

ГЕОХИМИЯ И ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ Sr ПРИДОННОЙ И ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ВОДЫ В РАЙОНЕ ИМПЕРАТОРСКОГО ХРЕБТА (ТИХИЙ ОКЕАН)

с.н.с., к.г.-м.н. Вишневецкая Ирина Андреевна

Лаборатория изотопной геохимии и геохронологии

В ходе рейса №86 научно-исследовательского судна «Академик М.А. Лаврентьев» (июль-август 2019) были отобраны пробы придонной и приповерхностной (на глубине 10 м) воды в непосредственной близости и над подводными горами Коко (Koko), Джингу (Jingu), Нинтоку (Nintoku), Суйко (Suiko) южной части Императорского хребта. Были определены концентрации редких, рассеянных и редкоземельных элементов в этих пробах. Основной катионный состав глубинных и приповерхностных вод, в общем, не отличается. Заметна разница в содержании Ti, Mn, Cu, Zr, Ag, Ta, Pb, Bi и Th. Количество этих элементов варьирует до 10 раз. Содержание титана и меди на порядок ниже в пробах, отобранных в районе горы Суйко. Количество серебра ниже в приповерхностных водах относительно глубинных, что отмечалось ранее, например в работе Чжана с соавторами [1]. Для остальных же элементов такой явной зависимости не наблюдается. Содержания всех металлов оказались выше, чем в стандарте североатлантической воды [2]. Такое различие можно объяснить тем, что речной и атмосферный поток вещества в воды Северной Атлантики выше, чем в северной части Тихого океана [3], различается также и химический состав входящих потоков. Второй причиной является разница в течениях, особенно в тех, которые приносят глубинные воды, обогащенные или обедненные теми или иными элементами [4].

При детальном рассмотрении взаимоотношений элементов-примесей в изученных пробах, выявлена прямая корреляция в парах Se-Cu и Se-As по всей толще воды. Такие элементы как Se и Cu имеют большое биологическое значение, а As, хоть и не является важнейшим элементом в биохимических процессах, также очень активно накапливается живыми организмами [5]. Согласно данным Галины Леоновой с соавторами [6] эти элементы находятся в морской воде в подвижных (биодоступных) формах и заметно концентрируются в зоопланктоне. Коэффициенты обогащения для Se, Cu, As относительно донных осадков весьма велики и имеют значения около 100 [6]. Соответственно, корреляции в парах Se-Cu и Se-As могут свидетельствовать о значительном вкладе планктона в концентрации этих элементов в отобранных образцах воды. Данные по изменению концентраций в поверхностных (теплых водах) подтверждают тезис о влиянии микроорганизмов на её состав. Отмечен заметный рост содержания Cu, As, Se с повышением температуры приповерхностного слоя. Это наблюдение можно интерпретировать как следствие повышения биопродуктивности вод с ростом температуры слоя.

Распределение сланец-нормализованных спектров редкоземельных элементов (нормированы на североамериканский сланец – NASC) указывает на слабое обогащение тяжелыми РЗЭ по сравнению с лёгкими и цериевую отрицательную аномалию. Значения Ce/Ce* варьируют от весьма значительных (0.08) до небольших (0.28). Величина цериевой аномалии растёт с повышением температуры приповерхностного слоя, то есть количество церия относительно соседних РЗЭ уменьшается. Отрицательная аномалия формируется в поверхностных условиях за счет окисления церия [7]. Причем возникающий дефицит церия в составе растворенных РЗЭ компенсируется наличием положительной аномалии в составе взвешенных частиц, содержащих РЗЭ [7].

Изотопный состав Sr варьирует от 0.70891 до 0.70917 при среднем 0.70910 ± 0.00007 (рис. 1). Отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ глубинных вод менее изменчиво и соответствует средней величине по мировому океану (0.70913 ± 0.00004). Изотопный состав Sr приповерхностных вод менее радиогенный (0.70906 ± 0.00010). Во время плавания и отбора проб в районе подводных гор Коко, Джингу и Нинтоку (южнее 44°с.ш.) ежедневно шли кратковременные дожди (до 20 мм в день согласно данным сайта <https://earth.nullschool.net/>). Именно влиянием привноса метеорной воды можно объяснить уменьшение отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в приповерхностном слое. Установлено, что изотопный состав Sr влажных осадков Японии (районы городов Саппоро 0.70852, и Кумамото 0.70885, лесного массива Каваками 0.70766 [8]) ниже значений для морской воды. Принимая изотопный состав осадков по работам Накано с соавторами [8] за один крайний член уравнения

смешения (1), а отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ глубинных вод за второй, получаем, что доля метеорной воды в слое на глубине 10 м составляет 0.010%.

$$f = \frac{[A_2] \cdot (x_m - x_2)}{[A_1] \cdot (x_1 - x_m) + [A_2] \cdot (x_m - x_2)} \quad (1),$$
 где $[A]$ – концентрация Sr в осадках и океанской воде, обозначаются соответственно индексом 1 и 2; x – отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в этих же крайних точках, x_m – изотопный состав приповерхностной воды (0.70906).

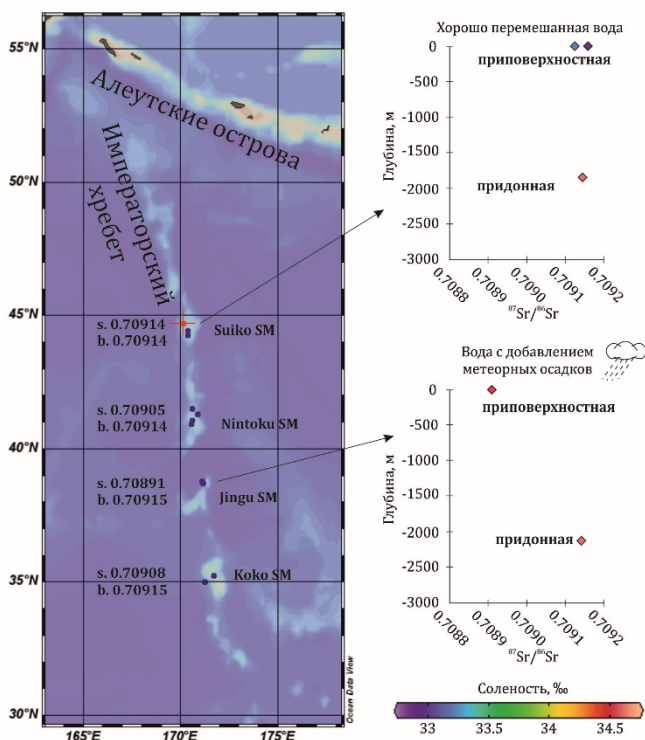


Рис. 1. Положение точек отбора и изотопный состав Sr в образцах воды с разной глубины (s – приповерхностная, b – придонная вода).

Цвет знака соответствует солёности воды.

Цвет знака соответствует солёности воды. смещённым отношением $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Причиной тому служат метеорные осадки - проникновение дождевой воды и разбавление весьма существенно: на глубине десяти метров от поверхности оно заметно, как на химическом, так и на изотопном уровнях. Наши исследования изотопного состава Sr позволили установить, что перемешивание в таких зонах происходит за считанные дни. Именно благодаря высоким скоростям вертикального перемешивания произошло уравнивание изотопного состава Sr в районе подводной горы Суйко.

Литература

- Zhang Y., Amakawa H., Nozaki Y. Oceanic profiles of dissolved silver; precise measurements in the basins of western North Pacific, Sea of Okhotsk, and the Japan Sea // Mar. Chem. 2001. V. 75, p. 151–162
- Summerhayes C.P., Thorpe S.A. Oceanography – An Illustrated Guide. Manson Publishing, London. 1996.
- Bruland K.W., Franks R.P. Mn, Ni, Zn and Cd in the western North Atlantic. In Trace metals in sea water, e.S. Wong, E. Boyle, K.W. Bruland, J.D. Burton & E.D. Goldberg (eds). New York: Plenum.1983. P. 395-414.
- Chester R. Trace elements in the oceans // Mar. Geochem. 1990. 346–421.
- Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. / под ред. Э.К. Буренкова. М.: Недра, 1996. Кн. 3: Редкие р-элементы. 352 с.
- Leonova G.A., Bobrov V.A., Bogush A.A., et al. Concentration of Chemical Elements by Zooplankton of the White Sea // Oceanology. 2013. 53, p.54–70
- Sholkovitz E.R., Church T.M., Arimoto R. Rare earth element composition of precipitation, precipitation particles, and aerosols // Journal Geophys. Research. 1993. V. 98. Iss. 11. P. 20587–20599.
- Nakano T., Morohashi S., Yasuda H., et al. Determination of seasonal and regional variation in the provenance of dissolved cations in rain in Japan based on Sr and Pb isotopes // Atm. Env. 2006. 40 (38), 7409-7420.

Полученные данные опубликованы в статье I.A. Vishnevskaya, T.G. Okuneva, D.V. Kiseleva, N.G. Soloshenko, M.V. Streletskaya, Yu.S. Vosel Trace element and Sr isotopic composition of bottom and near-surface oceanic water in the southern region of the Emperor Ridge // Marine Chemistry, 2020, V. 224, 103808. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2020.103808>

Подводная гора Суйко расположена севернее 44°с.ш. , на расстоянии почти 300 км от горы Нинтоку. Пробы воды отбирались в ясную безветренную погоду. Изотопный состав стронция глубинных и придонных вод однороден и составляет 0.70914 ± 2 . Осадки отсутствовали в этом районе в течение десяти дней. Этого времени хватило, чтобы приповерхностный разбавленный слой воды перемешался с глубинными водами и изотопный состав стал гомогенным.

Изменение состава приповерхностных вод можно заметить также по поведению цериевой аномалии. Разбавленные дождем воды отличаются самой большой аномалией ($\text{Ce}/\text{Ce}^*0.008-0.02$). Разброс величин Ce/Ce^* глубинных и приповерхностных вод порой достигает одного порядка. Значение Ce/Ce^* вод над горой Суйко составляет 0.17-0.19 и почти не отличается от глубинной воды.

Процесс перемешивания океанских вод, который обеспечивает единообразие изотопного состава Sr, весьма сложен и складывается из взаимодействующих горизонтальных и вертикальных течений.

Однако существуют локальные зоны со