

А.С. Бич
ФГБУ «ВНИИОкеангеология», г. Санкт-Петербург, Россия
as_bich@mail.ru
Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия

Распространение и накопление металлов в донных осадках района рудного узла Семенов, 13°30' с.ш., Срединно-Атлантический хребет
(научный руководитель – д.г.-м.н. Г.А. Черкашев)

A.S. Bich
VNIIOkeangeologia, St. Petersburg, Russia
St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Distribution and accumulation of metals in seafloor sediments in area the Semenov ore cluster, 13°30' N, Mid-Atlantic Ridge

Abstract. This study presents the results of the analysis of acoustic, geochronological and geochemical data of seafloor sediments at the Semenov ore cluster (13°30' N, Mid-Atlantic Ridge) to assess their distribution and the influence of hydrothermal activity on their composition. The thickness of a sedimentary cover within the terrace north of cluster ranges from 0.7 to 6.4 m increasing from an axial zone of the rift valley to the foot of the ridge-flank mountains. The sedimentation rate in area of the cluster is estimated to be 1.17±0.1 cm/ky. The half-rate of spreading at the western side of the rift valley in the study area is estimated at 20.4 mm/year. The spatial distribution of a Fe/Cu ratio of sediments indicates its increase from the hydrothermal fields. A zone of its lower values is localized in the area of a longitudinal linear depression north of the Semenov-2 hydrothermal field. The hydrothermal sources affect the composition of sediments at a distance of no less than 6 km.

Донные осадки северной приэкваториальной зоны Срединно-Атлантического хребта (САХ) представлены кокколит-фораминиферовыми илами, в которых доля биогенного карбоната достигает 80–90 %. Низкая изменчивость карбонатности по глубине осадочных разрезов позволяет считать биогенное карбонатакопление в этом районе постоянным во времени, таким образом, возраст подошвы осадочных разрезов соответствует возрасту экспонирования на дне коренных пород. В районах гидротермальных систем в донных осадках накапливаются гидротермальные минералы (сульфиды, оксигидроксиды Fe и Mn и др.). Их накопление выражается в геохимических аномалиях, контрастность которых увеличивается в направлении к зонам разгрузки гидротермальных флюидов глубоководных полиметаллических сульфидных руд (ГПС). Таким образом, залежи ГПС окружены отложениями с повышенными содержаниями металлов (металлоносными осадками). Закономерности распространения металлов в осадках объясняются осаждением частиц гидротермального плюма, разрушением рудных построек и накоплением сульфидно-обломочного материала [Gurvich, 2006]. Влияние гидротермальных источников на состав донных осадков Атлантического океана изучено на примере отдельных рудных полей, таких как Салданья [Dias, Barriga, 2006], Рейнбоу [Cave et al., 2002] и ТАГ [Dutreix, 2020]. Вопрос о распространении гидротермального плюма для САХ ограничен морфологией хребта: U-образная форма рифтовой долины препятствует распространению гидротермального плюма за ее пределы [Краснов и др., 1992].

Цель работы – выявление закономерностей распространения осадочного покрова и влияния гидротермальных источников рудного узла Семенов на его состав. Нами оценены мощность, возраст и содержания металлов в осадках одного из крупнейших рудных объектов ГПС Мирового океана – рудного узла Семенов (13°30' с.ш., САХ). Узел расположен на за-

падном борту рифтовой долины в пределах сегмента САХ, который характеризуется развитием нижнекорковых пород габбро-перидотитового комплекса, формирующих куполообразные поднятия внутреннего океанического комплекса [McLeod et al., 2009]. Рудный узел состоит из пяти рудных полей (рис. 1), протянувшихся в субширотном направлении [Beltenev et al., 2009].

Мощность осадочного покрова определена по данным профилирования комплексом МАК-1М (АО ПМГРЭ). Содержания металлов (Fe, Mn, Cu, Zn и Co) в донных осадках измерено методом ИСП-МС в ЦЛ ВСЕГЕИ (177 образцов), возраст донных осадков определен методом избыточного тория (^{230}Th) в лаборатории им. В.П. Кеппена (СПбГУ) на основе данных по шести колонкам мощностью до 100 см (46 образцов). Материалы акустического профилирования, образцы донных осадков получены в ходе поисковых работ, выполненных АО ПМГРЭ и ФГБУ ВНИИОкеангеология в 2008–2011 гг. в ходе 32, 33 и 34-го рейсов НИС «Профессор Логачев». В точках пересечения ортогонально ориентированных профилей МАК-1М дважды измерена мощность акустического разреза. Полученные значения показали высокую сходимость ($R^2 = 0.74$), их среднее значение использовано для построения грид-модели мощ-

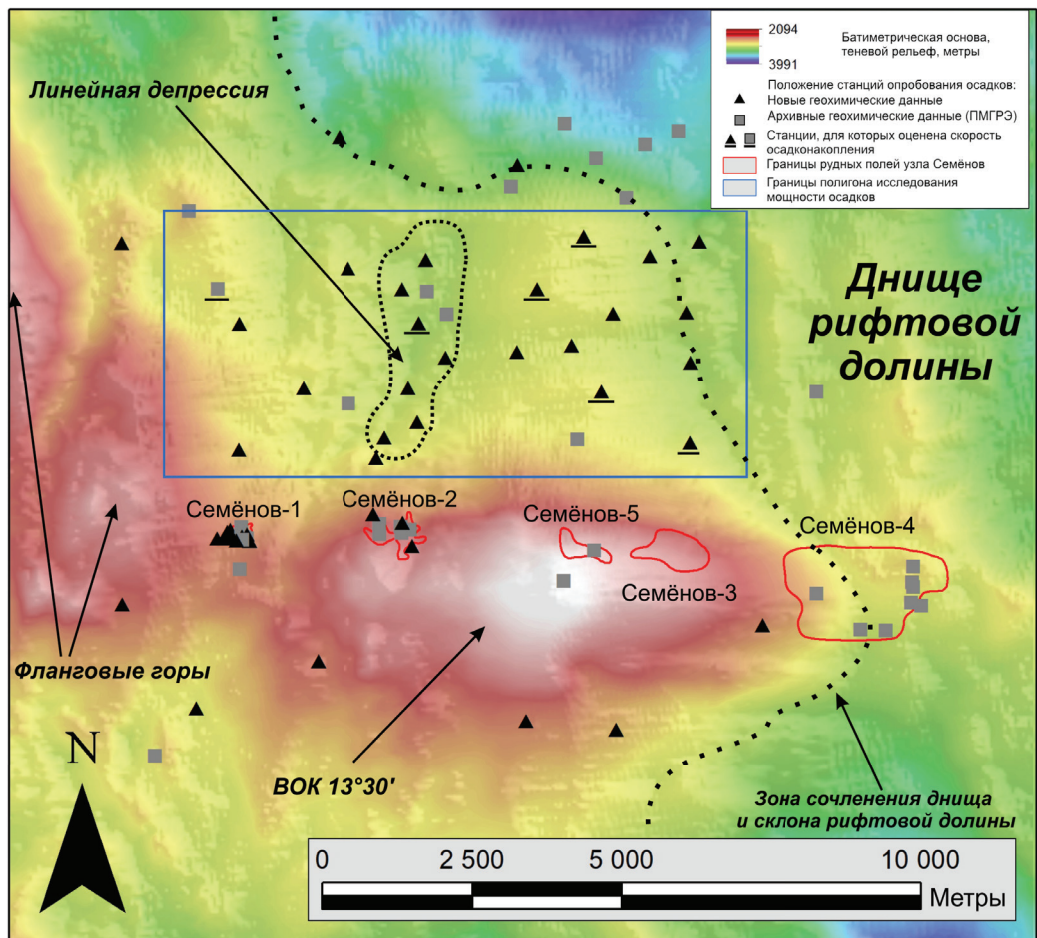


Рис. 1. Карта расположения станций опробования донных осадков, рудных объектов узла Семёнов и элементов строения рифтовой долины.

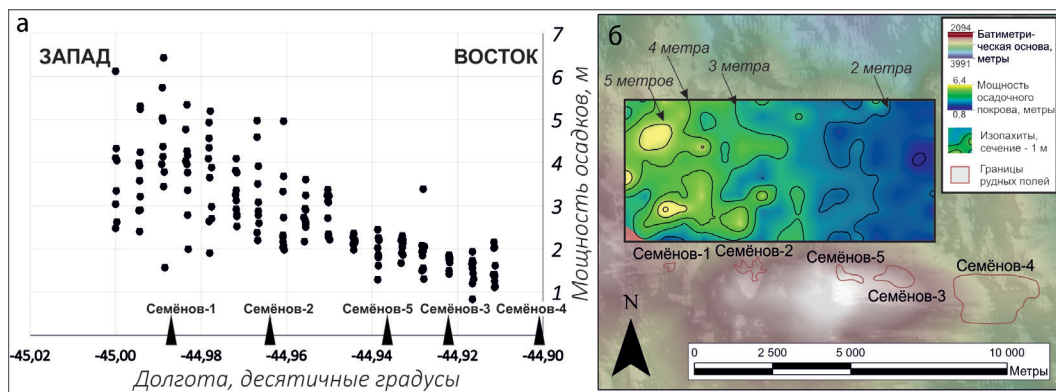


Рис. 2. Диаграмма распределения мощности осадочного покрова от долготы (а) и схема распределения мощности осадочного покрова в пределах террасы к северу от рудного узла Семенов (б).

ности осадочного покрова методом интерполяции. Мощность осадочного покрова к северу от рудного узла Семенов варьирует от 70 до 640 см, закономерно повышаясь в западном направлении (рис. 2). Это показывает, что осадки накапливались в условиях постепенного экспонирования океанической коры, которое могло быть обеспечено аккрецией базальтовой океанической коры в результате спрединга либо экспонированием нижнекоровых пород в результате амагматического спрединга [McLeod et al., 2009].

По результатам геохронологических исследований выявлен экспоненциальный характер снижения активности избыточного ^{230}Th с увеличением глубины анализируемых интервалов биогенных илов, что позволяет использовать эти данные для оценки скорости осадконакопления, которая составила 1.00–1.29 см/тыс. лет (среднее 1.17 ± 0.1 см/тыс. лет), что согласуется с данными для северной приэкваториальной части САХ [Кузнецов, Максимов, 2012]. Возраст изученного осадочного покрова варьирует от 70.94 ± 7.09 до 539.32 ± 53.93 тыс. лет. Увеличение возраста пород океанического дна в направлении спрединга соответствует полускорости спрединга, равной 20.4 мм/год, при полной скорости спрединга, равной 26 мм/год по данным магнитных изохрон [Müller et al., 2008]. Предполагается, что полускорость спрединга в восточном направлении составляет 5.6 мм/год. Доминирование западного направления спрединга косвенно подтверждается концентрацией структур ВОК на западном склоне рифтовой долины [MacLeod et al., 2009]. В пределах рудных объектов акустически различные разрезы не выявлены.

Результаты определения содержания рудных элементов приведены в таблице.

Металлоносные осадки с повышенной железистостью (более 10 % в пересчете на абиогенную основу) обнаружены только на рудных полях и являются проксимальными металлоносными осадками [Gurvich, 2006]. Для них характерны наименьшие значения карбонатности, а содержания рудных элементов (кроме Mn) достигают максимума, постепенно снижаясь в направлении от рудных объектов. В пространственном распределении Mn обнаружены два максимума: первый локализован в контуре рудных полей и может быть вызван накоплением продуктов разрушения низкотемпературных гидротермальных образований (железо-марганцевых корок), а второй максимум отмечен в районе северной окраины террасы и может объясняться повышенной геохимической подвижностью марганца по отношению к железу.

Были также привлечены геохимические данные базы данных Океангеоресурсы, результаты определения аналогичного набора элементов методом ИСП-АЭС (133 образца, ЦЛ ВСЕГЕИ) в образцах близкорасположенных станций опробования донных осадков (рис. 1). Выявлены существенные расхождения в абсолютных значениях концентраций металлов

Содержания металлов в донных осадках в районе рудного узла Семёнов

Параметры и положение		М	мин	макс	ст. о.	М	мин	макс	ст. о.	
	в пределах рудных полей					за пределами рудных полей				
Содержания металлов в пересчете на бескарбонатную основу, %	Fe	8.35	3.67	19.83	5.26	4.69	2.91	7.72	0.74	
	Mn	0.23	0.07	0.41	0.09	0.22	0.05	0.51	0.08	
	Cu	0.55	0.03	3.40	0.96	0.03	0.01	0.11	0.02	
	Zn	0.033	0.011	0.085	0.023	0.013	0.009	0.013	0.003	
	Co	0.005	0.001	0.011	0.005	0.003	0.001	0.006	0.001	
n	21					155				

Примечание. М – медиана; мин и макс – минимальное и максимальное значения, соответственно; ст. о. – стандартное отклонение.

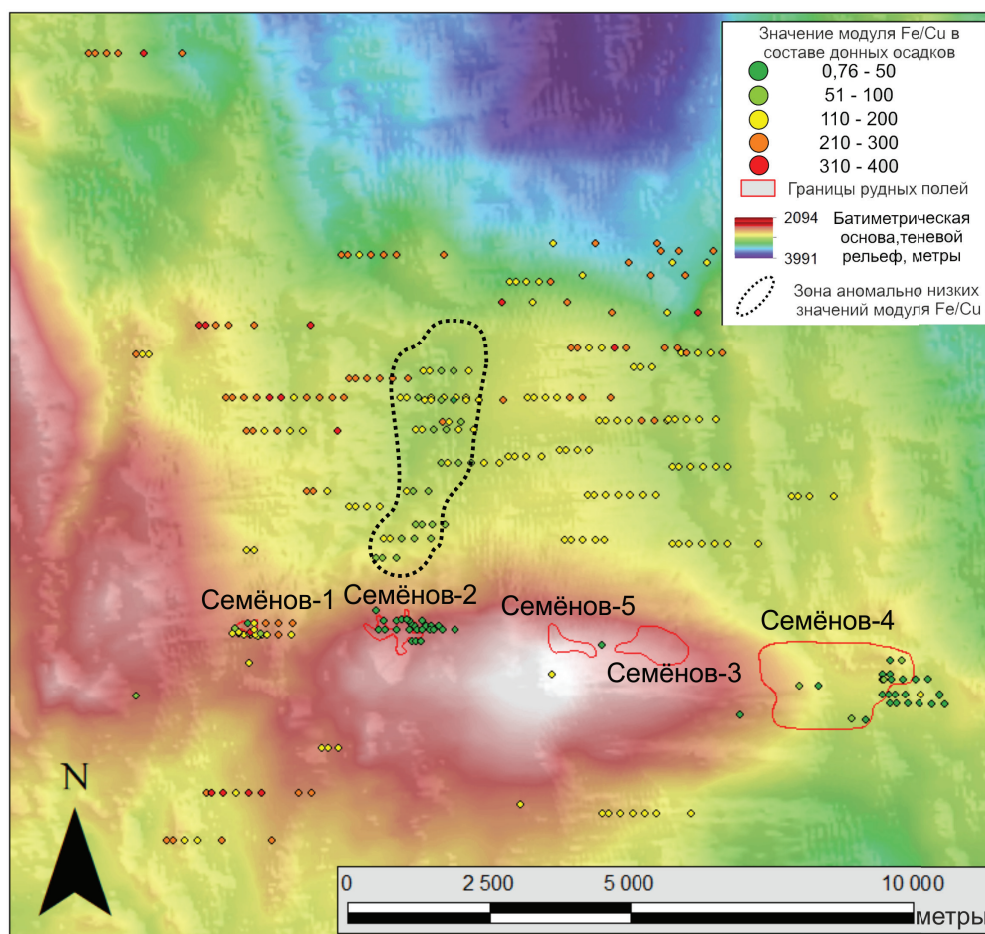


Рис. 3. Распределение отношения Fe/Cu в донных осадках рудного узла Семёнов.

Интервалы колонок глубже поверхностного слоя (0–2 см) спроецированы на поверхность океанического дна из расчета скорости спрединга 20.4 мм/год к востоку от точки пробоботбора в соответствии с возрастом.

близкорасположенных станций, при этом отношения концентраций (модули, относительные концентрации) показали высокую сходимость и были использованы для анализа площадного распределения. Для оценки влияния гидротерм на состав осадков и выбора оптимального геохимического модуля учтено накопление вещества гидротермальных плюмов и продуктов разрушения гидротермальных построек (сульфидно-обломочного материала). С удалением от рудных объектов роль второго механизма резко снижается, что проявлено в контрастной изменчивости распределения содержаний Cu в осадках. Предполагается, что показатель железистости осадков отражает динамику поставки рудного вещества гидротермами. Анализ пространственного распределения Fe/Cu отношения показал увеличение отношения в направлении от рудных полей, где локализованы наименьшие значения (рис. 3). Эта закономерность нарушена в пределах субмеридиональной линейной депрессии к северу от рудного поля Семенов-2, что может свидетельствовать либо о значительной роли депрессий в транспортировке взвешенной части рудного вещества гидротермальных плюмов, либо о наличии других источников гидротермального вещества. Анализ вертикального распределения отношения Fe/Cu в осадочных колонках показал синхронность изменения значений во времени, в том числе, в районе северо-восточной окраины исследуемой террасы, что свидетельствует о влиянии гидротерм на состав осадков на расстояние не менее 6 км от рудных полей Семенов-3, 4 и 5.

Таким образом, в результате изучения донных осадков, залегающих на террасе к северу от рудного узла Семенов, были сделаны следующие выводы. Выявлено увеличение мощности осадков в пределах террасы в западном направлении от 0.7 м в зоне ее сочленения с дном рифтовой долины до 6.4 м у подножья фланговых гор. Средняя скорость осадконакопления на изученной площади составляет 1.17 ± 0.1 см/тыс. лет. Характер площадного распределения Fe и Cu в донных осадках указывает на распространение гидротермального вещества на расстояние не менее 6 км к северу от гидротермальных источников. В пределах линейной депрессии к северу от рудного поля Семенов-2 локализованы аномальные содержания металлов в осадках, которые могут указывать на значительную роль депрессий в транспортировке рудного вещества гидротерм, либо о наличии источников гидротермального вещества в районе исследования. Полускорость спрединга западного склона рифтовой долины составляет 20.4 мм/год. Предполагается, что за последние ~500 тыс. лет спрединг в районе имел асимметричный характер и развивался преимущественно в западном направлении.

Литература

- Краснов С.Г., Черкашев Г.А., Айнемер А.И. и др. Гидротермальные сульфидные руды и металлоносные осадки океана. СПб: Недра, 1992. 278 с.
- Кузнецов В.Ю., Максимов Ф.Е. Методы четвертичной геохронометрии в палеогеографии и морской геологии. СПб: Наука, 2012. 191 с.
- Beltenev V., Ivanov V., Rozhdestvenskaya I. et al. New data about hydrothermal fields on the Mid-Atlantic Ridge between 11°–14° N: 32nd cruise of R/V Professor Logatchev // *InterRidge News*. 2009. Vol. 18. P. 14–18.
- Cave R.R., German C.R., Thomson J., Nesbitt R.W. Fluxes to sediments underlying the Rainbow hydrothermal plume at 36°14'N on the Mid-Atlantic Ridge // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2002. Vol. 66. P. 1905–1923.
- Dias Á.S., Barriga F.J.A.S. Mineralogy and geochemistry of hydrothermal sediments from the serpentinite-hosted Saldanha hydrothermal field (36°34'N; 33°26'W) at MAR // *Marine Geology*. 2006. Vol. 225. P. 157–175.
- Dutrieux A.M. Rise and fall of a hydrothermal system: A tale of metalliferous sediments (TAG hydrothermal field, MAR, 26°N). PhD thesis, University of Southampton, 2020. 286 p.
- Gurvich E.G. Metalliferous sediments of the world ocean. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Netherlands, 2006. 416 p.

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.

Müller R.D., Sdrolias M., Gaina C., Roest W.R. Age, spreading rates and spreading symmetry of the world's ocean crust // Geochemistry. Geophysics. Geosystems. 2008. Vol. 9. Q04006.

О.В. Бергаль-Кувикас¹, К.А. Виаличка², И.Н. Биндеман², А.Н. Рогозин¹

¹ – *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский, Россия
kuvikas@mail.ru*

² – *Университет Орегон, г. Юджин, США*

Изотопы кислорода – ключ к палеореконструкции условий формирования Верхнеавачинской кальдеры (Восточный вулканический пояс, Камчатка)

O.V. Bergal-Kuvikas¹, K.A. Vialichka², I.N. Bindeman², A.N. Rogozin¹

¹ – *Institute of Volcanology and Seismology,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia*

² – *University of Oregon, Eugene, United States of America*

Oxygen isotopes as a key to paleoreconstruction of the formation conditions of the Verkhnyaya Avacha caldera (Eastern volcanic belt, Kamchatka)

Abstract. The use of hydrogen and triple oxygen isotopes for determining paleo-altitudes of landscapes is a newly developed field of study referred to as “paleoaltimetry”. Previous work was focused primarily on the Tibetan Plateau, Himalayan Mountains, and Andes. Here, we use these tools to investigate the paleo-altitude and the origin of large-volume mafic ignimbrites (120 km³, 10 × 12 km) of Verkhnyay Avacha caldera (VC) in Eastern Kamchatka formed 5.8 Ma. The low δ¹⁸O (as low as –5.03 ‰) and δD (–182 ‰) values are spread across 1.2 km depths in many sampled sections of the caldera. The results support the existence of a massive meteoric-hydrothermal system throughout the cooling history of thick basaltic-andesitic intracaldera ignimbrite deposit. The δ¹⁸O values of altering meteoric water vary from –19 to –23 ‰, which is much lower than modern precipitation of –14 ‰ or –11 ‰ estimated for the 2–3 °C warmer climate of the late Miocene. Thus, the 5.8-Ma meteoric-hydrothermal system must have been fed by a high-altitude precipitation and likely glaciers.

Использование изотопов кислорода для определения палеовысот ландшафтов в настоящее время является новой областью исследований. Предыдущие работы в этой области были сосредоточены, в первую очередь, в Андах [Ehlers, Poulsen, 2009]. Разница между изотопным составом метеорных осадков на уровне моря и на больших высотах позволяет выполнить количественную оценку прошлых высот [Rowley et al., 2001] и рассчитать скорости поднятия или эрозии.

Наши работы направлены на выявление условий формирования Верхнеавачинской кальдеры (ВК), расположенной в Восточном вулканическом поясе Камчатки. Верхнемиоценовые базальт-андезитовые игнимбриты исследуемой кальдеры покрывают значительные территории (10 × 12 км, 120 км³) [Bergal-Kuvikas et al., 2019]. Использование сравнительного анализа распространения кальдер с базальт-андезитовым составом пород позволило идентифицировать нам всего пять подобных кальдер известных в мире (Масая в Никарагуа, Виларрика в Чили, Колли Албани в Италии, Танна и Санта Мария на Новых Гибридах) расположенных в субдукционных обстановках, что показало уникальность ВК [Бергаль-Кувикас и др., 2019].