

## Роль геохимических барьеров при формировании сульфидных руд в различных геологических обстановках

На основе многолетних исследований месторождений медистых песчаников и сланцев, а также изучения глубоководных океанских сульфидных руд показаны различные типы геохимических барьеров, на которых происходит сульфидообразование. Медистые песчаники и сланцы формируются при осаждении металлов из пластовых вод красноцветных формаций на сероводородном геохимическом барьере. Выделено два типа барьеров – сингенетический и эпигенетический. В океанских сульфидных рудах, изученных в Центральной Атлантике, наряду с известными ранее типами сульфидных руд (массивные руды на поверхности дна, штокверковые руды в породах субстрата) установлен новый, гидротермально-метасоматический, тип оруденения в осадках. Рассмотрены геохимические обстановки сульфидообразования на поверхности дна и в биогенных карбонатных донных осадках.

*Ключевые слова:* медистые песчаники и сланцы, современные океанские сульфидные руды, геохимические барьеры.

ГАБЛИНА ИРИНА ФЁДОРОВНА, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, gablina@ilran.rut

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН), г. Москва

## Role of geochemical barriers in forming sulfide ores in various geological environments

I. F. GABLINA

Federal State Budgetary Institution of Science Geological Institute of the Russian Academy of Sciences (GIN RAS), Moscow

Based on long-term studies of cupriferous sandstone and shale deposits, as well as deepsea sulfide ores, various types of geochemical barriers where sulfides form are shown. Cupriferous sandstones and shales form as metals precipitate from redbed reservoir waters on H<sub>2</sub>S geochemical barrier. Syngenetic and epigenetic barrier types are identified. Oceanic sulfide ores from the Central Atlantic region were studied; as a result, a new hydrothermal-metasomatic sediment-hosted mineralization type was found, along with previously known sulfide ore types (massive ores on the seafloor and stockwork ores in substrate rocks). Geochemical seafloor sulfide formation environments and those in biogenic carbonate bottom sediments are examined.

*Key words:* cupriferous sandstones and shales, modern oceanic sulfide ores, geochemical barriers.

Многолетние исследования закономерностей распространения, вещественного состава и условий образования месторождений медистых песчаников и сланцев показали, что основными факторами образования рудоносных растворов являются процессы взаимодействия вода–порода, а локализация сульфидных руд происходит на восстановительных сероводородных барьерах. Эти представления были заложены крупными российскими и зарубежными исследователями (А. И. Перельман, А. И. Германов, Е. А. Басков, С. Р. Крайнов, Б. Н. Рыженко, Л. М. Лебедев, А. М. Лурье, Л. Б. Густафсон, Н. Уильямс, A. W. Rose, W. S. White и др.) и получили развитие

в работах автора [5, 7, 11, 18, 23 и др.]. Важнейшее место в ряду исследований занимают труды А. И. Перельмана [21, 22], разработавшего учение о геохимических барьерах и применившего его к расшифровке генезиса стратиформных месторождений, в том числе месторождений медистых песчаников (на примере Джекказгана).

Открытие современных сульфидных руд на дне океана позволило изучать процесс рудообразования путём непосредственных наблюдений, замеров физико-химических параметров и исследования состава рудоносных растворов. Было установлено, что это кислые (pH 2–4) восстановительные

гидротермальные ( $T$  до 350–400 °C) растворы, содержащие  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{He}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Si}$  [2, 4 и др.]. Согласно существующим представлениям (рециклинговая модель), подтверждённым компьютерным моделированием, гидротермальные растворы формируются при взаимодействии морской воды с породами ложа океана [4, 14]. Преобразованная морская вода, разогретая вблизи магматической камеры, образует гидротермальные конвективные потоки. Формирование сульфидных руд происходит на геохимическом барьере, образующемся в зоне смещения кислых гидротермальных рудоносных растворов с холодной морской водой, содержащей кислород и  $\text{SO}_4$ . Рудообразование происходит как в зоне выхода гидротермальных источников на морское дно («чёрные курильщики»), так и в «подповерхностной зоне» [2, 4].

**Материалы и методы.** Объектами исследований служили разновозрастные месторождения медистых песчаников и сланцев: Удокан ( $\text{Pt}_1?$ ), Джезказган в Казахстане ( $\text{C}_{2-3}$ ), Западное Приуралье, Любин-Серошовице в Польше, Мансфельд в Германии ( $\text{P}_2$ ) и др. По зарубежным месторождениям (Уайт-Пайн (США), Медный пояс Африки, медистые сланцы Центральной Европы) использованы опубликованные данные [15, 26, 27, 29–31].

Современные сульфидные руды, рудоносные и фоновые осадки изучены в зоне 13°–20° с.ш. Срединно-Атлантического хребта (гидротермальные поля Ашадзе-1, Семенов-4, Зенит-Виктория, Петербургское, гидротермальный узел Победа) по материалам рейсов научно-исследовательского судна «Профессор Логачев» АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция» в Российском разведочном районе. Был проведён комплекс исследований, включающий литологические, биостратиграфические, геохимические, физико-химические (замеры температуры и Eh-pH-параметров рудоносных и фоновых осадков в рейсе) методы в сочетании с минералогическими, оптическими, электронно-микроскопическими, электронно-зондовыми, рентгеновскими и химическими методами исследования осадков и руд, что позволило применить системный подход к изучению условий осадко- и рудообразования.

**Результаты исследований и обсуждение. Месторождения медистых песчаников и сланцев.** На примере изученных объектов и опубликованных материалов установлены следующие закономерности распространения медистых песчаников и сланцев [5–7, 11, 17, 18, 22, 23, 26, 27, 29–31]:

- Связь с красноцветными молассовыми формациями.
- Контроль оруденения проницаемостью красноцветных отложений.

- Приуроченность к склонам поднятий.
- Локализация оруденения на сероводородных геохимических барьерах.

• Специфический минеральный состав руд (при отсутствии нестехиометрических минералов систем  $\text{Cu-S}$  и  $\text{Cu-Fe-S}$ ).

• Присутствие минералов-индикаторов различных условий формирования и последующих преобразований вмещающих пород.

• Однотипная зональность оруденения, отражающая смену физико-химических параметров в направлении от красноцветных отложений к восстановительному геохимическому барьеру.

• Наличие низкотемпературных околорудных изменений.

Независимо от возраста и степени метаморфизма вмещающих пород руды медистых песчаников и сланцев локализуются либо в самих красноцветных толщах, либо в базальных горизонтах перекрывающих их морских сероцветных отложений (рис. 1). Это объясняется геохимическими особенностями меди и вмещающих оруденение отложений. Как показано в работах А.И. Перельмана [21, 22], А.М. Лурье [17], А. W. Rose [30], W.S. White [31] и др., аридные красноцветные формации являются источником меди и средой, в которой она мигрирует. Медь подвижна в слабоокислительной обстановке, характерной для континентальных красноцветных формаций. С позиции физической химии красноцветные отложения – это область устойчивости  $\text{Fe}^{3+}$ , в пределах которой находятся все известные в природе формы меди – двухвалентная, одновалентная, металлическая и сульфидная. В пластовых водах красноцветных формаций, сформированных в континентальных условиях, обычно присутствует хлор-ион, с которым  $\text{Cu}^+$  образует водорастворимые комплексы. В подземных (поровых, пластовых) водах красноцветных формаций содержание растворённой меди может достигать более 50 мг/л [17, 25] в зависимости от значений Eh и pH растворов. В настоящее время общепризнано, что основной формой переноса меди и других цветных металлов в водных растворах являются комплексные соединения. Слабоокислительные, богатые Cl-ионом воды выщелачивают из пород полезные компоненты ( $\text{Cu}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$ ) и переносят их в виде хлоридных комплексов. Таким образом, в результате взаимодействия пород с инфильтрующимися сквозь них пластовыми водами эллизионного или артезианского типа формируются рудоносные растворы.

Осаждение металлов происходит в сульфидной форме в восстановительной сероводородной среде (на сероводородном геохимическом барьере) [5, 7, 17, 18, 21, 22, 27, 30, 31]. Изотопные данные указывают

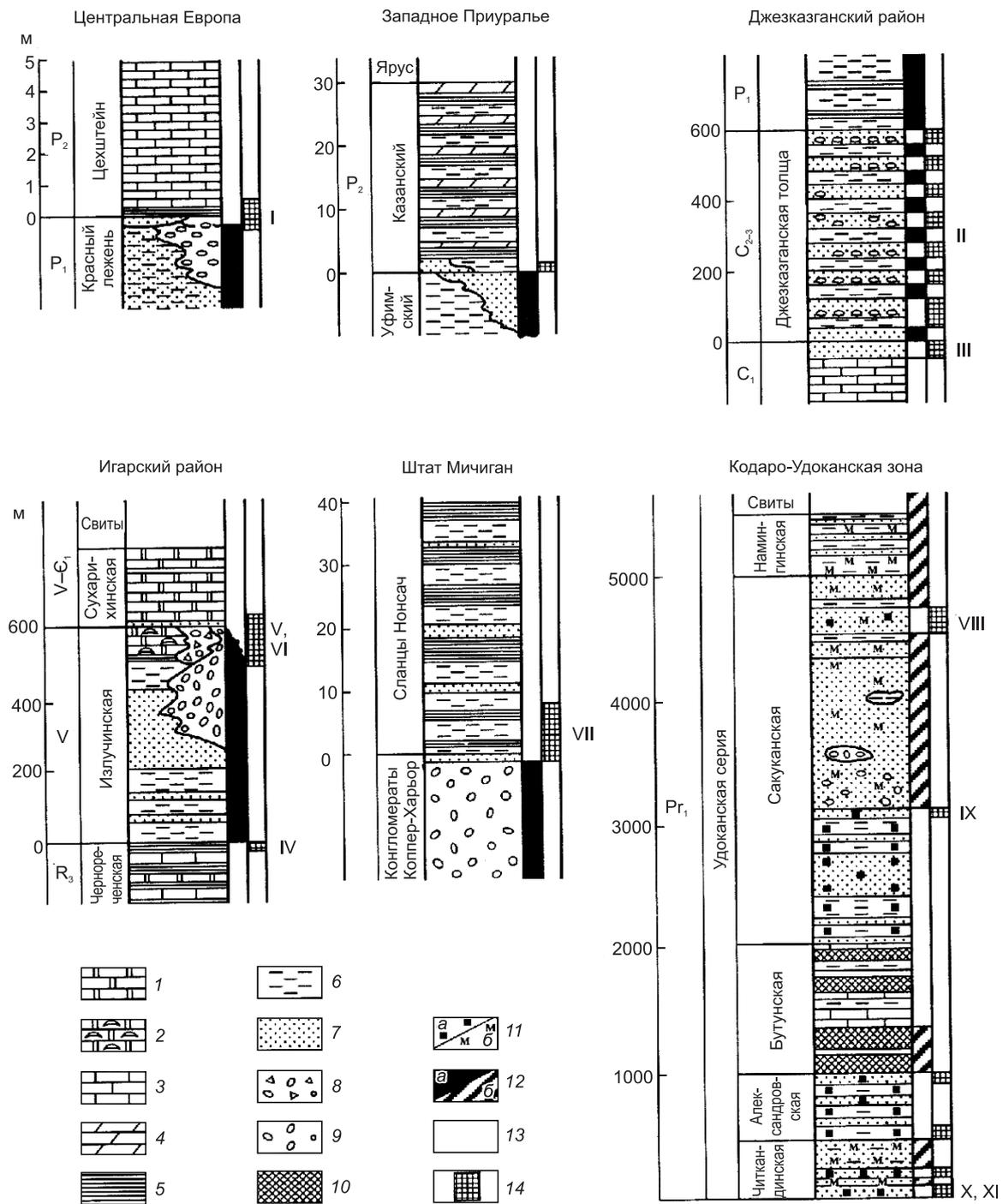


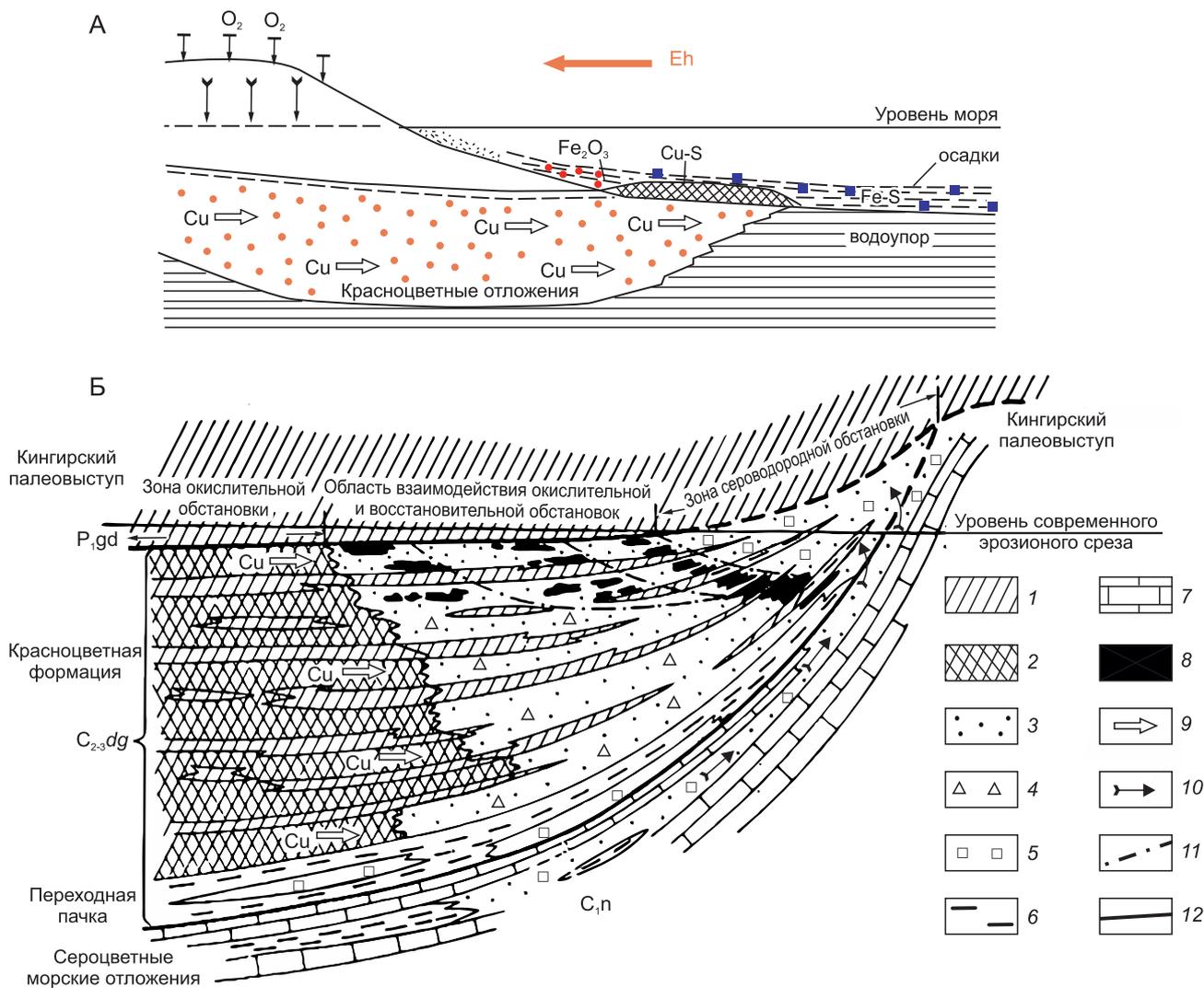
Рис. 1. Связь медистых песчаников и сланцев с красноцветными формациями:

1 – доломиты; 2 – строматолитовые доломиты; 3 – известняки; 4 – мергели; 5 – аргиллиты, глинистые сланцы; 6 – алевролиты; 7 – песчаники; 8 – брекчии, конгломератобрекчии; 9 – конгломераты; 10 – альбититы; 11 – аутигенные минералы-индикаторы окислительно-восстановительного потенциала пород в метаморфизованной удоканской серии: а – пирит, пирротин, б – гематит, магнетит; 12, 13 – окраска пород: 12 – красноцветная: а – наблюдаемая, б – реконструированная, 13 – сероцветная; 14 – медное оруденение; I–XI – месторождения и рудопроявления: I – Мансфельд, Зангерхаузен, Любин-Серошовице и др., II – Джезказган, III – Северная группа месторождений, IV – горизонт «А», V – горизонт «Б», VI – Гравийское, VII – Уайт-Пайн, VIII – Удокан, IX – Ункур, X – Красное, XI – Правый Ингамakit

на биогенное происхождение сульфидной серы в рудах [3 и др.]. Установлено, что существуют два типа барьеров – сингенетические и эпигенетические. Образование первых связано с накоплением органического вещества одновременно с осадками (рис. 2, А), а вторых – с поступлением восстановителей (углеводородов,  $H_2S$ ) на стадиях катагенеза в уже сформиро-

ванные породы (см. рис. 2, Б). Последовательность осаждения сульфидов Cu-Fe соответствует их физико-химической устойчивости (от халькозина до пирита со снижением Eh, от красноцветных пород к восстановительному сероводородному барьеру) (рис. 3).

**Современные сульфидные руды и рудоносные осадки океана.** Современные сульфидные руды



**Рис. 2. Модели формирования месторождений меди в осадочных толщах на сингенетическом (А) и эпигенетическом (Б) геохимических барьерах:**

А – модель формирования месторождений мансфельдского типа в сероводородсодержащих донных илах морского бассейна [17]; Б – модель формирования Джезказганского месторождения во вторично-осветлённых породах-коллекторах [7, 18]; 1 – красноцветные аргиллиты, алевролиты; 2 – красноцветные песчаники, конгломераты; 3 – сероцветные песчаники, конгломераты; 4 – рассеянная вкрапленность сульфидов меди; 5 – вкрапленность пирита; 6 – серые аргиллиты, алевролиты; 7 – известняки; 8 – рудные залежи; 9 – направление движения меденосных растворов; 10 – пути миграции восстановителей (углеводородов,  $H_2S$ ); 11 – уровни последовательного смещения зоны взаимодействия окислительной и восстановительной обстановок; 12 – предполагаемые контуры Кингирского палеовыступа в период формирования джезказганской толщи;  $P_{1gd}$  – нижнепермские отложения (жиделисайская свита);  $C_{2-3}dg$  – продуктивная средне-верхнекаменноугольная красноцветная (джезказганская) толща;  $C_1n$  – нижнекаменноугольные морские сероцветные отложения (намюрский ярус)

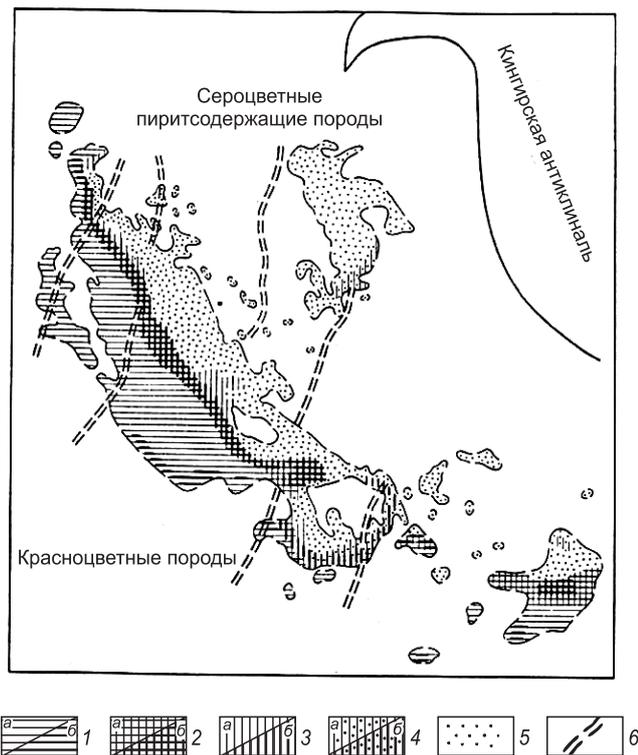


Рис. 3. Схема минеральной зональности рудной залежи 5-1 Джезказганского месторождения. По [19], с дополнениями:

1–5 – зоны руд: 1 – халькозиновых: а – рядовых, б – богатых, 2 – борнит-халькозиновых: а – рядовых, б – богатых, 3 – борнитовых: а – рядовых, б – богатых, 4 – борнит-халькопиритовых: а – рядовых, б – богатых, 5 – халькопиритовых; 6 – флексуры

на дне океана были обнаружены в 1970-е годы, а с 1980-х годов началось их активное исследование. Сейчас в Мировом океане открыты десятки рудных гидротермальных полей и открытия продолжают. Большая часть гидротермальных полей связана с зонами спрединга – срединно-океаническими хребтами.

Изученные автором гидротермальные рудные поля расположены на бортах рифтовой долины Срединно-Атлантического хребта (САХ) в районе от 13° (рудный узел Семенов) до 20°08' с. ш. (поле Петербургское) на глубинах от ≈2400 до 4200 м. Они входят в Российский разведочный район, выделенный Международным органом по морскому дну (МОМД) при ООН. Активные гидротермальные постройки зафиксированы в пределах гидротермальных узлов Семенов и Ашадзе. На остальных они не установлены, но на некоторых зафиксированы гидрофизические аномалии, иногда гидротермальная фауна. В строении рудных полей принимают участие базальты, габбро и перидотиты, карбонатные биоген-

ные, металлоносные и рудоносные осадки с включениями сульфидных руд. Рудные тела представляют собой реликтовые и активные трубообразные сульфидные постройки на поверхности дна, а также разрозненные группы гидротермальных сульфидных (сульфиды Fe, Cu-Fe, Zn) построек в рудоносных осадках. На поверхности осадков они проявлены в виде невысоких, обычно погребённых холмов или не выраженных в рельефе пятен гидротермально изменённых осадков бурого и зелёного цвета. Возраст сульфидных руд, определённый <sup>230</sup>Th/U методом, колеблется от менее 2–60 (Зенит-Виктория, Победа) до 37–134 тыс. лет (Семенов, Победа) [4, 9, 10, 16, 24, 28]. Фоновые карбонатные (CaCO<sub>3</sub> до 75–90 %) осадки представлены кальцитовыми раковинами фораминифер, кокколитов и птеропод с примесью глинистого и эдафогенного материала. Они имеют максимальную вскрытую мощность 100–150 см, а по геофизическим данным до 6–10 м, распространены на периферии рудных полей и за их пределами. Возраст осадков голоцен-позднеплейстоценовый (0–128 тыс. лет) [1, 8, 12, 24 и др.]. В металлоносных и особенно в рудоносных осадках карбонатность существенно снижается (до нуля–нескольких процентов) и возрастает содержание рудных элементов (в %): в металлоносных – Fe ≥ 10, Cu + Zn < 0,25; в рудоносных – Fe 10–30, Cu + Zn ≥ 0,25 (в пересчёте на бескарбонатное вещество) [8, 12, 24 и др.]. Согласно существующим представлениям (рециклинговая модель), гидротермальные растворы формируются при взаимодействии морской воды с породами ложа океана. Преобразованная морская вода, разогретая вблизи магматической камеры, образует гидротермальные конвективные потоки, из которых на дне океана осаждаются сульфиды [4, 14].

Формирование сульфидных руд происходит на геохимическом барьере, образующемся в зоне смешения кислых гидротермальных рудоносных растворов с холодной морской водой, содержащей кислород и SO<sub>4</sub> («чёрные курильщики»). В результате формируются трубообразные постройки на океанском дне (трубный комплекс). Для сульфидных труб, сформированных на поверхности дна, характерна концентрическая минеральная зональность, обусловленная ростом Eh, щелочности среды и снижением температуры в направлении от канала труб к стенкам. Высокотемпературный и богатый железом изокубанит последовательно сменяется халькопирит-борнитовой, борнитовой и халькозиновой зонами (рис. 4).

Проведённые автором с коллегами исследования показали, что наряду с массивными сульфидными рудами трубного комплекса в изученной зоне САХ развит гидротермально-метасоматический тип оруденения в осадках, связанный с воздействием на них

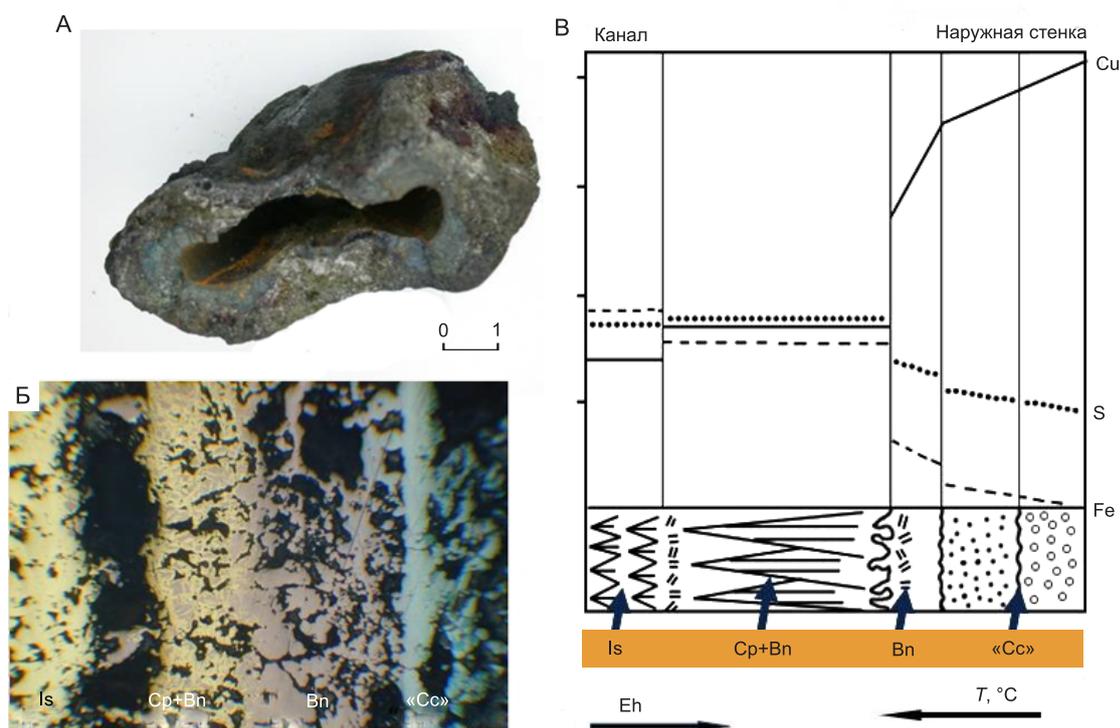


Рис. 4. Зональное строение сульфидных трубок гидротермального поля Рейнбоу. По материалам [20]:

А – фрагмент трубки, общий вид; Б – минеральная зональность трубки под микроскопом в отражённом свете; В – график изменения состава сульфидных руд в направлении от канала трубки к стенкам по результатам микрозондового анализа; Is – изокубанит, Ср – халькопирит, Вп – борнит, «Сс» – сульфиды меди

диффузных гидротермальных флюидов [8–10]. Эти представления базируются на следующих закономерностях, выявленных при изучении рудоносных и фоновых осадков и заключённых в них сульфидных руд:

- Сокращение мощности осадков в зонах гидротермальной активности (в пределах рудных полей) до 35–60 см, вероятно, за счёт растворения первичного биогенного кальцита.

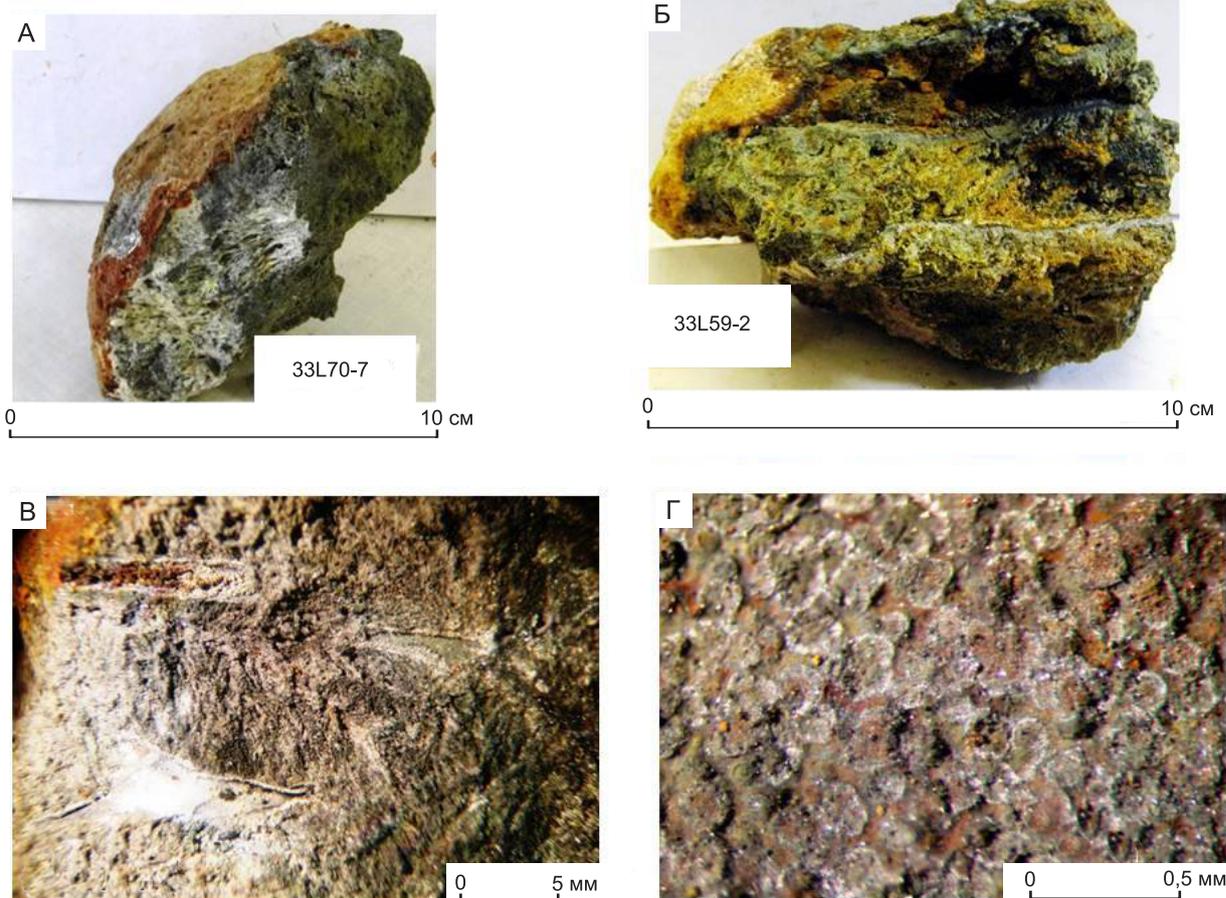
- Признаки формирования руд в условиях затруднённой циркуляции растворов: специфическая форма сульфидных построек (расширяющиеся в верхней части диффузоры), многоканальное строение, отсутствие центрального канала и зональности (рис. 5, А, Б).

- Признаки метасоматического замещения осадков сульфидами и другими гидротермальными минералами (см. рис. 5, В, Г).

- Наличие продуктов переотложения растворённого биогенного кальцита в виде арагонитовых корок с гидроксидами Fe и Mn на поверхности осадков, включающих сульфидные постройки.

- Наличие вертикальной и латеральной минерально-геохимической зональности в рудоносных осадках вокруг рудных тел: снизу вверх по разрезу осадков существенно сульфидный и сульфидно-баритовый парагенезисы новообразованных минералов сменяются оксидным (гидроксиды железа, железистый опал и др.) и оксидно-хлоридным (гидроксиды железа и марганца, атакамит и др.), а с удалением от рудных тел – оксидным (гидроксиды железа и марганца). Такая зональность отражает падение температуры и рост окислительного потенциала вверх по колонке осадков и на флангах рудных тел. Соответственно меняется химический состав осадков: вниз по разрезу колонок гидротермально изменённых осадков происходит снижение карбонатности и рост содержания рудных элементов [8–10, 12].

- Резкое отличие рудоносных осадков от фоновых по физико-химическим характеристикам их поровых вод: Eh и pH поровых вод фоновых осадков близок к показателям морской воды, а в рудоносных осадках – приближается к физико-химическим параметрам гидротермальных растворов [10, 11].



**Рис. 5. Строение и структура руд сульфидных построек в биогенных карбонатных осадках:**

А – многоканальный диффузор грибообразной формы, в кровле – корка литифицированных осадков, пропитанных гидроксидами железа, рудное поле Зенит-Виктория, ст. 33L70g; Б – фрагмент постройки стратиформного типа слоистой текстуры с коркой литифицированных осадков на поверхности, поле Петербургское, ст. 33L159g; В – реликты птеропод в сфалеритовых рудах, рудное поле Зенит-Виктория, ст. 33L69g; Г – псаммитовая биоморфная (по фораминиферовым пескам) структура частично окисленных сульфидных руд, рудное поле Зенит-Виктория, ст. 33L61g

- Наличие в кровле и на стенках сульфидных построек корок литифицированных осадков, сцементированных арагонитом (см. рис. 5, А, Б), а вокруг рудных тел – зон околорудных изменений.

На основании проведённых исследований можно сделать вывод о том, что формирование значительной части сульфидных руд и рудоносных осадков этой зоны САХ происходило под воздействием гидротермальных растворов диффузного типа, просачивающихся в биогенные карбонатные донные илы из пород субстрата (рис. 6). Минералообразование осуществлялось на геохимическом барьере, в зоне взаимодействия кислых восстановительных металлоносных флюидов с морской водой, насыщающей осадки, и неустойчивым в кислой среде биогенным кальцитом осадков [10].

Карбонатные донные илы служат и геохимическим барьером (присутствие реакционноспособного карбонатного материала, O и SO<sub>4</sub>-содержащей морской воды в поровом пространстве), и физическим – затрудняющим быструю миграцию рудоносных растворов и способствующим их охлаждению, осаждению и накоплению полезных компонентов.

На начальных этапах за счёт метасоматического замещения отдельных раковин микроорганизмов формируются рудоносные и (или) металлоносные осадки. Длительное воздействие гидротерм приводит к полному растворению осадочного карбонатного материала и формированию на его месте сульфидных построек и (или) плитообразного цоколя «чёрных курильщиков». Сами «чёрные курильщики» формируются в участках действия высоконапорных

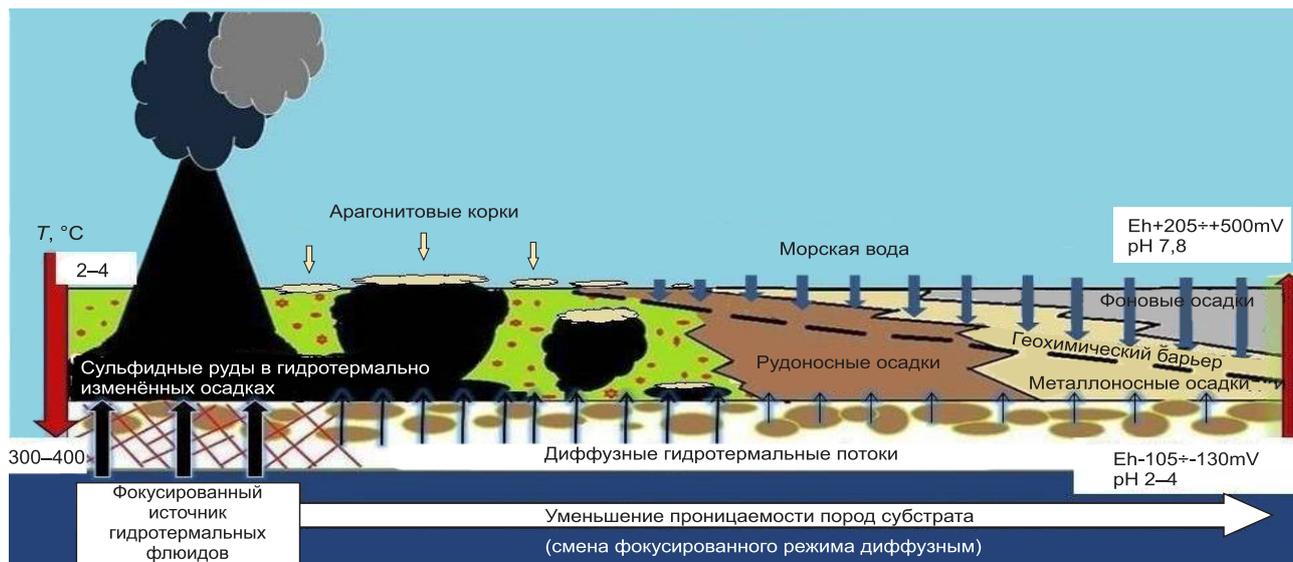


Рис. 6. Модель формирования гидротермально-метасоматических сульфидных руд в биогенных карбонатных океанских осадках [10]

источников фокусированного типа. Вследствие охлаждения поступающих металлоносных растворов в рудах гидротермально-метасоматического типа практически отсутствуют высокотемпературные минералы, пирротин, изокубанитовые твёрдые растворы, характерные для массивных руд «чёрных курильщиков», сформированных на поверхности дна. Руды в осадках всегда сопровождаются образованием арагонитовых корок на поверхности осадков (морском дне), образованных в результате переотложения растворённого биогенного кальцита.

Масштаб оруденения обусловлен мощностью осадков, площадью их распространения и длительностью воздействия на них рудоносных растворов. Это новый взгляд на условия формирования рудоносных океанских осадков и сульфидных руд. Ранее основным механизмом образования металлоносных и рудоносных осадков считалось осаждение рудных минералов из взвесей гидротермального плюма, сформированного «чёрными курильщиками» в толще океанской воды [4, 13, 14, 24], а включения массивных сульфидных руд в осадках рассматривались лишь как продукты разрушения поверхностных построек.

#### Заключение.

Рассмотренные материалы подтверждают, что решающую роль при формировании сульфидных месторождений как на континенте, так и в океане на разных этапах развития Земли играют геохимические барьеры.

Основным критерием поисков месторождений медистых песчаников и сланцев является выявление зон контакта геохимически контрастных отложений – красноцветных и сероцветных пород.

Открытие нового, гидротермально-метасоматического, типа сульфидных руд в океанских осадках расширяет перспективы рудных районов Мирового океана за счёт возможности обнаружения новых гидротермальных рудных полей, представленных рудоносными осадками. Поисковыми критериями могут служить пятна гидротермальных изменений и арагонитовые корки на поверхности осадков.

Работа выполнена в рамках государственного задания (темы № 0135–2016–0003 и 0135–2019–0050) при поддержке РФФИ: гранты № 08–05–00799; 11–05–01117; 14–05–00480.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бич А. С. Металлоносные осадки рудного узла Победа (Срединно-Атлантический хребет, 17°08'с.ш.) // Мат-лы конференции «Новое в познании процессов рудообразования», ИГЕМ РАН. – М., 2017. – С. 62–65.
2. Богданов Ю. А. Гидротермальные рудопроявления рифтов Срединно-Атлантического хребта. – М.: Научный мир, 1997. – 167 с.
3. Богданов Ю. В., Голубчина М. Н., Прилуцкий Р. Е. и др. О некоторых особенностях изотопного состава

- сульфидов железа в палеозойских отложениях Джек-казгана // Геохимия. – 1971. – № 11. – С. 1376–1379.
4. Богданов Ю. А., Лисицын А. П., Сагалевич А. М., Гурвич Е. Г. Гидротермальный рудогенез океанского дна. – М.: Наука, 2006. – 527 с.
  5. Габлина И. Ф. Особенности формирования крупных месторождений медистых песчаников и сланцев // Геология рудных месторождений. – 1997. – Т. 38, № 4. – С. 372–386.
  6. Габлина И. Ф. Сульфиды меди как индикаторы среды рудообразования // ДАН. – 1997. – Т. 356, № 5. – С. 657–661.
  7. Габлина И. Ф. Условия меденакопления в красноцветных континентальных формациях. – М.: Наука, 1983. – 110 с.
  8. Габлина И. Ф., Дмитренко О. Б., Оськина Н. С. и др. Влияние гидротермальной активности на карбонатные микрофоссилии в донных осадках тропической Атлантики // Океанология. – 2015. – Т. 55, № 1. С. 113–125.
  9. Габлина И. Ф., Добрецова И. Г., Лайба А. А. и др. Особенности сульфидных руд гидротермального узла «Победа» (17°07'–17°08'с.ш. Срединно-Атлантического хребта) // Литология и полезные ископаемые. – 2018. – № 6. – С. 475–500.
  10. Габлина И. Ф., Добрецова И. Г., Наркевский Е. В. и др. Влияние гидротермально-метасоматических процессов на формирование современных сульфидных руд в карбонатных донных осадках Срединно-Атлантического хребта (19–20° с.ш.) // Литология и полезные ископаемые. – 2017. – № 5. – С. 387–408.
  11. Габлина И. Ф., Михайлова А. И. Закономерности локализации медного оруденения на Удоканском месторождении // Литология и полезные ископаемые. – 1994. – № 3. – С. 53–67.
  12. Габлина И. Ф., Попова Е. А., Садчикова Т. А. и др. Гидротермально-метасоматические изменения карбонатных донных осадков поля Ашадзе-1 (13° с.ш. Срединно-Атлантического хребта) // Геология рудных месторождений. – 2014. – Т. 56, № 5. – С. 399–422.
  13. Гурвич Е. Г. Металлоносные осадки Мирового океана. – М.: Научный Мир, 1998.
  14. Гричук Д. В. Термодинамические модели субмаринных гидротермальных систем. – М.: Научный мир, 2000. – 303 с.
  15. Густафсон А. Б., Уильямс Н. Стратиформные месторождения меди, свинца и цинка в осадочных породах // Генезис рудных месторождений. – М.: Мир, 1984. – С. 156–224.
  16. Кузнецов В. Ю., Черкашов Г. А., Бельтнев В. Е. и др. <sup>230</sup>Th/U-датирование сульфидных руд океана: методические возможности, результаты измерений и перспективы использования // Доклады Академии Наук. – 2007. – Т. 416, № 5. – С. 666–669.
  17. Лурье А. М. Генезис медистых песчаников и сланцев. – М.: Наука, 1988. – 182 с.
  18. Лурье А. М., Габлина И. Ф. Принципиальная схема образования экзогенных месторождений меди // Доклады АН СССР. – 1978. – Т. 241, № 6. – С. 1402–1405.
  19. Младенцев Г. Д. Закономерности распределения свинца и цинка на Джезказганском месторождении // Геология рудных месторождений. – 1976. – № 1. – С. 57–63.
  20. Мозгова Н. Н., Бородаев Ю. С., Габлина И. Ф. и др. Зональные трубки черных курильщиков из гидротермального поля Рейнбоу (САХ, 36° 14' с.ш.) // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 2004. – № 3. – С. 35–48.
  21. Перельман А. И. Геохимия эпигенетических процессов. – М.: Недра, 1968.
  22. Перельман А. И. Некоторые вопросы геохимии катагенеза в осадочных месторождениях типа медистых песчаников. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – С. 1–21.
  23. Ржевский В. Ф., Габлина И. Ф., Васильевская Л. В., Лурье А. М. Генетические особенности Гравийского месторождения меди // Литология и полезные ископаемые. – 1988. – № 2. – С. 86–97.
  24. Шилов В. В., Бельтнев В. Е., Иванов В. И. и др. Новые гидротермальные рудные поля на Срединно-Атлантическом хребте: «Зенит-Виктория» (20°08'с.ш.) и «19°52' с.ш.» // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 442, № 3. – С. 383–389.
  25. Щербаков А. В. Геохимия термальных вод. – М.: Недра, 1968. – 234 с.
  26. Энсайн К. О. (мл.), Уайт У. С., Райт Дж. К. и др. Медные месторождения Уайт-Пайн в сланцах Нонсач, штат Мичиган // Рудные месторождения США. Т. 1. – М.: Мир, 1972. – С. 602–627.
  27. Kirkham R. V. The distribution, settings and genesis of sediment-hosted stratiform copper deposits // Sediment-hosted, Stratiform copper deposits // Geol Assoc Can Spec Pap. – 1989. – № 36. – P. 3–38.
  28. Lalou C., Thomson G., Arnold M. et al. Geochronology of TAG and Snake Pit hydrothermal fields, Mid-Atlantic Ridge: Witness to a long and complex hydrothermal history // Earth and Planetary Science Letters. – 1990. – V. 97. – P. 113–128.
  29. Rentzsch I. Revision of metal distribution control in the Kupferschifer of Germany / Mineral Deposits: From Their Origin to Their Environment Impacts. Published by Balkema, Rotterdam-Brookfield. – 1995. – P. 975–976.
  30. Rose A. W. Mobility of copper and other heavy metals in sedimentary environment / Sediment-hosted stratiform Copper Deposits. Geological Association of Canada. Special Paper 36. – 1989. – P. 97–110.
  31. White W. S. A paleohydrologic model for mineralisation of the White Pine Copper Deposit, Norten Michigan // Economic Geology. – 1971. – V. 66, № 1. – P. 1–13.

## REFERENCES

1. Bich A. S. Metallonosnyye osadki rudnogo uzla Pobeda (Sredinno-Atlanticheskii khrebet, 17°08's.sh.) [Metalliferous sediments of the Pobeda ore cluster (Mid-Atlantic ridge, 17°08'N)], Mat-ly konferentsii "Novoye v poznanii

- protsesov rudoobrazovaniya”, IGEM RAN publ., Moscow, 2017. P. 62–65. (In Russ.).
2. Bogdanov Yu. A. Gidrotermalnyye rudoproyavleniya riftov Sredinno-Atlanticheskogo khrebta [Hydrothermal ore occurrences in the rifts of the Mid-Atlantic Ridge], Moscow, Nauchnyy mir publ., 1997, 167 p. (In Russ.).
  3. Bogdanov Yu. V., Golubchina M. N., Prilutskiy R. Ye. et al. O nekotorykh osobennostyakh izotopnogo sostava sulfidov zheleza v paleozoyskikh otlozheniyakh Dzhezkazgana [On some features of the isotopic composition of iron sulfides in the Paleozoic sediments of Dzhezkazgan], Geokhimiya, 1971, No. 11, P. 1376–1379. (In Russ.).
  4. Bogdanov Yu. A., Lisitsyn A. P., Sagalevich A. M., Guryevich Ye. G. Gidrotermalnyy rudogenez okeanskogo dna [Hydrothermal ore genesis of the ocean floor], Moscow, Nauka publ., 2006, 527 p. (In Russ.).
  5. Gablina I. F. Osobennosti formirovaniya krupnykh mestorozhdeniy medistykh peschanikov i slantsev [Features of the formation of large deposits of cuprous sandstones and shales], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 1997, V. 38, No. 4. P. 372–386. (In Russ.).
  6. Gablina I. F. Sulfidy medi kak indikator srede rudoobrazovaniya [Copper sulfides as indicators of the ore-forming environment], DAN, 1997, V. 356, No. 5, P. 657–661. (In Russ.).
  7. Gablina I. F. Usloviya medenakopleniya v krasnotsvetnykh kontinentalnykh formatsiyakh [Copper accumulation conditions in red-colored continental formations], Moscow, Nauka publ., 1983, 110 p. (In Russ.).
  8. Gablina I. F., Dmitrenko O. B., Oskina N. S. et al. Vliyaniye gidrotermalnoy aktivnosti na karbonatnyye mikrofosfilii v donnykh osadkakh tropicheskoy Atlantiki [Effect of hydrothermal activity on carbonate microfossils in bottom sediments of the tropical Atlantic], Okeanologiya, 2015, V. 55, No. 1, P. 113–125. (In Russ.).
  9. Gablina I. F., Dobretsova I. G., Layba A. A. et al. Osobennosti sulfidnykh rud gidrotermalnogo uzla “Pobeda” (17°07’–17°08’ s.sh. Sredinno-Atlanticheskogo khrebta) [Peculiarities of sulfide ores of the Pobeda hydrothermal cluster (17°07’ – 17°08’ N. Mid-Atlantic ridge)], Litologiya i poleznyye iskopayemye, 2018, No. 6, P. 475–500. (In Russ.).
  10. Gablina I. F., Dobretsova I. G., Narkevskiy Ye. V. et al. Vliyaniye gidrotermalno-metasomaticheskikh protsessov na formirovaniye sovremennykh sulfidnykh rud v karbonatnykh donnykh osadkakh Sredinno-Atlanticheskogo khrebta (19–20° s.sh.) [Influence of hydrothermal-metasomatic processes on the formation of modern sulfide ores in carbonate bottom sediments of the Mid-Atlantic Ridge (19–20° N)], Litologiya i poleznyye iskopayemye, 2017, No. 5. P. 387–408. (In Russ.).
  11. Gablina I. F., Mikhaylova A. I. Zakonomernosti lokalizatsii mednogo orudneniya na Udokanskom mestorozhdenii [Laws of localization of copper mineralization at the Udokan deposit], Litologiya i poleznykh iskopayemykh, 1994, No. 3. P. 53–67. (In Russ.).
  12. Gablina I. F., Popova Ye. A., Sadchikova T. A. et al. Gidrotermalno-metasomaticheskoye izmeneniya karbonatnykh donnykh osadkov polya Ashadze-1 (13° s.sh. Sredinno-Atlanticheskogo khrebta) [Hydrothermal-metasomatic changes in carbonate bottom sediments of the Ashadze-1 field (13° N of the Mid-Atlantic Ridge)], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 2014, V. 56, No. 5, P. 399–422. (In Russ.).
  13. Guryevich Ye. G. Metallonosnyye osadki Mirovogo okeana [Metalliferous sediments of the World Ocean], Moscow, Nauchnyy mir publ., 1998. (In Russ.).
  14. Grichuk D. V. Termodinamicheskiye modeli submarinnykh gidrotermalnykh sistem [Thermodynamic models of submarine hydrothermal systems], Moscow, Nauchnyy mir publ., 2000, 303 p. (In Russ.).
  15. Gustafson A. B., Uilyams N. Stratiformnyye mestorozhdeniya medi, svintsa i tsinka v osadochnykh porodakh [Stratiform deposits of copper, lead and zinc in sedimentary rocks], Genezis rudnykh mestorozhdeniy. Moscow, Mir publ., 1984, P. 156–224. (In Russ.).
  16. Kuznetsov V. Yu., Cherkashov G. A., Beltenev V. Ye. et al. <sup>230</sup>Th/U-datirovaniye sulfidnykh rud okeana: metodicheskiye vozmozhnosti, rezultaty izmereniy i perspektivy ispolzovaniya [<sup>230</sup>Th/U-dating of ocean sulfide ores: methodological possibilities, measurement results and prospects for use], Doklady Akademii Nauk, 2007, V. 416, No. 5, P. 666–669. (In Russ.).
  17. Lurye A. M. Genezis medistykh peschanikov i slantsev [Genesis of cuprous sandstones and shales], Moscow, Nauka publ., 1988, 182 p. (In Russ.).
  18. Lurye A. M., Gablina I. F. Printsipialnaya skhema obrazovaniya ekzogennykh mestorozhdeniy medi [Schematic diagram of the formation of exogenous copper deposits], Doklady AN SSSR, 1978, V. 241, No. 6, P. 1402–1405. (In Russ.).
  19. Mladentsev G. D. Zakonomernosti raspredeleniya svintsa i tsinka na Dzhezkazganskom mestorozhdenii [Regularities of the distribution of lead and zinc in the Dzhezkazgan deposit], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 1976, No. 1, P. 57–63. (In Russ.).
  20. Mozgova N. N., Borodayev Yu. S., Gablina I. F. et al. Zonalnyye trubki chernykh kurilshchikov iz gidrotermalnogo polya Reynbou (SAKH, 36° 14’ s.sh) [Zonal pipes of black smokers from the Rainbow hydrothermal field (MAR, 36° 14’ N)], Vestnik MGU, Ser. 4. Geologiya, 2004, No. 3, P. 35–48. (In Russ.).
  21. Perelman A. I. Geokhimiya epigeneticheskikh protsessov [Geochemistry of epigenetic processes]. Moscow, Nedra publ., 1968. (In Russ.).
  22. Perelman A. I. Nekotoryye voprosy geokhimii katagenez v osadochnykh mestorozhdeniyakh tipa medistykh peschanikov [Some questions of the geochemistry of catagenesis in sedimentary deposits such as cuprous sandstones], Moscow, AN SSSR publ., 1959, P. 1–21. (In Russ.).
  23. Rzhavskiy V. F., Gablina I. F., Vasilovskaya L. V. Lurye A. M. Geneticheskiye osobennosti Graviyskogo mestorozhdeniya medi [Genetic features of the Gravian copper deposit], Litologiya i poleznyye iskopayemye, 1988, No. 2, P. 86–97. (In Russ.).
  24. Shilov V. V., Beltenev V. Ye., Ivanov V. I. et al. Novyye gidrotermalnyye rudnyye polya na Sredinno-Atlanticheskogo khrebte: «Zenit-Viktoriya» (20°08’s.sh.) i 19°52’ s.sh.

- [New hydrothermal ore fields on the Mid-Atlantic Ridge: "Zenit-Victoria" (20°08'N) and 19°52' s.sh.], Доклады Академии наук, 2012, V. 442, No. 3, S. 383–389. (In Russ.).
25. *Shcherbakov A. V.* Geokhimiya termalnykh vod [Geochemistry of thermal waters], Moscow, Nedra publ., 1968, 234 p. (In Russ.).
  26. *Ensayn K. O. (ml.), Uayt U. S., Rayt Dzh. K.* et al. Mednyye mestorozhdeniya Uayt-Payn v slantsakh Nonsach, shtat Michigan [White Pine Copper Deposits in Nonsuch Shale, Michigan], Rudnyye mestorozhdeniya SSHA, V. 1. Moscow, Mir publ., 1972, P. 602–627. (In Russ.).
  27. *Kirkham R. V.* The distribution, settings and genesis of sediment-hosted stratiform copper deposits, Sediment-hosted, Stratiform copper deposits, Geol Assoc Can Spec Pap, 1989, No. 36, P. 3–38.
  28. *Lalou C., Thomson G., Arnold M.* et al. Geochronology of TAG and Snake Pit hydrothermal fields, Mid-Atlantic Ridge: Witness to a long and complex hydrothermal history, Earth and Planetary Science Letters, 1990. V. 97. P. 113–128.
  29. *Rentzsch I.* Revision of metal distribution control in the Kupferschifer of Germany, Mineral Deposits: From Their Origin to Their Environment Impacts, Published by Balkema, Rotterdam-Brookfield, 1995, P. 975–976.
  30. *Rose A. W.* Mobility of copper and other heavy metals in sedimentary environment, Sediment-hosted stratiform Copper Deposits, Geological Association of Canada, Special Paper 36, 1989, P. 97–110.
  31. *White W.S.* A paleohydrologic model for mineralisation of the White Pine Copper Deposit, Norten Michigan, Economic Geology, 1971, V. 66, No. 1, P. 1–13.

Журнал «Отечественная геология» принимает участие в геологических конференциях, совещаниях, съездах в качестве информационного партнёра, освещая на своих страницах важные события отрасли.

Приглашаем к сотрудничеству представителей геологических, горно-геологических, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов по вопросам размещения рекламы или издания целевого номера.