


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИИ УРО РАН
ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ
ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



МЕТАЛЛОГЕНИЯ ДРЕВНИХ И СОВРЕМЕННЫХ ОКЕАНОВ — 2024

Рудогенез

Материалы Тридцатой научной
молодежной школы
имени профессора В. В. Зайкова



МИАСС
2024

Министерство науки и высшего образования РФ
Российская академия наук
Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН
Институт минералогии
Южно-Уральский государственный университет



**МЕТАЛЛОГЕНИЯ ДРЕВНИХ
И СОВРЕМЕННЫХ ОКЕАНОВ-2024**

РУДОГЕНЕЗ

Материалы Тридцатой научной молодежной школы
имени профессора В.В. Зайкова

**METALLOGENY OF ANCIENT
AND MODERN OCEANS-2024**

ORE GENESIS

Proceedings of the Professor V.V. Zaykov XXX Scientific Youth School

Миасс
2024

УДК 553, 549

Металлогения древних и современных океанов-2024. Рудогенез. Научное издание. – Миасс: ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, 2024. 252 с.

ISSN 2782-2052

В сборник вошли материалы XXX научной молодежной школы им. проф. В.В. Зайкова «Металлогения древних и современных океанов-2024. Рудогенез» (22–26 апреля 2024 г.). Первая часть сборника посвящена общим проблемам геологии и металлогении. Во второй части рассмотрены магматические и гидротермальные процессы в Атлантическом и Тихом океанах, а также активных разломных и вулканических структурах. В третьей части сборника представлены результаты изучения палеоокеанических магматических и метаморфических комплексов. Следующие четыре части посвящены месторождениям черных, цветных и благородных металлов, а также месторождениям нерудного сырья Российской Федерации, Казахстана и Таджикистана. Заключительная часть посвящена методическим аспектам минералого-геохимических исследований.

Проведение Школы осуществлено при поддержке Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии УрО РАН, ПАО Гайский ГОК, ОА Полиметалл УК и ООО Уралгеодрэгмет.

Илл. 63. Табл. 14.

Ответственные редакторы:

член-корр. РАН В.В. Масленников, к.г.-м.н. И.Ю. Мелекесцева

Члены редколлегии:

к.г.-м.н. Н.Р. Аюпова, д.г.-м.н. Е.В. Белогуб, к.г.-м.н. И.Ю. Мелекесцева, к.г.-м.н. К.А. Новоселов, к.г.-м.н. Н.П. Сафина, к.г.-м.н. Г.А. Третьяков, к.г.-м.н. К.А. Филиппова

UDK 553, 549

Metallogeny of ancient and modern oceans-2024. Ore genesis. Miass: SU FRC MG UB RAS, 2024. 252 p.

ISSN 2782-2052

Proceedings of the Prof. V.V. Zaykov XXX Scientific Youth School “Metallogeny of ancient and modern oceans-2024. Ore genesis” (April 22–26, 2024) include extended abstracts dedicated to the geology, geodynamics, metallogeny, mineralogy, and geochemistry of mineral deposits from oceanic and paleoceanic structures. Special chapters consider the results of study of ferrous, base, and precious metal deposits of the Russian Federation, Kazakhstan, Tajikistan, Atlantic and Pacific oceans. The chapters on nonmetallic deposits and topical geological and mineralogical issues include the results of study of minerals and paleoceanic igneous and metamorphic complexes.

The holding of the School is supported by the South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Gai Mining and Processing Enterprise, Polymetal UK Co. and Uralgeodragmet Co.

Figures 63. Tables 14.

Editors-in-Chief:

Corresponding Member of RAS V.V. Maslennikov, Dr. I.Yu. Melekestseva

Editorial board:

Dr. N.R. Ayupova, Dr. E.V. Belogub, Dr. K.A. Filippova, Dr. I.Yu. Melekestseva, Dr. K.A. Novoselov, Dr. N.P. Safina, Dr. G.A. Tretyakov

Fouquet Y., Cambon P., Etoubleau J. et al. Geodiversity of hydrothermal processes along the Mid-Atlantic Ridge and ultramafic-hosted mineralization: A new type of oceanic Cu-Zn-Co-Au volcanogenic massive sulfide deposits // Diversity of hydrothermal systems on slow spreading ocean ridges. Rona P.A., Devey C.W., Dymont J., Murton B.J. (Eds.) AGU Geophys. Monograph, 2010. P. 321–368.

MacLeod C.J., Searle R.C., Murton B.J. et al. Life cycle of oceanic core complexes // Earth and Planetary Science Letters. 2009. Vol. 287. P. 333–344.

Maslennikov V.V., Maslennikova S.P., Large R.R., et al. Tellurium-bearing minerals in zoned sulfide chimneys from Cu-Zn massive sulfide deposits of the Urals, Russia // Mineralogy and Petrology. 2013. Vol. 107. P. 67–99.

Melekestseva I.Yu., Tret'yakov G.A., Nimis P. et al. Barite-rich massive sulfides from the Semenov-1 hydrothermal field (Mid-Atlantic Ridge, 13°30.87' N): Evidence for phase separation and magmatic input // Marine Geology. 2014. Vol. 349. P. 37–54.

Melekestseva I., Maslennikov V., Safina N. et al. Sulfide breccias from the Semenov-3 hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge: authigenic mineral formation and trace element pattern // Minerals. 2018. Vol. 8(8). P. 321.

Melekestseva I.Yu., Maslennikov V.V., Tret'yakov G.A. et al. Gold- and silver-rich massive sulfides from the Semenov-2 hydrothermal field, 13°31.13' N, Mid-Atlantic Ridge: A case of magmatic contribution? // Economic Geology. 2017. Vol. 112. P. 741–773.

Nayak B., Halbach P., Pracejus B., Münch U. Massive sulfides of Mount Jourdanne along the super-slow spreading Southwest Indian Ridge and their genesis // Ore Geology Reviews. 2014. Vol. 63. P. 115–128.

К.А. Кукса

*Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия
katerina.kuksa@spbu.ru*

**Оценка количества взвеси материала гидротермального плюма
в металлоносных осадках рудного узла Семенов
(Срединно-Атлантический хребет)**

К.А. Кукса

St. Petersburg University, St. Petersburg, Russia

**Estimation of the amount of plume particulates in metalliferous sediments from
the Semenov hydrothermal sulfide cluster (Mid-Atlantic Ridge)**

Abstract. Mineralogical and geochemical features of three cores of proximal metalliferous sediments from the Semenov hydrothermal sulfide cluster were studied in order to decipher the evolution of fluid discharge. Iron has a dual origin in core sediments: from hydrothermal plume fallout and mass-wasted sulfide deposits. A novel approach of quantitatively assess the relative amount of plume fallout matter allowed us to reconstruct the temporal variations of hydrothermal activity within the Semenov-1, 2 and 4 fields, which lasted permanently for about ~43 kyr with varying intensity.

Металлоносные осадки, ассоциирующие с современными гидротермальными системами, являются важнейшими хранителями летописи истории гидротермальной деятельности. В то время как результаты изучения сульфидных руд, формирующихся вокруг зон разгрузки гидротермального флюида, позволяют восстанавливать лишь отдельные эпизоды, исследование колонок металлоносных осадков дает возможность расшифровать «непрерывную запись»

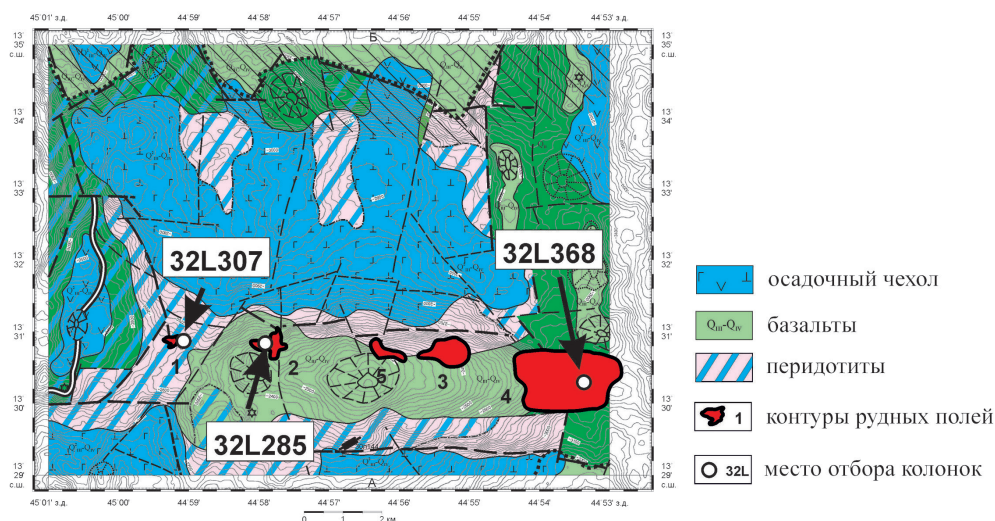


Рис. 1. Положение станций с изученными колонками в гидротермальном сульфидном узле Семенов.

гидротермальных событий и использовать полученную информацию для реконструкции эволюции гидротермальной системы во времени. В настоящей работе представлены результаты минералогического и геохимического изучения трех колонок проксимальных металлоносных осадков рудного узла Семенов, расположенного на Срединно-Атлантическом хребте в районе 13°30' с.ш. с целью восстановления истории гидротермальной деятельности в пределах отдельных рудных полей.

Рудный узел состоит из пяти гидротермальных полей: Семенов-1, 2, 3, 4 и 5. Все поля, за исключением Семенов-4, локализованы в пределах внутреннего океанического комплекса, сложенного серпентинизированными перидотитами и редкими габброидами, на который наложены выходы пиллоу-лав [Перцев и др., 2012]. С поверхности комплекса также драгированы долериты, апобазальтовые тальк-хлоритовые метасоматиты, апосерпентинитовые талькиты, амфиболиты, плагиограниты, диориты и тоналиты. В пределах гидротермальных полей развиты проксимальные металлоносные осадки, а на прилегающей с севера к рудному узлу террасе – дистальные, сложенные преимущественно карбонатным материалом.

Три колонки проксимальных осадков мощностью 55 см отобраны в пределах полей Семенов-1 (32L307), Семенов-2 (32L285) и Семенов-4 (32L368) (рис. 1). Осадки представлены бурыми, рыжими и бежевыми карбонатными илами, в которых встречаются горизонты отложений песчаной или песчано-дресвяной размерности [Бельтнев и др., 2010]. Карбонатная часть осадков сформирована раковинами фораминифер; в них встречаются также минералы гидротермального генезиса – пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, изокубанит, атакамит, барит и оксигидроксиды Fe (рис. 2). Гидротермальные образования часто представлены сростками нескольких разных по составу минералов, что типично для продуктов разрушения рудных построек [Kuksa et al., 2021].

Химический состав осадков был определен методом ИСП-МС. Их карбонатность варьирует от 8 до 38 %, наиболее высокие содержания CaCO_3 характерны для колонки 32L307 (в среднем, 30 %), а наименьшие – для колонки 32L368 (в среднем, 10 %). Содержание $\text{Fe}_{\text{окв}}$ варьирует от 2 до 50 % и испытывает значительные колебания по глубине всех трех колонок. Концентрации Cu, Zn и Pb колеблются в диапазоне 0.004–1.1 % $\text{Cu}_{\text{окв}}$, 0.007–0.25 % $\text{Zn}_{\text{окв}}$ и 4.5–330 г/т $\text{Pb}_{\text{окв}}$.

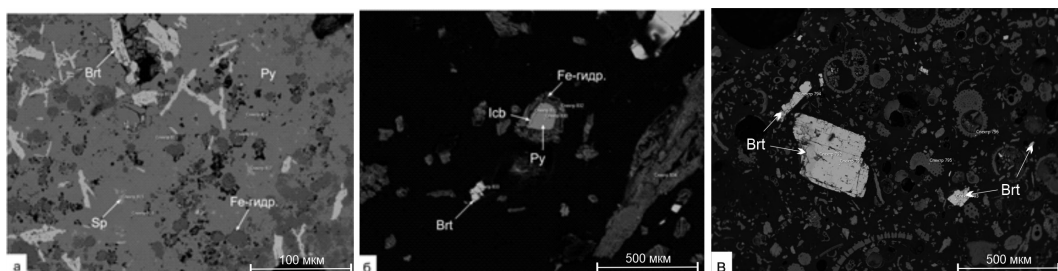


Рис. 2. Минеральный состав проксимальных осадков рудного узла Семенов.

Fe-гидр. – оксигидроксиды железа, Brt – барит, Py – пирит, Isb – изокубанит, Sp – сфалерит. BSE-фото.

Несмотря на сходство в поведении Cu, Zn и Pb в ходе взаимодействия гидротермального флюида с морской водой (преимущественное вхождение в сульфидные минералы), только Pb в изученных осадках образует линейные тренды относительно Fe, которые характеризуются постоянным, но различным отношением Pb/Fe (рис. 3). Так, для осадков полей Семенов-1 и -4 (за исключением нижних горизонтов) типично среднее молярное отношение Pb/Fe $\sim 5.5 \cdot 10^{-5}$. Эта величина несколько превышает отношение данных элементов в сульфидных рудах поля Семенов-1 – $\sim 5.5 \cdot 10^{-5}$ (рассчитано по данным [Melekestseva et al., 2014]), однако меньше их среднего отношения во взвеси вещества гидротермального плюма (Pb/Fe = $15.5\text{--}17.2 \cdot 10^{-5}$ рассчитано по данным [Edmonds, German, 2004] и [German et al., 1991]). В то же время, в осадках поля Семенов-2 величина Pb/Fe значительно выше (~ 17) и близка к отношению данных элементов в рудах соответствующего поля – $\sim 19.6 \cdot 10^{-5}$ (рассчитано по данным [Мелекесцева, 2011]). Это позволяет предполагать, что преобладающие механизмы поступления металлов в проксимальные осадки разных полей рудного узла Семенов были различны: для осадков поля Семенов-2 и нижних горизонтов поля Семенов-4 преобладающим было переотложение материала рудных сульфидных построек. В то же время для осадков полей Семенов-1 и верхних горизонтов Семенов-4 логично допустить смешение взвеси гидротермального плюма и обломочного сульфидного материала в приблизительно равных пропорциях.

Чтобы количественно оценить соотношение в осадках обломочного сульфидного материала и взвеси вещества гидротермального плюма, мы использовали оригинальную методику, описанную в работе [Kuksa et al., 2023]. Состав фоновых пелагических илов Атлантического океана был аппроксимирован средним составом осадков колонки BOFS 22#6M/23#12M [Cave et al., 2002]. Влияние состава подстилающих пород оценено на основе элементного состава перидотита 32L242-5, отобранного в пределах рудного узла [Бельтнев и др., 2010]. Учет доли вещества взвеси гидротермального плюма в осадках трех исследуемых колонок проводился по величине V/Fe отношения в плюме поля Рейнбой [Edmonds, German, 2004] и данным по химическому составу массивных сульфидных руд полей Семенов-1, -2 и -4 [Бельтнев и др., 2010; Мелекесцева, 2011; Melekestseva et al., 2014].

Расчеты показали, что, в среднем, относительное количество в осадках взвеси гидротермального плюма составляет ~ 31 , 43 и 11 % для колонок 32L307 (Семенов-1), 32L285 (Семенов-2) и 32L368 (Семенов-4), соответственно, и значительно варьирует по глубине (рис. 4). Приведенные в работе [Бич, 2024] оценки средней скорости осадконакопления в дистальных осадках рудного узла Семенов (1.17 ± 0.10 см/тыс. лет) позволили рассчитать временные вариации изменения количества вещества взвеси плюма для гидротермального поля Семенов-1. Установлено, что от ~ 45 до ~ 25 тыс. лет гидротермальная деятельность была относительно стабильной, затем последовало резкое усиление активности, максимум которой фиксируется

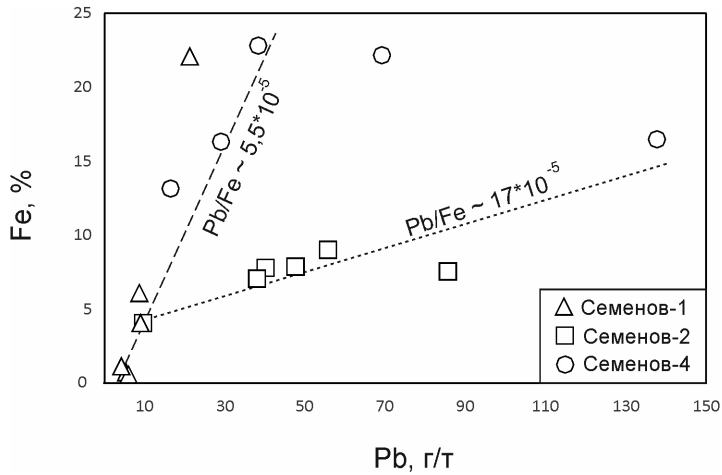


Рис. 3. Соотношение Fe и Pb в проксимальных металлоносных осадках рудного узла Семенов.

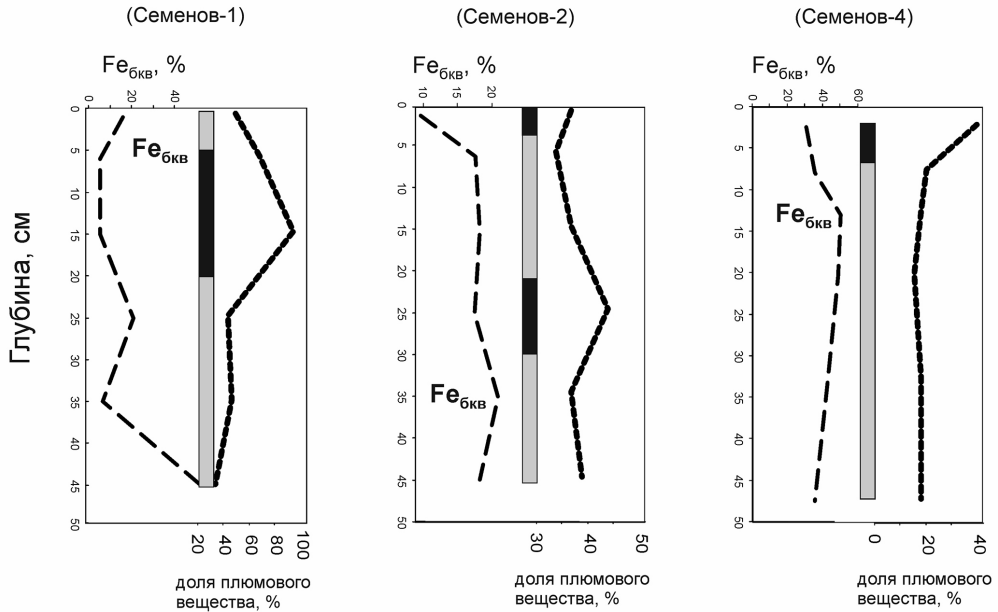


Рис. 4. Распределение бескарбонатного железа ($Fe_{бкв}$ – пунктирная линия) и расчетной доли плюмового вещества (в %, сплошная линия) по глубине колонок гидротермальных полей Семенов-1, 2 и 4.

Для поля Семенов-1 глубина в см соответствует возрасту в тыс. лет. Серой жирной линией показаны периоды относительного ослабления, а черной – усиления гидротермальной деятельности.

в период ~15 тыс. лет. В дальнейшем она опять пошла на спад и в настоящее время полностью загухла. Для поля Семенов-2 в возрастном интервале от <45 тыс. лет и вплоть до настоящего времени предполагается стабильная гидротермальная разгрузка с незначительным усилением в отдельные периоды. Для поля Семенов-4 также можно предполагать непрерывную гидротермальную деятельность в интервале от <45 тыс. лет, сопровождавшуюся усилением разгрузки в самом недавнем времени.

Таким образом, разработанный нами оригинальный способ учета доли обломочного материала сульфидных руд позволяет использовать проксимальные металлоносные осадки для корректной реконструкции истории гидротермальной деятельности отдельных рудных полей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение от 13.10.2022 № 075-15-2022-1220).

Литература

Бельтнев В.Е. и др. Геолого-геофизические исследования с целью выделения участков, перспективных на ГПС, в осевой зоне САХ (в пределах 11°–12°30' с.ш.) и поисковые работы на участке 13°31' с.ш. Ломоносов, Фонды ФГУНПП «ПИГРЭ», 2010.

Бич А.С. Распространение и накопление металлов в донных осадках района рудного узла Семенов, 13°30' с.ш., Срединно-Атлантический хребет // *Металлогения древних и современных океанов-2024. Рудогенез. Миасс: ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, 2024.* (настоящий сборник).

Мелекесцева И.Ю. Минеральный и химический состав руд гидротермального поля Семенов-2 // *Разведка и охрана недр. 2011. № 12. С. 10–16.*

Перцев А.Н., Бортников Н.С., Власов Е.А. и др. Современные колчеданные залежи рудного района Семенов (Срединно-Атлантический хребет, 13°31' с.ш.): характеристика ассоциирующих пород внутреннего океанического комплекса и их гидротермальных изменений // *Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54. № 5. С. 400–415.*

Чернышев И.В., Бортников Н.С., Чугаев А.В. и др. Масштаб вариаций и гетерогенность изотопного состава свинца в сульфидах гидротермальных полей Срединно-Атлантического хребта по данным высокоточного MC-ICP-MS-метода изотопного анализа // *Доклады Академии наук. 2011. Т. 437. № 5. С. 680–685.*

Cave R., German C.R., Thompson J. et al. Fluxes to sediments underlying the Rainbow hydrothermal plume at 36°14'N on the Mid-Atlantic Ridge // *Geochimica Cosmochimica Acta. 2002. Vol. 66. P. 1905–1923.*

Edmonds H.N., German C.R. Particle geochemistry in the Rainbow hydrothermal plume, Mid-Atlantic Ridge // *Geochimica et Cosmochimica Acta. 2004. Vol. 68. P. 759–772.*

German C.R., Campbell A.C., Edmond J.M. Hydrothermal scavenging at the Mid-Atlantic Ridge: Modification of trace element dissolved fluxes // *Earth and Planetary Science Letters. 1991. Vol. 107. № 1. P. 101–114.*

Kuksa K., Cherkashov G., Bich A. et al. Temporal evolution of the Pobeda hydrothermal site (MAR): Utility of proximal sediment cores // *Chemical Geology. 2023. Vol. 628. #121477.*

Kuksa K., Bich A., Cherkashov G. et al. Mass-wasting processes input in proximal metalliferous sediments: a case study of Pobeda hydrothermal cluster // *Marine Geology. 2021. Vol. 438. #106517.*

Melekestseva I.Yu., Tret'yakov G.A., Nimis P. et al. Barite-rich massive sulfides from the Semenov-1 hydrothermal field (Mid-Atlantic Ridge, 13°30.87' N): Evidence for phase separation and magmatic input // *Marine Geology. 2014. Vol. 349. P. 37–54.*

Автор выражает благодарность Санкт-Петербургскому государственному университету за финансовую поддержку участия в конференции (PURE ID 118514055)