

**ВЛИЯНИЕ АНАЭРОБНОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА НА ПОВЕДЕНИЕ
РЕДОКС-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ**
Милевский Я.В.

Научный руководитель доцент Рубан А.С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Климатические изменения последних десятилетий, в первую очередь проявляющиеся в Арктике, несомненно влияют на особенности современного осадкообразования. В первую очередь это проявляется в изменении качественного и количественного состава сносаемого в приемный бассейн осадочного материала, а также в закономерностях его пространственного распределения, скоростях седиментации, активности биохимических процессов и пр. Указанные факторы способствуют изменению окислительно-восстановительной среды, как в донных осадках, так и в придонном горизонте водной толщи [1]. В пределах шельфа моря Лаптевых обнаруживаются области разгрузки метан-содержащих флюидов – метановые сипы (англ. cold methane seep). При столкновении нисходящего диффузионного потока сульфата из морской воды и восходящего потока метана создается сульфат-метановая транзитная зона (СМТЗ), которая характеризуется активностью двух ключевых биогеохимических процессов – анаэробного окисления метана и бактериальной сульфатредукции, управляемых консорциумом анаэробных метаноокисляющих архей и сульфатредуцирующих бактерий [2]. Положение СМТЗ в разрезе помимо прочего определяется интенсивностью восходящего потока метана и при интенсивных потоках анаэробное окисление метана может протекать непосредственно на границе «донные осадки-морская вода». Активность процесса бактериальной сульфатредукции способствует истощению сульфата как в поровых, так и в придонных водах и, как следствие, приводит к продуцированию сероводорода [3]. Это способствует изменению редокс-условий осадконакопления, что влияет на биогеохимические циклы ряда элементов (например, Mn, Mo, U, Cd, Ba и др.), поскольку их накопление в морских осадках контролируется в первую очередь концентрациями кислорода [4].

Материалом для данной работы послужили колонки (керны) донных осадков, отобранные в северной части шельфа моря Лаптевых. Керны АМК-6053 (длина 16 см) и АМК-6027 (длина 18 см) получены в 73-м рейсе, а керн АМК-6948 в 82-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш». Керны АМК-6027 и АМК-6948 отобраны на участках массивированной разгрузки метана, и они рассматриваются как «метановые» осадки. На станции АМК-6053 не было зарегистрировано повышенных содержаний метана ни в донных осадках, ни в водной толще, поэтому этот керн рассматривается как «фоновые» осадки.

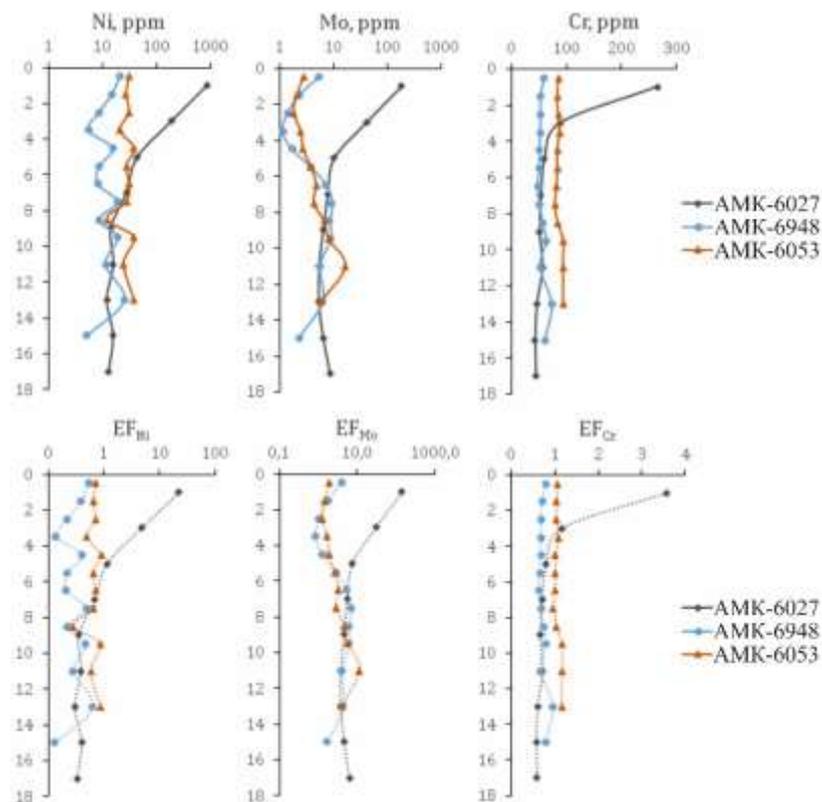


Рис. Профили вертикального распределения концентраций (сверху) и факторов обогащения (снизу) Ni, Mo и Cr в кернах АМК-6027, АМК-6948 и АМК-6053

Концентрации Cu, Co, St в «фоновых» осадках сопоставимы с концентрациями этих элементов в осадочных породах континента. Отмечается немного пониженное содержание Ni и почти двукратное превышение по Zn.

Вертикальные профили этих элементов в керне АМК-6053 достаточно схожи. Однако наблюдается незначительный рост содержания кобальта с глубиной и единичные пики в профилях никеля и цинка. В керне АМК-6948 специфика вертикального распределения Cu, Zn, Co, Ni, Cr по глубине в целом аналогична «фоновым» донным осадкам, но при этом содержания всех элементов ниже примерно в 1,5-2 раза. В колонке АМК-6027 вертикальные профили никеля, хрома и меди показывают относительное превышение содержаний этих элементов в интервале 0...4 см (875 ppm для Ni ($EF_{Ni} = 22,2$), 265,4 ppm для Cr ($EF_{Cr} = 3,6$) и 23,9 ppm для Cu ($EF_{Cu} = 1,1$)). Содержание молибдена варьирует в диапазонах от 1,9 до 16,8 ppm (среднее = 5,3 ppm) в «фоновых» осадках и от 1,2 до 187,6 ppm (среднее = 15,6 ppm) в «метановых». Профили вертикального распределения молибдена демонстрируют различия в его поведении (рис.). В керне АМК-6027 наблюдается резкое снижение концентраций молибдена с глубиной, ниже горизонта ~ 5 см разброс значений составляет менее 3 ppm. Для керна АМК-6948 также свойственны повышенные концентрации молибдена в верхнем горизонте (5,4 ppm) и их снижение до горизонта примерно 4 см, однако ниже этого горизонта наблюдается рост содержания. В колонке АМК-6053 отмечается минимальное содержание молибдена в приповерхностном горизонте осадков и постепенный его рост с глубиной. Содержание урана в «метановых» и «фоновых» осадках изменяется в диапазонах от 1,48 до 3,24 ppm и от 2,74 до 3,43 ppm, соответственно. При этом во всех трех кернах наблюдается рост концентраций урана с глубиной. Среднее содержание урана близко к среднему в осадочных породах континентов. Поведения бария характеризуется схожестью, как в «метановых», так и в «фоновых» донных осадках, что выражается в широком разбросе его концентраций и отсутствии выраженных тенденций к их росту или снижению по мере углубления. Среднее содержание бария в «метановых» осадках немного выше, чем в «фоновых», но при этом в обоих случаях оно сопоставимо среднему в осадочных породах континентов.

Коэффициенты корреляции марганца с другими элементами показывают значимые ($R > 0,7$) прямые связи с ТОС, Co, Ni, Fe, Cu, Zn, Cr и Mo. При этом следует отметить, что данные корреляционные связи характерны только для керна АМК-6027 и не отмечаются в других кернах. По-видимому, метановый флюид способствует транспорту растворенных элементов (никеля и, возможно, меди) из нижних осадочных горизонтов к поверхности, где при смене окислительно-восстановительных условий происходит их осаждение. Значимые прямые корреляционные связи Co, Ni, Cr, Cu, Zn с ТОС и Mn могут указывать на то, что основным механизмом, регулирующим осаждение данных элементов в поверхностном слое осадков, является сорбция органическим веществом и оксигидроксидами Mn.

Таким образом, в поверхностном слое донных осадков метановых сипов отмечается обогащение молибдена, никеля и хрома. Главным механизмом, регулирующим осаждение этих элементов, вероятно, является сорбция оксигидроксидами марганца и органическим веществом, на что указывают значимые корреляционные связи. Обогащение поверхностных донных осадков одного из метановых сипов Ni, Cr и Mo, по-видимому, вызвано восходящей миграцией метанового флюида, который способствует транспорту растворенных элементов из нижних горизонтов. Резкая смена окислительно-восстановительного потенциала на границе «донные осадки-водная толща» приводит к осаждению отдельных элементов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-1774.2021.1.5.

Литература

1. Kipp L.E., Charette M.A., Moore W.S., Henderson P.B., Rigor I.G. Increased fluxes of shelf-derived materials to the Central Arctic Ocean // *Science Advances*. – 2018. – Vol. 4. – eaao1302.
2. Hinrichs K.-U., Hayes J.M., Sylva S.P., Brewer P.G., DeLong E.F. Methane-consuming archaeobacteria in marine sediments // *Nature*. – 1999. – Vol. 398. – 802–805.
3. Hu Y., Feng D., Liang Q., Xia Z., Chen L., Chen D. Impact of anaerobic oxidation of methane on the geochemical cycle of redox-sensitive elements at cold-seep sites of the northern South China Sea // *Deep-Sea Research II*. – 2015. – Vol. 122. – P. 84–94.
4. Scholz F., Hensen C., Noffke A., Rohde A., Liebetrau V., Wallmann K. Early diagenesis of redox-sensitive trace metals in the Peru upwelling area – response to ENSO-related oxygen fluctuations in the water column // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2011. – Vol. 75. – 7257–7276.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДОМАНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РАЗЛИЧНОЙ ЗРЕЛОСТИ

Морозова Е.В., Сиразиева Р.М., Минсафин А.Р.

Научный руководитель профессор Морозов В.П.

Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия

В последнее время нетрадиционные источники углеводородного сырья приобретают все большую значимость в топливно-энергетическом комплексе мира ввиду истощения традиционных запасов углеводородов. Изучение свойств, особенностей низкопроницаемых продуктивных толщ и вмещаемого органического вещества весьма важно при прогнозе ресурсной базы страны и при учете технологических особенностей добычи и переработки добываемого сырья. Одним из таких нетрадиционных источников нефти являются доманиковые отложения, широко распространенные на территории Восточно-Европейской платформы и представляющие собой карбонатно-кремнисто-глинистые породы, обогащенные органическим веществом [1]. Содержание органического углерода (ТОС, %) в доманиковых толщах обычно больше 5 % [4].

В данной работе приведена сравнительная характеристика органического вещества доманиковых отложений семилукского горизонта Южно-Татарского свода и Кутулукского месторождения, расположенного в Оренбургской