 2–5 — Karamalytash suite (D_2): 2 — basalts, basaltic andesite and their tuffs, 3 — volcanomictic and siliceous rocks with extrusive and effusive rhyolite bodies, 4 — ore-bearing rhyodacites and their breccias, 5 — subore diabases; 6 — gabbro-diorite dikes; 7 — sheared sericite-quartz metasomatites; 8 — ore bodies; 9 — faults and the direction of displacement along them (faults are indicated by Arabic numerals in circles: 1 — Eastern-I, 2 — Eastern-II); 10 — geological boundaries; 11 — underground mine workings; 12 — boreholes.

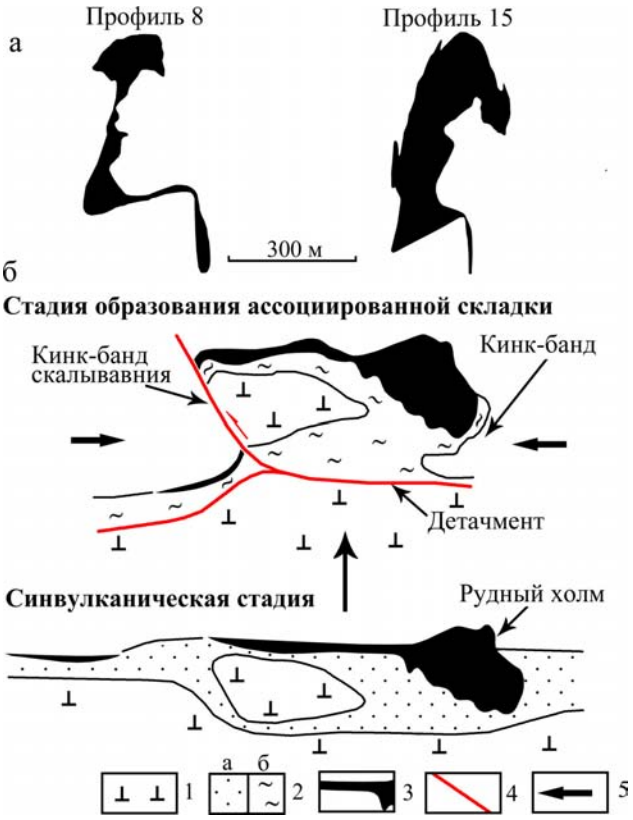

Рис. 3. Форма ассоциированной складки, в которую смята колчеданная залежь Учалинского месторождения (а) (данные эксплуатационных работ Учалинского ГОКа), и возможный механизм ее формирования на примере профиля 10 (б)

Условные обозначения: 1 — эффузивно-экструзивные постройки риодацитового состава; 2 — серицит-кварцевые метасоматиты (а) и образовавшиеся по ним сланцы (б); 3 — колчеданная залежь; 4 — разломы; 5 — направление сжатия.

Fig. 3. The shape of the associated fold into which the pyrite deposit of the Uchaly deposit is crushed (a) (data from operational work of the Uchaly Mining and Processing Plant), and the possible mechanism of its formation using profile 10 as an example (б)

Legend: 1 — effusive-extrusive structures of rhyodacitic composition; 2 — sericite-quartz metasomatites (a) and shales formed after them (б); 3 — pyrite deposit; 4 — faults; 5 — direction of compression.

чешуйчатое строение и часто сопровождаются в висячих крыльях антиклинальными складками волочения, в которые смяты колчеданные залежи. Деформационные структуры надвигового типа характерны для месторождений, расположенных на западном фланге мегазоны в зонах крупных позднепалеозойских разломов, по которым при региональных исследованиях выявлены ранние движения надвигового (взбросового) типа [Серавкин и др., 2001]. В качестве примера рассмотрим геологическое строение месторождений Балта-Тау и Бакр-Узяк.

Золото-колчеданно-полиметаллическое месторождение Балта-Тау расположено на западном фланге Магнитогорской мегазоны в зоне одноименного регионального разлома (см. рис. 1). По нашим данным, основывающимся на результатах картирования уступов эксплуатационного карьеры и поверхности и документации керна скважин [Знаменский, 2009], разрез Балта-Тауского месторождения имеет

следующее строение (рис. 5). В его основании залегает толща метасоматически измененных туфов и тефроидов кислого состава баймак-бурибаевской свиты (D_1). К кровле толщи приурочены все известные на месторождении залежи сплошных руд, формировавшихся преимущественно вулканогенно-осадочным способом [Масленников, 1999]. Со стороны лежачего бока к ним примыкают зоны хлорит-серицит-кварцевых метасоматитов с вкрапленной и прожилково- вкрапленной сульфидной минерализацией. Надрудная часть разреза относится к ирендыкской свите (D_{1-2}).

В пределах месторождения выделяются два надвига восток-северо-восточного падения, которые в целом наследуют зоны рудоподводящих каналов. В висячих крыльях разломов рудные залежи и вмещающие их породы смяты в принадвиговые антиклинали и осложнены взбросами встречного падения. В структурной эволюции разломов наряду с надвиговыми движениями, отчетливо выражена фаза поздних левосторонних смещений. В эксплуатационном карьере вблизи восточного надвига и оперяющего его взброса картируются многочисленные мелкие диагональные складки север-северо-восточного направления, наложенные на основную антиклиналь, имеющую в карьере северо-западное простирание по азимуту 345°. С диагональными складками сопряжены взбросы такого же направления. Охарактеризованная ассоциация вторичных структурных элементов свойственна транспрессивным типам тектонических нагрузок. Ориентировка этих элементов указывает на левосторонние движения по надвигам. Как видно из приведенных данных, деформационная структура Балта-Тауского месторождения представляет собой чешуйчатый надвиг, испытавший более

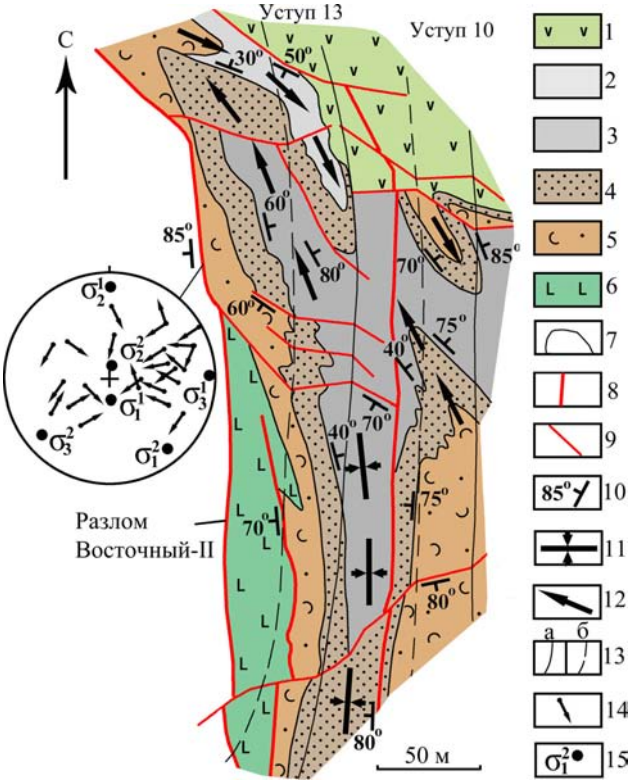

Рис. 4. Две генерации складок волочения в породах улутауской свиты, слагающих лежачее крыло разлома Восточный-II

На диаграммах (сетка Вульфа) приведены проекции на верхнюю полусферу векторов смещения висячих крыльев вторичных разрывов, развитых в зоне разлома Восточный-II, и осей палеонапряжений, реконструированных с помощью кинематического метода [Гущенко, 1979; Корчемагин, Емец, 1982].

Условные обозначения: 1–5 — улутауская свита (D_{2-3}): 1 — вулканиты среднего состава, 2 — яшмоидные кварц-гематитовые сланцы, 3 — углисто-кремнистые сланцы, 4 — кремнистые сланцы, 5 — переслаивание вулканомиктовых песчаников, гравелитов и кремнистых сланцев; 6 — базальты, андезибазальты и их туфы карамалыташской свиты (D_2); 7 — геологические границы; 8–9 — разломы: 8 — вдольосевые взбросы, 9 — сдвиги и взбросо-сдвиги, образовавшиеся в режиме правосторонней транспрессии; 10 — элементы залегания; 11 — ось продольной синклинали, сформировавшейся в процессе взбросовых смещений по разлому Восточный-II; 12 — оси конических складок, образовавшихся при правосторонних движениях по разлому Восточный-II; 13 — верхняя (а) и нижняя (б) бровки уступов карьера; 14–15-на диаграмме: 14 — векторы смещения висячих крыльев разрывов, 15 — оси палеонаряжений (s_1 — максимальных, s_2 — промежуточных, s_3 — минимальных; верхними индексами обозначены генерации полей палеонапряжений от ранних к поздним).

Fig. 4. Two generations of drag folds in the rocks of the Ulutau suite, which form the footwall of the Vostochny-II fault

The diagrams (Wulf net) show projections onto the upper hemisphere of the displacement vectors of the hanging walls of secondary faults developed in the zones of the Vostochny-II fault, and the axes of paleostresses reconstructed using the kinematic method [Gushchenko, 1979; Korchemagin, Emets, 1992].

Legend: 1–5 — Ulutau suite (D_{2-3}): 1 — intermediate volcanics, 2 — jasperoid quartz-hematite schists, 3 — carbonaceous-siliceous schists, 4 — siliceous schists, 5 — alternation of volcanictic sandstones, gravelites and siliceous schists; 6 — basalts, basaltic andesites and their tuffs of the Karamalytash Formation (D_2); 7 — geological boundaries; 8–9 — faults: 8 — along-axis reverse faults, 9 — strike-slip faults and reverse-slip faults formed in the right-lateral transpression regime; 10 — bedding elements; 11 — axis of longitudinal syncline formed in the process of reverse displacements along the Vostochny-II fault; 12 — axes of conical folds formed during right-lateral movements along the Vostochny-II fault; 13 — upper (a) and lower (б) edges of quarry benches; 14–15 — on the diagram: 14 — displacement vectors of hanging walls of faults, 15 — axes of paleostresses (σ_1 — maximum, σ_2 — intermediate, σ_3 — minimum; superscripts indicate generations of paleo-stress fields from early to late).

поздние малоамплитудные движения в режиме левосторонней транспрессии.

Колчеданно-полиметаллическое месторождение Бакр-Узяк расположено на западном фланге Магнитогорской мегазоны в зоне регионального Кизильского разлома (см. рис. 1). В строении месторождения участвуют вулканические породы карамалыташской свиты (D_2), а также кремнистые и терригенно-карбонатные отложения позднеживетско-франского возраста. Мелкие тела сплошных и прожилково-вкрапленных руд локализованы в метасоматически измененных кислых вулканитах карамалыташской свиты. Они частично отработаны карьером.

По нашим данным [Знаменский, 2015], геологическое строение месторождения определяет пологий надвиг западного падения, осложненный более крутым сдвигом (рис. 6). Надвиг имеет листрическую форму. Его фронтальная часть, вскрытая карьером, состоит из чешуйчатых разломов, круто падающих на запад-северо-запад. При исследовании малых структурных форм удалось выявить две основные фазы движения по разломным зонам: ранние взбросовые и поздние левосдвиговые. Индикаторами ранних смещений могут служить линзовидные дуплексные структуры взбросового типа, сохранившиеся в отдельных интервалах разломов (диаграмма **в** на рис. 7). На поздние левосдвиговые движения по разломам указывают близгоризонтальные борозды на зеркалах скольжения, которые наложены на борозды, ориентированные по линии падения-восстания сместителей.

По падению на глубинах 150–200 м надвиг приобретает близгоризонтальное залегание и имеет в этом интервале дуплексную структуру. Строение разлома на более глубоких горизонтах достоверно не установлено. По данным бурения, угол его падения увеличивается до 30° — 40°.

Вулканогенные породы карамалыташской свиты, распространенные в висячем крыле надвига, смяты в лежачую бескорневую антиклиналь. Западное крыло складки осложнено взбросами восточного падения, оперяющими основной надвиг. Ядро антиклинали выполнено серицит-кварцевыми метасоматитами, сформировавшимися по кислым вулканитам. Колчеданные залежи локализованы среди серицит-кварцевых метасоматитов и располагаются на одном стратиграфическом уровне, который отчетливо трассирует аниклинальную структуру.

Крылья складки сложены вулканитами преимущественно основного состава. Лежачее крыло образуют пиллоу-базальты с прослоями туфов основного состава и яшм, а также крупнопорфировые пироксеновые порфириты. По литолого-фациальным и петрогеохимическим особенностям они идентичны вулканитам, слагающим висячее крыло антиклинали.

Поздний сдвиг хорошо обнажен в восточном борту карьера (см. рис. 7). Он представляет собой разломную зону мощностью 20–60 м, имеющую строение типичное для транспрессивных левых сдвигов [Sylvester, 1988]. Разломная зона состоит из меридиональных (L-сколов) и северо-восточных (P-сколов) вторичных разрывов, в морфологическом отношении представляющих собой зоны смятия-рассланцевания, сопровождающиеся разломами с глинкой трения и зеркалами скольжения. На крыльях вторичных разрывов породы смяты в конические складки с крупными шарнирами (см. рис. 7б). Ориентировка конических складок указывает на левосторонние движения по вторичным разрывам (см. диаграмму **г** на рис. 7). Примечательно, что ранние взбросы, оказавшиеся внутри сдвиговых зон, также деформированы в конические складки.

Как видно из приведенных выше данных, современное строение месторождения Бакр-Узяк определяет надвиг, осложненный во фронтальной части транспрессивным левым сдвигом. Следует отметить, что южнее месторождения надвиговыми дислокациями в зоне Кизильского разлома затронуты нижнекаменноугольные осадочные породы.

Тектонические структуры, связанные со сдвиговыми деформациями. Изучены два типа деформационных структур колчеданных месторождений, в формировании которых ведущую роль играли сдвиговые деформации: 1) сдвиги с оперяющими разрывами и 2) вторичные надвиги и взбросы транспрессивных зон.

1. Сдвиги с оперяющими разрывами характерны для группы Контрольных колчеданно-полиметаллических месторождений и рудопроявлений, расположенных в северной части Магнитогорской мегазоны (см. рис. 1). Мелкие тела массивных и прожилково-вкрапленных руд, имеющих сложную морфологию, локализованы на этих объектах в метасоматически измененных кислых вулканитах карамалыташской свиты (D_2).

По результатам детального структурного картирования эксплуатационного карьера установлено, что основным элементом деформационной структуры Южноконтрольного месторождения является левосторонний разлом транспрессивного типа северо-западного простирания (рис. 8). Его

оперяют север-северо-западные взбросо-сдвиги, по положению и кинематике соответствующие вторичным синтетическим сколам (P-сколам) [Silvaster, 1978]. Вмещающие карамалыташские вулканиты смяты на крыльях разлома северо-восточные складки волочения конического типа.

2. Вторичные надвиги и взбросы транспрессивных зон определяют современную структуру колчеданных месторождений и рудопроявлений

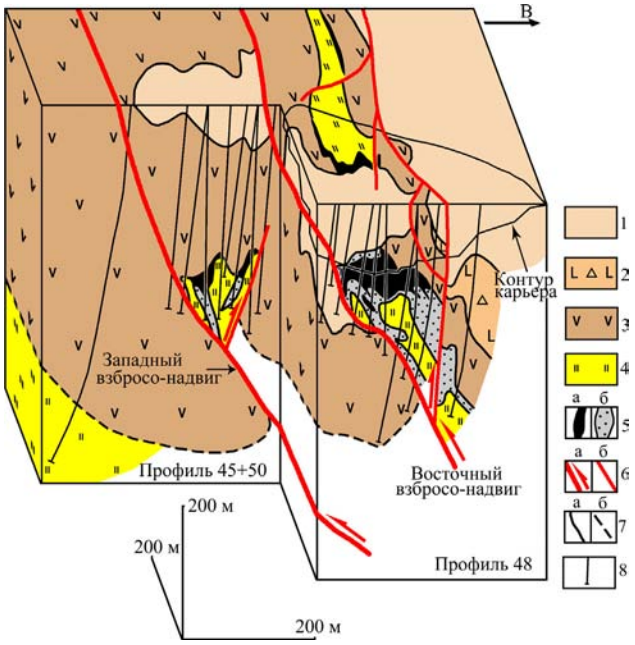

Рис. 5. Блок-диаграмма месторождения Балта-Тау (составлена с использованием данных А. М. Косарева, А. Д. Ситнова, В. М. Рудакова и И. В. Рачева)

Условные обозначения: 1–3 — ирендыкская свита (D_{1-2}): 1 — терригенно-тефроидные отложения с прослоями агломератовых туфов и тефроидов смешанного состава, 2 — агломератовые и гравийные туфы пироксен-плагиоклазовых порфиритов, 3 — эффузивные и экструзивные кварц-пироксен-плагиоклазовые порфириты и их туфы; 4 — метасоматиты по гравийно-лапиллиевым и мелкоагломератовым туфам и тефроидам кислого состава баймак-бурибаевской свиты (D_1); 5 — сплошные и густовкрапленные (а) и прожилково-вкрапленные (б) колчеданно-полиметаллические руды; 6 — разломы: а — главные, б — второстепенные; 7 — геологические границы установленные (а) и предполагаемые (б); 8 — скважины.

Fig. 5. Block diagram of the Balta-Tau deposit (compiled using data from A. M. Kosarev, A. D. Sitnov, V. M. Rudakov and I. V. Rachev)

Legend: 1–3 — Irendyk suite (D_{1-2}): 1 — terrigenous-tephroid deposits with interlayers of agglomerate tuffs and tephroids of mixed composition, 2 — agglomerate and gravel tuffs of pyroxene-plagioclase porphyrites, 3 — effusive and extrusive quartz-pyroxene-plagioclase porphyrites and their tuffs; 4 — metasomatites after gravel-lapilli and finely agglomerate tuffs and tephroids of acid composition of the Baimak-Buribay suite (D_1); 5 — continuous and densely disseminated (a) and veinlet-disseminated (б) pyrite-polymetallic ores; 6 — faults: a — main, b — minor; 7 — established (a) and inferred (б) geological boundaries; 8 — boreholes.

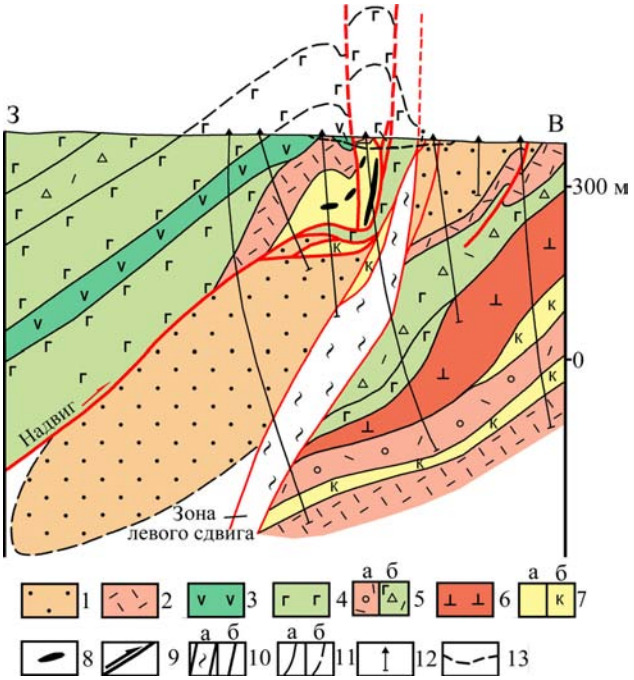

Рис. 6. Геологический разрез месторождения Бакр-Узяк (составлен с использованием материалов П. В. Лазарева, Г. И. Водорезова, В. Г. Шигарева и А. М. Косарева)

Условные обозначения: 1 — кремнистые и терригенно-карбонатные породы (D_{2-3}); 2–6 — карамалыташская свита (D_2): 2 — риодациты, 3 — андезиты и брекчии смешанного состава, 4 — базальты с прослоями туфов основного состава и яшм, 5 — туфы кислого (а) и смешанного (б) состава; 6 — субвулканические риодациты; 7 — серицит-кварцевые (а) и карбонат-хлорит-кварцевые (б) метасоматиты; 8 — колчеданные залежи; 9 — надвиги и взбросы; 10 — зона левого сдвига (а) и ее вторичные разрывы (б); 11 — геологические границы: а — достоверные, б — предполагаемые; 12 — буровые скважины, 13 — контур карьера.

Fig. 6. Geological section of the Bakr-Uzyak deposit (compiled using materials from P. V. Lazarev, G. I. Vodorezov, V. G. Shigarev and A. M. Kosarev)

Legend: 1 — siliceous and terrigenous-carbonate rocks (D_{2-3}); 2–6 — Karamalytash suite (D_2): 2 — rhyodacites, 3 — andesites and breccias of mixed composition, 4 — basalts with interlayers of basic tuffs and jaspers, 5 — tuffs of acid (a) and mixed (б) composition; 6 — subvolcanic rhyodacites; 7 — sericite-quartz (a) and carbonate-chlorite-quartz (б) metasomatites; 8 — pyrite deposits; 9 — thrusts and reverse faults; 10 — left-lateral strike-slip zone (a) and its secondary faults (б); 11 — geological boundaries: a — reliable, б — assumed; 12 — boreholes, 13 — quarry outline.

Александринского рудного района, расположенного на восточном фланге Магнитогорской мегазоны (см. рис. 1). В строении района участвуют вулканогенные и вулканогенно-осадочные комплексы средне-позднедевонского возраста. С запада рудный район ограничен региональным Сабановским (Аблязовским), а с востока — крупным Западно-Фестивально-Александрийским разломами близмеридионального простирания (рис. 9). На территории рудного района они образуют правоступенчатое

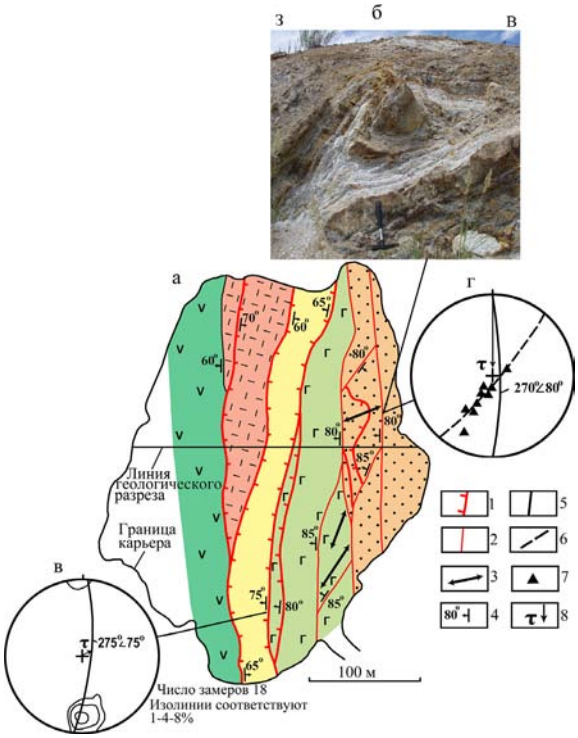

Рис. 7. Геолого-структурная схема карьера месторождения Бакр-Узяк (а) (составлена с использованием данных Ф. И. Ковалева и А. М. Косарева) и фотография складок с близвертикальными шарнирами, образовавшихся в условиях сдвиговых деформаций (б).

Диаграммы (сетка Вульфа, верхняя полусфера) реконструкции векторов смещения висячих крыльев разрывов: в — по линейности пересечения разрывов, образующих дуплексы [Kano et al., 1991], г — по ориентировке шарниров конических складок [McClay, 1995].

Условные обозначения: 1 — взбросы и надвиги; 2 — левые сдвиги; 3 — оси конических складок; 4 — элементы залегания; 5–8 — на диаграммах: 5 — плоскости разломов, 6 — осевая плоскость складчатости; 7 — шарниры конических складок; 8 — векторы смещения висячих крыльев разрывов. Остальные условные обозначения см. на рис. 6.

Fig. 7. Geological and structural csheme of the quarry of the Bakr-Uzyak deposit (a) (compiled using data from F.I. Kovalev and A.M. Kosarev) and a photograph of folds with near-vertical hinges formed under conditions of shear deformations (б).

Diagrams (Wolf net, upper hemisphere) of the reconstruction of displacement vectors of hanging wall faults: в — by the linearity of the intersection of faults forming duplexes [Kano et al., 1991], г — by the orientation of the hinges of conical folds [McClay, 1995].

Legend: 1 — reverse faults and thrusts; 2 — left-lateral strike-slip faults; 3 — axes of conical folds; 4 — bedding elements; 5–8 — on diagrams: 5 — fault planes, 6 — axial plane of folding; 7 — hinges of conical folds; 8 — displacement vectors of hanging walls of faults. For other symbols, see Fig 6.

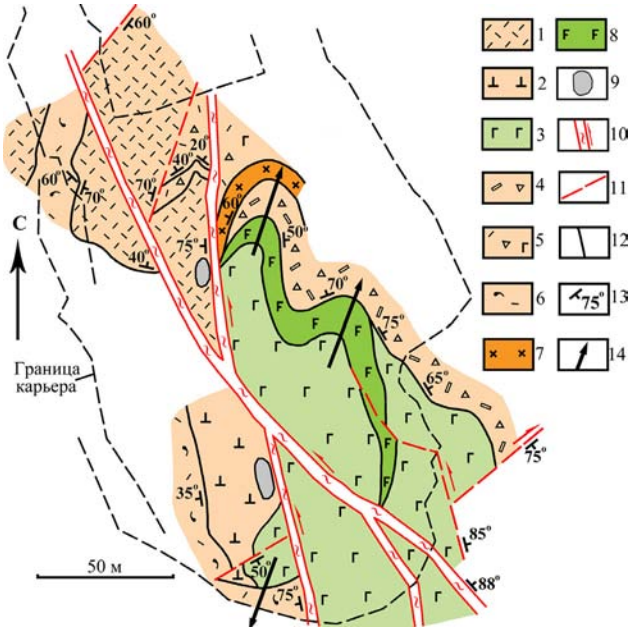

Рис. 8. Геолого-структурная схема карьера Южно-контрольного месторождения

Условные обозначения: 1 — риолиты; 2 — нерасчлененные кислые вулканиты; 3 — базальты, андезиты и их туфы; 4 — брекчии кислого состава; 5 — брекчии смешанного состава; 6 — преимущественно псаммитовые туфы кислого состава; 7 — субвулканические риодациты; 8 — габбро-долериты и габбро; 9 — прожилково-вкрапленные колчеданные руды; 10 — левые сдвиги и направление смещения по ним; 11 — разрывы неустановленного кинематического типа; 12 — геологические границы; 13 — элементы залегания; 14 — оси конических складок.

Fig. 8. Geological and structural diagram of the quarry of the South Kontrolny deposit

Legend: 1 — rhyolites; 2 — undifferentiated acid volcanics; 3 — basalts, andesites and their tuffs; 4 — acid breccias; 5 — breccias of mixed composition; 6 — mainly psammitic tuffs of acid composition; 7 — subvolcanic rhyodacites; 8 — gabbro-dolerites and gabbro; 9 — veinlet-disseminated pyrite ores; 10 — left-lateral strike-slip faults and direction of displacement along them; 11 — faults of unspecified kinematic type; 12 — geological boundaries; 13 — bedding elements; 14 — axes of conical folds.

перекрытие. Оба разлома имеют инфраструктуру, типичную для левосторонних транспрессивных зон. Зоны этих разломов состоят из магистральных близмеридиональных левых взбросо-сдвигов (L-сколов), север-северо-западных левых сдвигов и взбросо-сдвигов (вторичных синтетических P-сколов) и надвигов и взбросов восток-северо-восточного простирания. Структурные наблюдения и тектонофизические реконструкции, выполненные вблизи наиболее крупного меридионального сместителя Сабановской сдвиговой зоны, позволили выделить три генерации трещин (см. диаграмму на рис. 9). Первая и вторая генерации трещин отражают два импульса ранних левосторонних движений по разрыву, происходивших в условиях северо-западного направления стресса, а третья поздняя — правосторонние смещения по нему в обстановке северо-восточной ориентировки оси сжатия. Севернее Александринского рудного района сдвиговыми дислокациями Сабановского (Аблязовского) разлома затронуты нижнекаменноугольные отложения, что указывает на его позднепалеозойский возраст.

Вторичные надвиги Сабановской транспрессивной зоны являются главными элементами деформационной структуры Сабановского месторождения и Бабарыкинского рудопроявления. На Бабарыкинском рудопроявлении разбурен взбросо-надвиг северо-западного падения. По разлому, имеющему амплитуду более 400 м, среднедевонские вулканиты контрастно-базальтового и риолитового состава надвинуты на осадочные отложения верхнего девона. Вулканогенные породы вместе с колчеданной залежью, локализованной в кровле кислой толщи, смяты в приразломную антиклиналь (рис. 10а).

Существенную роль в современной структуре Александринского рудного района играет сдвиговый дуплекс сжатия, образовавшийся на ступенчатом перекрытии граничных Сабановского и Западно-Фестивально-Александриского разломов. Дуплекс состоит из бивергентных надвигов и взбросов северо-восточного простирания. Детально структура одного из них изучено нами в эксплуатационном карьере Александриского месторождения (см. рис. 10б).

В строении месторождения участвуют вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы карамалыташской свиты (D_2zv), слагающие по данным И. Б. Серавкина, вулканический купол. Купол в апикальной части осложнен палеодепрессией, вмещающей колчеданную залежь. В современной

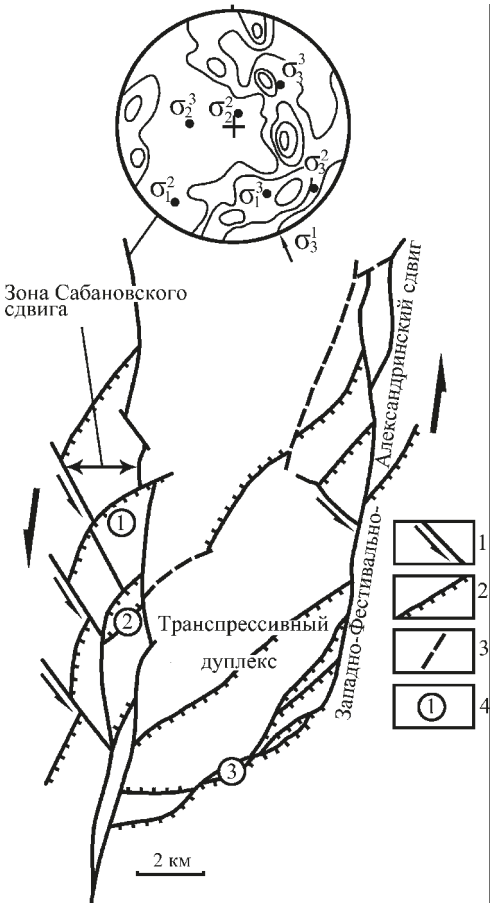

Рис. 9. Схема разрывных нарушений Александринского рудного района [Знаменский, 2009]

Диаграмма плотностей полюсов трещин (сетка Вульфа, верхняя полусфера, количество замеров 99, изолинии соответствуют 1–3–5–7%), развитых в зоне меридионального сместителя Сабановского сдвига и реконструкция по ним полей палеотектонических напряжений с помощью статистического метода [Николаев, 1977].

Условные обозначения: 1 — сдвиги и взбросо-сдвиги; 2 — надвиги и взбросы; 3 — разрывы неустановленного кинематического типа; 4 — колчеданные месторождения и рудопроявления: 1 — Сабановское, 2 — Бабарыкинское, 3 — Александринское; 5 — на диаграмме оси главных нормальных напряжений (s_1 — максимальных, s_2 — промежуточных, s_3 — минимальных; верхними индексами обозначены генерации полей палеонапряжений от ранних к поздним).

Fig. 9. Scheme of faults of the Aleksandrinsky ore region [Znamensky, 2009]

Diagram of crack pole densities (Wulf net, hemisphere, number of measurements 99, isolines correspond to 1–3–5–7%), developed in the zone of the meridional fault plane of the Sabanovsky strike-slip fault and reconstruction of paleotectonic stress fields using the statistical method [Nikolaev, 1977].

Legend: 1 — strike-slip and reverse-slip faults; 2 — thrusts and reverse faults; 3 — faults of unknown kinematic type; 4 — pyrite deposits and ore occurrences: 1 — Sabanovo, 2 — Babarykino, 3 — Aleksandrinsky: 5 — on the diagram, the axises of the main normal stresses (σ_1 — maximum, σ_2 — intermediate, $_3$ — minimum; the superscripts indicate the generations of paleostress fields from early to late).

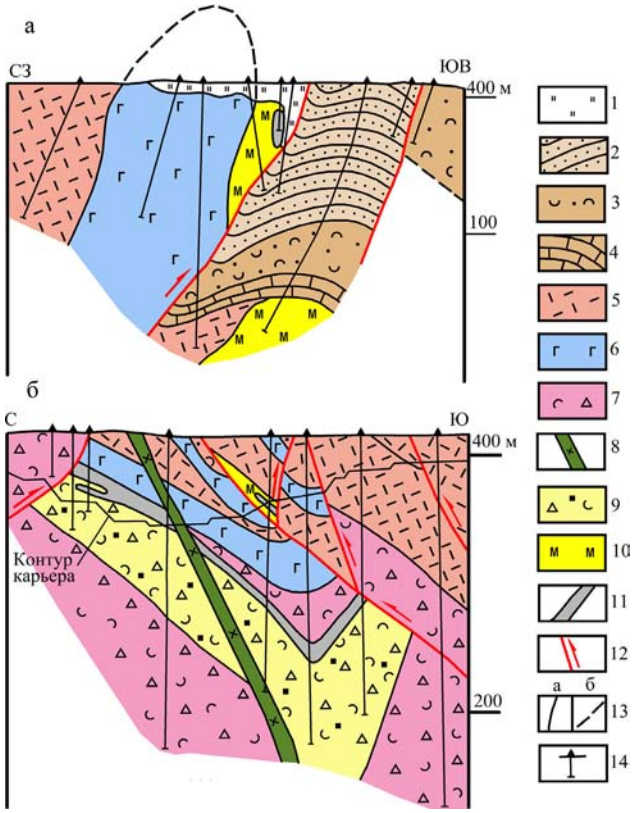

Рис. 10. Схематические геологические разрезы Бабарыкинского рудопроявления и Александринского месторождения [Знаменский, 2009]

Условные обозначения: 1 — четвертичные отложения; 2–4-улутауская свита (D_{2-3}): 2 — кремнистые сланцы и алевролиты, 3 — вулканогенно-осадочные породы, 4 — известняки; 5–7 — карамалыташская свита: 5 — риодациты и риолиты, 6 — базальты и андезибазальты, 7 — туфы кислого и смещанного состава; 8 — габбро-долериты: 9 — серицитизированные и окварцованные туфы кислого и смешанного состава с вкрапленностью сульфидов; 10 — серицит-кварцевые метасоматиты; 11 — колчеданные залежи; 12 — разломы и направления смещений по ним; 13 — геологические границы: а — установленные, б — предполагаемые; 14 — скважины.

Fig. 10. Schematic geological sections of the Babarykino ore occurrence and the Aleksandrinsky deposit [Znamensky, 2009]

Legend: 1 — Quaternary deposits; 2–4 — Ulutau suite (D_{2-3}): 2 — siliceous shales and siltstones, 3 — volcanogenic-sedimentary rocks, 4 — limestones; 5–7 — Karamalytash suite: 5 — rhyodacites and rhyolites, 6 — basalts and basaltic andesites, 7 — tuffs of acidic and displaced composition; 8 — gabbro-dolerites: 9 — sericitized and silicified tuffs of acidic and mixed composition with disseminated sulfides; 10 — sericite-quartz metasomatites; 11 — pyrite deposits; 12 — faults and directions of displacements along them; 13 — geological boundaries: a — established, б — assumed; 14 — boreholes.©

структуре вулканическая постройка деформирована в антиклиналь широтного простирания. Крылья складки нарушены продольными бивергентными надвигами, падающими от центра структуры. Наиболее крупный южный надвиг со стороны висячего бока оперяется серией чешуйчатых взбросов преимущественно южного падения. Основной надвиг и вторичные взбросы имеют дуплексное строение. Анализ борозд скольжения на зеркалах и линейности пересечения в пакетах дуплексов подтверждает взбросо-надвиговую природу этих разрывных нарушений.

Результаты исследований позволяют отнести деформационные структуры колчеданных месторождений Магнитогорской мегазоны к позднепалеозойским коллизионным образованиям. Закономерности формирования и эволюции этих структур отражают геодинамику мегазоны на этапе общей коллизии. Этот этап характеризовался проявлением ранних надвиговых и более поздних сдвиговых деформаций [Знаменский, 2009].

Заключение

Как видно из приведенных выше данных, по типу деформационных структур колчеданные месторождения Магнитогорской мегазоны могут быть разделены на две группы. К первой из них относятся месторождения, деформационную структуру которых определяют надвиговые, а ко второй — сдвиговые парагенезисы. Надвиговые парагенезисы представлены шовными антиклиналями, осложненными дополнительными ассоциированными складками, образованными рудными телами, а также чешуйчатыми надвигами, в висячих крыльях которых рудовмещающие породы и колчеданные залежи часто смяты в антиклинальные складки волочения. Надвиги характерны для месторождений, расположенных на западном фланге мегазоны в зонах крупных позднепалеозойских разломов. На месторождениях первой группы проявлены также поздние сдвиговые дислокации. Существенного влияния на общую структуру месторождений они не оказывают.

К сдвиговым структурным парагенезисам относятся сдвиги с оперяющими разрывами, а также вторичные надвиги и взбросы зон региональных сдвигов, развивавшихся в позднем палеозое в условиях транспрессии.

Деформационные структуры колчеданных месторождений Магнитогорской мегазоны Южного

Урала представляют собой позднепалеозойские коллизионные образования.

Список литературы

Гущенко О. И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений // Поля напряжений и деформаций в литосфере. М.: Наука. 1979. С. 7–25.

Знаменский С. Е. Структурные условия формирования коллизионных месторождений золота восточного склона Южного Урала. Уфа: «Гилем». 2009. 348 с.

Знаменский С. Е. Структурная эволюция Кизильского разлома (Южный Урал) // Известия УНЦ РАН. 2015. №4. С. 83–88.

Знаменский С. Е., Серавкин И. Б., Чадченко А. В. Структура Учалинского месторождения: Препринт / Уфа: УНЦ РАН, 1991. 23 с.

Корчемагин В. А., Емец В. С. К методике реконструкции и разделения наложенных полей напряжений // Докл. АН СССР. 1982. Т. 263. №1. С. 163–168.

Кривцов А. И. О роли надвигов в структурах Мамбетовского и Тубинского рудных полей (Южный Урал) // Структуры медноколчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождений. М.: ЦНИГРИ, 1971. С. 67–74.

Кривцов А. И. Палеовулканизм эвгеосинклинальных зон Урала и колчеданообразование. М.: Недра. 1979. 168 с.

Масленников В. В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданоносных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Миасс: ИМ УрО РАН. 1999. 348 с.

Медноколчеданные месторождения Урала. Геологические условия размещения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. 288 с.

Николаев П. Н. Методика статистического анализа трещин и реконструкции полей палеонапряжений // Изв. вузов. Геология и разведка. 1977. №12. С 103–115.

Прокин В. А. Закономерности размещения колчеданных месторождений на Южном Урале. М.: Недра, 1977. 174 с.

Расцветаев Л. М. Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений // Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов. М.: ГИН АН СССР. 1987. Ч. II. С. 173–235.

Серавкин И. Б. Вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. М.: Наука, 1986. 268 с.

Серавкин И. Б. Вулканогенные колчеданные месторождения Южного Урала // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 638–669.

Серавкин И. Б., Знаменский С. Е., Скуратов В. Н., Чадченко А. В. Учалинское медно-цинково-колчеданное месторождение «уральского» типа. Уфа: БНЦ УрО РАН, 1992. 175 с.

Серавкин И. Б., Знаменский С. Е., Косарев А. М. Разрывная тектоника и рудоносность Башкирского Зауралья. Уфа: Полиграфкомбинат, 2001. 318 с.

Серавкин И. Б., Скуратов В. И. Гайское медноколчеданное месторождение: структура, зональность и распределение золота и серебра // Литосфера. 2009. №4. С. 66–82.

Старостин В. И. Палеотектонические режимы и механизмы формирования структур рудных месторождений. М.: Недра, 1988. 256 с.

Cowan D. S., Brandon M. T. A symmetry-based for kinematic analysis of large-slip brittle fault zones // American J. of Science. 1994. V. 294. P. 257–306.

Kano K.-J., Nakaji M., Takenchi S. Asimmetrical mélange fabrics as possible indicators of the convergent direction of plates: a case study from Shimanto Belt of the Akaishi Mountains, central Japan // Tectonopysics. 1991. V. 185. №3–4. P. 375–388.

McClay K. The mapping of geological structures. London: Open University press, 1995. 161 p.

Sylvester G. Strike-slip faults // Geologial Society of America Bulletin. 1988. V. 100. №11. P. 1666–1703.

References

Gushchenko O. I. (1979) Metod kinematicheskogo analiza struktur razrusheniya pri rekonstrukcii polej tektonicheskih napryazhenij // Polya napryazhenij i deformacij v litosfere [Method of kinematic analysis of destruction structures during reconstruction of tectonic stress fields. In: Stress and deformation fields in the lithosphere.]. Moscow: Nauka Publ., 7–25. (In Russian).

Znamenskij S. E. (2009) Strukturnye usloviya formirovaniya kollizionnyh mestorozhdenij zolota vostochnogo sklona Yuzhnogo Urala [Structural conditions of formation of collision gold deposits of the eastern slope of the Southern Urals]. Ufa: «Gilem', 348 p. (In Russian).

Znamenskij S. E. (2015) Strukturnaya evolyuciya Kizil'skogo razloma (Yuzhnyj Ural) [Structural evolution of the Kizil fault (Southern Urals)]. *Izvestiya UNC RAN*. (4), 83–88. (In Russian).

Znamenskij S. E., Seravkin I. B., Chadchenko A. V. (1991) Struktura Uchalinskogo mestorozhdeniya: Preprint / UNC RAN [Structure of the Uchalinskoye deposit: Preprint / Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.]. Ufa, 23 p. (In Russian).

Korchemagin V. A., Emec V. S. (1982) K metodike rekonstrukcii i razdeleniya nalozhennyh polej napryazhenij [Towards a Method of Reconstruction and Separation of Superimposed Stress Fields]. *Dokl. AN SSSR*. **263** (1), 163–168. (In Russian).

Krivcov A. I. (1971) O roli nadvigov v strukturah Mambetovskogo i Tubinskogo rudnyh polej (YUzhnyj Ural) // Struktury mednokolchedannyh i kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdenij [On the role of thrusts in the structures of the Mambetovsky and Tubinsky ore fields (Southern Urals) In: Structures of copper-pyrite and pyrite-polymetallic deposits]. Moscow: CNIGRI, 67–74. (In Russian).

Krivcov A. I. (1979) Paleovulkanizm evgeosinklinal'nyh zon Urala i kolchedanoobrazovanie [Paleovolcanism of the eugeosynclinal zones of the Urals and pyrite formation]. Moscow: Nedra, 168 p. (In Russian).

Maslennikov V. V. (1999) Sedimentogenez, gal'miroliz i ekologiya kolchedanonosnyh paleogidrotermal'nyh polej (na primere Yuzhnogo Urala) [Sedimentogenesis, halmyrolysis and ecology of pyrite-bearing paleohydrothermal fields (using the Southern Urals as an example)]. Miass: IM UrO RAN, 348 p. (In Russian).

Mednokolchedannye mestorozhdeniya Urala. Geologicheskie usloviya razmeshcheniya 1 [Copper pyrite deposits of the Urals. Geological conditions of placement.] (1985). Sverdlovsk: UNC AN SSSR, 288 p. (In Russian).

Nikolaev P.N. (1977) Metodika statisticheskogo analiza treshchin i rekonstrukcii polej paleonapryazhenij [Methodology of statistical analysis of cracks and reconstruction of paleostress fields]. *Izv. vuzov. Geologiya i razvedka.* (12), 103–115. (In Russian).

Prokin V. A. (1977) Zakonomernosti razmeshcheniya kolchedannyh mestorozhdenij na Yuzhnom Urale [Patterns of distribution of pyrite deposits in the Southern Urals]. Moscow: Nedra, 174 p. (In Russian).

Rascvetaev L. M. (1987) Parageneticheskij metod strukturnogo analiza diz'yunktivnyh tektonicheskih narushenij // Problemy strukturnoj geologii i fiziki tektonicheskih processov [Paragenetic method of structural analysis of disjunctive tectonic faults. In: Problems of structural geology and physics of tectonic processes]. Moscow: GIN AN SSSR, 173–235. (In Russian).

Seravkin I. B. (1986) Vulkanizm i kolchedannye mestorozhdeniya Yuzhnogo Urala [Volcanism and pyrite deposits of the Southern Ural]. M.: Nauka, 268 p. (In Russian).

Seravkin I. B. (2007) Vulkanogennye kolchedannye mestorozhdeniya Yuzhnogo Urala // Geodinamika, magmatizm, metamorfizm i rudoobrazovanie [Volcanogenic pyrite deposits of the Southern Urals. In: Geodynamics, magmatism, metamorphism and ore formation]. Ekaterinburg: IGG UrO RAN, 638–669. (In Russian).

Seravkin I. B., Znamenskij S. E., Skuratov V. N., Chadchenko A. V. (1992) Uchalinskoe medno-cinkovo-kolchedannoe mestorozhdenie «ural'skogo' tipa [Uchaly copper-zinc-pyrite deposit of the «Ural' type]. Ufa: BNC UrO RAN, 175 p. (In Russian).

Seravkin I. B., Znamenskij S. E., Kosarev A. M. (2001) Razryvnaya tektonika i rudonosnost' Bashkirskogo Zaural'ya [Fault tectonicas and deposits of the Trans-Uralian Bashkiria]. Ufa: Poligrafkombinat, 318 p. (In Russian).

Seravkin I. B., Skuratov V. I. (2009) Gajskoe mednokolchedannoe mestorozhdenie: struktura, zonal'nost' i raspredelenie zolota i serebra [Gayskoye copper pyrite deposit: structure, zoning and distribution of gold and silver]. *Litosfera*, (4), 66–82. (In Russian).

Starostin V. I. (1988) Paleotektonicheskie rezhimy i mekhanizmy formirovaniya struktur rudnyh mestorozhdenij [Paleotectonic regimes and mechanisms of formation of ore deposit structures]. M.: Nedra, 256 p. (In Russian).

Cowan D. S., Brandon M. T. (1994) A symmetry-based for kinematic analysis of large-slip brittle fault zones. *American Journal of Science*, **294**, 257–306.

Kano K.-J., Nakaji M., Takenchi S. (1991) Asimmetrical mélange fabrics as possible indicators of the convergent direction of plates: a case study from Shimanto Belt of the Akaishi Mountains, central Japan. *Tectonopysics*, **185** (3–4), 375–388.

McClay K. (1995) The mapping of geological structures. London: Open University press, 161 p

Sylvester G. (1988) Strike-slip faults. *Geologial Society of America Bulletin,* **100** (11), 1666–1703.

Сведения об авторах:

Знаменский Сергей Евгеньевич, доктор геол.-минерал. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. Znamensky_Sergey@mail.ru

Знаменская Нина Михайловна, младший научный сотрудник, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, ninaznam@mail.ru

About the author:

Znamensky Sergei Evgenievich, doctor of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. Znamensky_Sergey@mail.ru

Znamenskaya Nina Michailovna, Junior Researcher Associate, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. ninaznam@mail.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 06.02.2025; одобрена после рецензирования 09.02.2025; принята к публикации 03.03.2025.

The article was submitted 06.02.2025; approved after reviewing 09.02.2025; accepted for publication 03.03.2025.