

О связи потока гидрокарбонатного углерода со дна долинного водохранилища с гидрологической структурой

ВОДНОЙ ТОЛЩИ*

Ломова Д. В.¹, Кременецкая Е. Р.¹, Гречушникова М. Г.^{1,2}, Ефимова Л.Е.², Ломов В. А.²

¹Институт водных проблем РАН, Москва, ул Губкина, 3, Россия, 119333

²МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, Географический факультет, 119991



*Работа выполнена в рамках темы АААА-А16-116032810054-3 Гидрологический режим водных объектов суши в условиях изменения климата и антропогенного воздействия (ГЗ), полевые работы поддержаны грантом РФФИ 18-05-01066.

Актуальность исследования

Круговорот углерода в водоемах – основополагающий процесс цикла биогенных элементов в водных экосистемах. Он включает в себя приток углерода с водосбора и из атмосферы, фотосинтез, перераспределение соединений углерода по пищевым цепям, детрито- и карбонатообразование, седиментацию и аккумуляцию на дне и выделение из донных отложений в воду, поток в атмосферу. Наименее изученным является выделение углерода из донных отложений (ДО).

Накопление ОВ в донных отложениях ДО вызвано осаждением содержащейся в водной толще органики. Увеличение потока ОВ на дно приводит к интенсификации процессов деструкции ОВ, а при наличии температурной стратификации в водоеме в гипolimнионе могут формироваться анаэробные условия, приводящие к развитию анаэробных процессов в ДО. Интенсивность деструкции не зависит от возраста водоема, который определяет продуктивность его экосистемы и запас ОВ в грунтах.

Объект исследования, материалы и методы

Исследования потоков гидрокарбонатного углерода ($F(\text{HCO}_3^-)$) проводились на Можайском водохранилище в период летней стратификации в 2017-2019 гг. Оно было создано в 1961 г., и в настоящий момент донный комплекс находится в устойчивом равновесии, по площади дна довольно однороден и не испытывает влияния коренных пород. Глубина по русловой ложбине увеличивается от верховьев к плотине от 5-7 до 20-22 м при НПУ, наблюдается температурная стратификация водной толщи на протяжении большей части летнего периода, свойственная глубоководным водохранилищам со слабым водообменом.

На опорных станциях, расположенных в характерных районах водохранилища (рис. 1), производились изменения температуры воды с шагом в 1 м, прозрачности воды по диску Секки, дночерпателем Экмана отбирался верхний слой грунта толщиной до 15 см для определения в нем содержания ОВ и гигроскопической влажности и колонки илов для постановки экспериментов по оценке выхода HCO_3^- .

Определение HCO_3^- в трубках проводилось по стандартной гидрохимической методике (ГОСТ 31957-2012). Содержание ОВ в грунте оценивалось по потерям веса при прокаливании, поскольку для поставленной задачи (сравнение содержания ОВ в донных отложениях одного водохранилища и оценки лабильности ОВ в ДО) это наиболее простой, удобный и экономичный метод. Гигроскопическая влажность ила определялась по разнице воздушно сухого и абсолютно сухого веса.

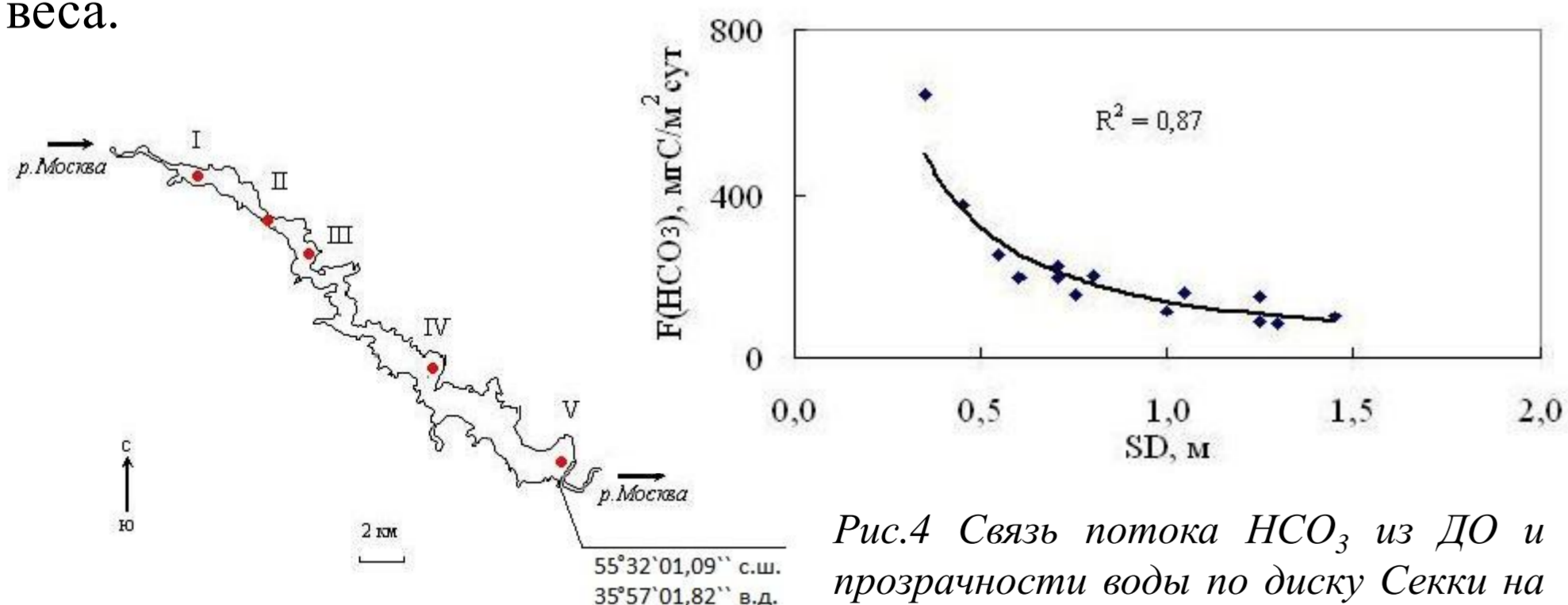


Рис.1 Схема Можайского водохранилища (римскими цифрами обозначены опорные станции отбора проб)

Рис.4 Связь потока HCO_3^- из ДО и прозрачности воды по диску Секки на русловых станциях Можайского водохранилища с глубинами менее 8 м.

Результаты исследований

Из-за сложной и изменчивой вертикальной гидрологической структуры водохранилища, в котором в разные моменты наблюдались от одного слоя температурного скачка (в холодную ветреную погоду) до 2-3 слоев с высокими градиентами температуры (в маловетреную антициклональную погоду) для анализа использовался осредненный по вертикали градиент температуры - dT/dz_{cp} . В периоды исследований dT/dz_{cp} в разных районах водохранилища изменялся от 0.23 до 1.38 °C/м, толщина однородного гипolimниона – от 0 до 12 м. Выход HCO_3^- из ДО составлял от 50 до 800 мгC/м²сут (рис. 2). Разброс значений потока HCO_3^- в различных районах водохранилища связан со скоростью поступления автохтонного лабильного ОВ. А интенсивность седиментации зависит от гидрологической структуры водной толщи (в мелководных верховьях устойчивая гидрологическая образуется существенно реже, чем в глубоководных центральном и приплотинном районах).

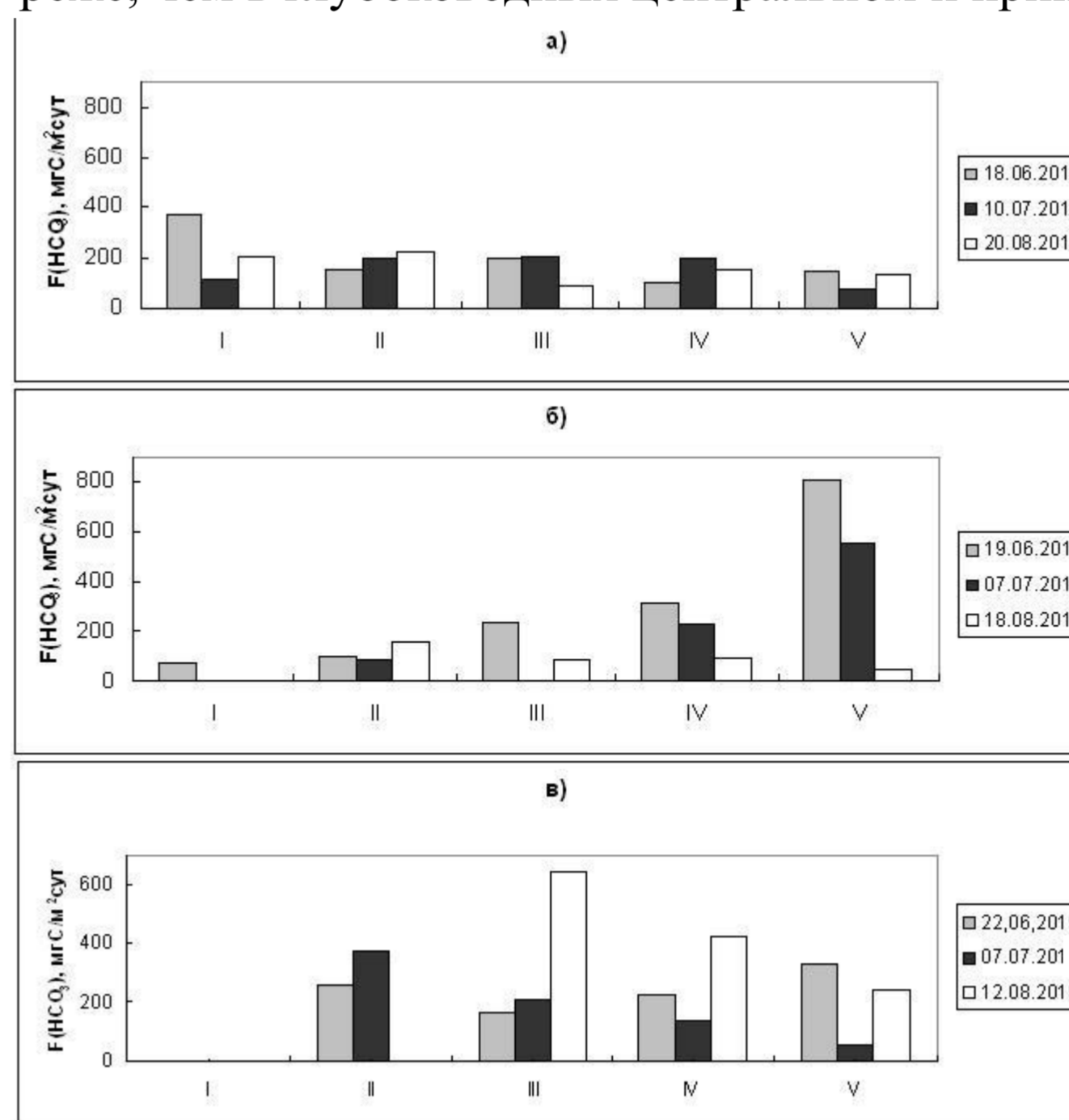


Рис. 2 Изменение величины потока гидрокарбонатного углерода из донных отложений Можайского водохранилища в 2017 (а), 2018 (б) и 2019 (в) гг

При усилении устойчивости в составе взвеси уменьшается доля минеральных частиц взмученных донных отложений и повышается доля автохтонной органики (в том числе и за счет развития сине-зеленых водорослей, обладающих плавучестью) и детрита, скорость оседания которых невелика. Седиментационный поток ОВ в водной толще состоит из вертикальной составляющей (осаждение взвеси, находящейся в воде) и квазигоризонтального придонного потока вещества, взмучиваемого сейшми и компенсационными течениями и направленное в русловую ложбину.

При наличии однородного гипolimниона в придонной области величина квазигоризонтального седиментационного потока в русловую ложбину достигает больших величин. Анализ изменения интенсивности $F(\text{HCO}_3^-)$ в зависимости от произведения толщины однородного гипolimниона ($H_{гип}$) и среднего вертикального градиента температур (dT/dz_{cp}) показал, что для станций с глубиной более 8 м прослеживается зависимость $F(\text{HCO}_3^-)$ от этого параметра (рис.3), т.е. поступление ОВ в донные отложения русловой ложбины в значительной мере связано с трансседиментацией. Сопоставление с ранее полученными по той же схеме данными для Можайского (в 2009-2011 гг), Истринского (2014 г.) и Озернинского (2015 г.) водохранилищ подтверждает эту зависимость. (рис. 3)

На неглубоких (менее 8 м) русловых станциях, расположенных в верховьях водохранилища, связь $F(\text{HCO}_3^-)$ с параметром $H_{гип} \cdot (dT/dz)_{cp}$ незначима (коэффициент корреляции составляет лишь 0.5), однако обнаруживается связь величины потока HCO_3^- из ДО с прозрачностью воды поверхностного слоя (SD) (рис. 4), которая снижается при развитии фитопланктона и увеличении его численности.

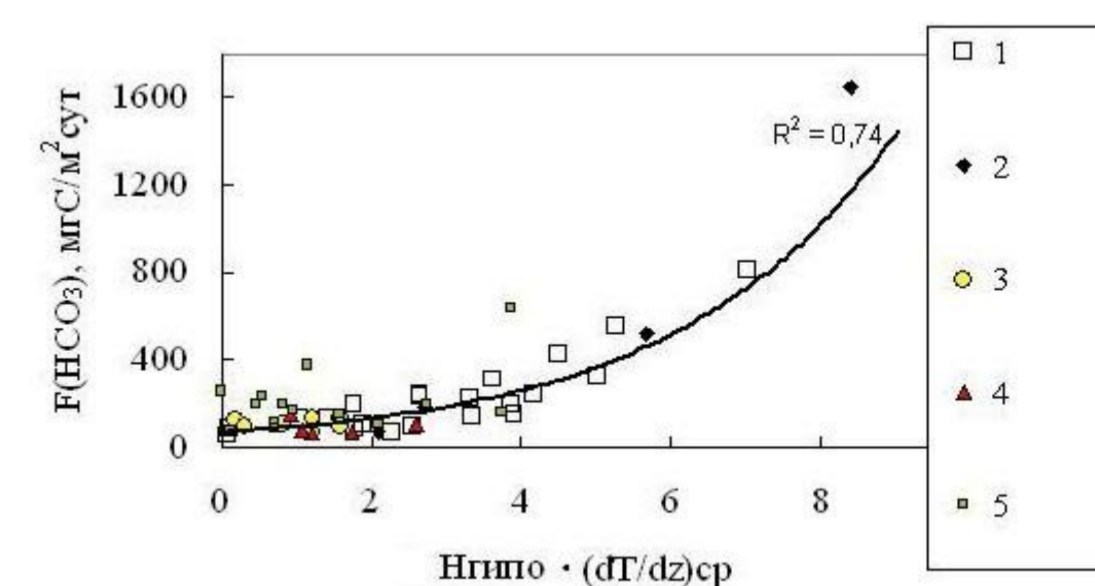


Рис. 3. Связь интенсивности $F(\text{HCO}_3^-)$ в илах русловой ложбины Можайского водохранилища с параметром $H_{гип} \cdot (dT/dz)_{cp}$ на станциях с глубинами >8 м в 2017-2019 гг. (1), в 2009-2011 гг. (2), Истринского (3) и Озернинского (4) водохранилищ и станциях Можайского водохранилища с глубинами менее 8 м (5).

Заключение

В водохранилище долинного типа интенсивность потока HCO_3^- из илов русловой ложбины в районах с глубинами более 8 м зависит от стратифицированности водной толщи и толщины однородного гипolimниона, т.е. изменение потока гидрокарбонатного углерода в значительной мере связано с трансседиментацией донных отложений пойменных участков и аккумуляцией их в русловой ложбине. В районах с глубинами менее 8 м интенсивность выхода гидрокарбонатного углерода, в первую очередь, зависит от наличия автохтонного ОВ, связанного с развитием и отмиранием фитопланктона.