

УДК 551.464 : 579.68 (282.243.7)

Ю.И. БОГАТОВА, А.Г. ТРОПИВСКАЯ

Институт морской биологии НАН Украины
ул. Пушкинская, 37, Одесса, 65011, Украина

СОЕДИНЕНИЯ ФОСФОРА И ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИЕ БАКТЕРИИ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВЗМОРЬЯ ДУНАЯ

Проанализирован характер распределения и изменчивость содержания минеральных и органических соединений фосфора, гетеротрофных и фосфатмобилизующих бактерий в придонном слое и донных отложениях взморья Дуная в 2014 г. Установленные корреляции между рассматриваемыми параметрами свидетельствуют о ведущей роли бактерий в переработке автохтонного и аллохтонного органического вещества и аккумуляции соединений фосфора в донных отложениях устьевой зоны взморья.

Ключевые слова: донные отложения, поровые растворы, фосфор, фосфатмобилизующие бактерии, взморье Дуная

В эвтрофных водных экосистемах, где происходит массовое развитие фитопланктона и «цветение» воды, донные отложения аккумулируют значительные количества отмершего автохтонного органического вещества (ОВ). В устьевых областях рек накопление ОВ в донных отложениях усиливается, т.к. здесь происходит разгрузка взвешенных и адсорбированных на взвеси растворенных веществ речного стока и аллохтонного ОВ. Деструкция аллохтонного и автохтонного ОВ в донных отложениях до соединений углерода, азота, фосфора и ее скорость зависят от абиотических (температура, содержание кислорода) и биотических (жизнедеятельность микро- и макроорганизмов) факторов среды. В водных экосистемах бактериям, образующим отдельный трофический уровень, принадлежит ключевая роль в круговороте вещества и потока энергии. Так, фосфатмобилизующие бактерии (ФМБ), которых условно делят на фосфатрастворяющие (ФР) и фосфатминерализующие (ФМ), мобилизуют труднорастворимые неорганические и органические фосфорные соединения до ортофосфатов (PO_4^{3-}), легко усваиваемых другими организмами [2–4].

Известно, что на взморье Дуная, донные отложения и их поровые растворы (вода в интерстициальных пространствах грунта) за счет ионного обмена и диффузии на геохимическом барьере «вода – дно» представляют собой существенный резерв для биологической продуктивности, служат источником вторичного эвтрофирования [1]. В этой связи выявление корреляций между содержанием соединений фосфора в поровых растворах и численностью гетеротрофных и фосфатмобилизующих бактерий в донных отложениях на взморье является весьма актуальным. Следует отметить, что в водных экосистемах роль ФМБ малоизучена, а на Черном море их роль в трансформации ОВ и круговороте соединений фосфора не рассматривалась.

Материал и методы исследований

Для анализа содержания минеральных ($\text{P}_{\text{МИН}}$) и органических ($\text{P}_{\text{ОРГ}}$) соединений фосфора, численности бактерий использовали данные, полученные авторами в ходе проведения мониторинга украинской части взморья Дуная в сентябре и ноябре 2014 г. Пробы воды и донных отложений отбирали по стандартной сетке станций на полигоне площадью 210 км². Изобата 20 м, ограничивающая район исследований с востока, располагается на расстоянии 8 км от береговой черты. Воду в поверхностном и придонном слоях отбирали батометром типа Нискин, донные отложения – дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0,1 м². Для анализа донных отложений отбирали верхний (до 10 см) слой осадка. Поровый раствор получали вакуумной фильтрацией донных отложений через двойной фильтр «синяя лента». В воде и полученных поровых растворах стандартными методами [5] определяли $\text{P}_{\text{МИН}}$ и $\text{P}_{\text{ОРГ}}$. В воде численность гетеротрофных сапротрофных бактерий определяли на морском агаре Горбенко [2], численность ФР бактерий – по образованию зон растворения $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ после посева на

среду Муромцева [4], а ФМ бактерий – на среду Менкиной [3]. Для определения бактерий в донных отложениях готовили болтушку из 1 г донного отложения в 100 мл стерильного физиологического раствора. Посевы инкубировали при температуре 28 °С в течение 3–5 сут. Обработано 22 пробы придонной воды и 22 пробы донных отложений, которые были представлены серыми и черными илами, заиленными песками и песками с примесью ракуши.

Полученные данные обрабатывали в программе STATISTICA 6, достоверность различий оценивали по коэффициенту Стьюдента при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ полученных данных о содержании соединений фосфора и численности бактерий в придонном слое воды, донных отложениях и поровых растворах показал значительную сезонную и пространственную изменчивость. Было установлено, что численности сапротрофных, ФР и ФМ бактерий в донных отложениях, как и содержание соединений фосфора в поровых растворах в несколько раз превышают значения в придонном слое воды (рис. 1). В сентябре, когда на взорье отмечали развитие продукционных процессов, в поровых растворах соединения фосфора были представлены, в основном, $P_{ОРГ}$, а при усилении деструкционных процессов в ноябре – $P_{МИН}$. В этот период численность сапротрофных и ФМ бактерий в донных отложениях почти в 2 раза превышала численность в придонном слое воды, что связано с накоплением отмершего ОВ в донных отложениях. В ноябре при замедлении продукционных процессов отмечено снижение численности бактерий в придонном слое и в донных отложениях, по сравнению с сентябрем.

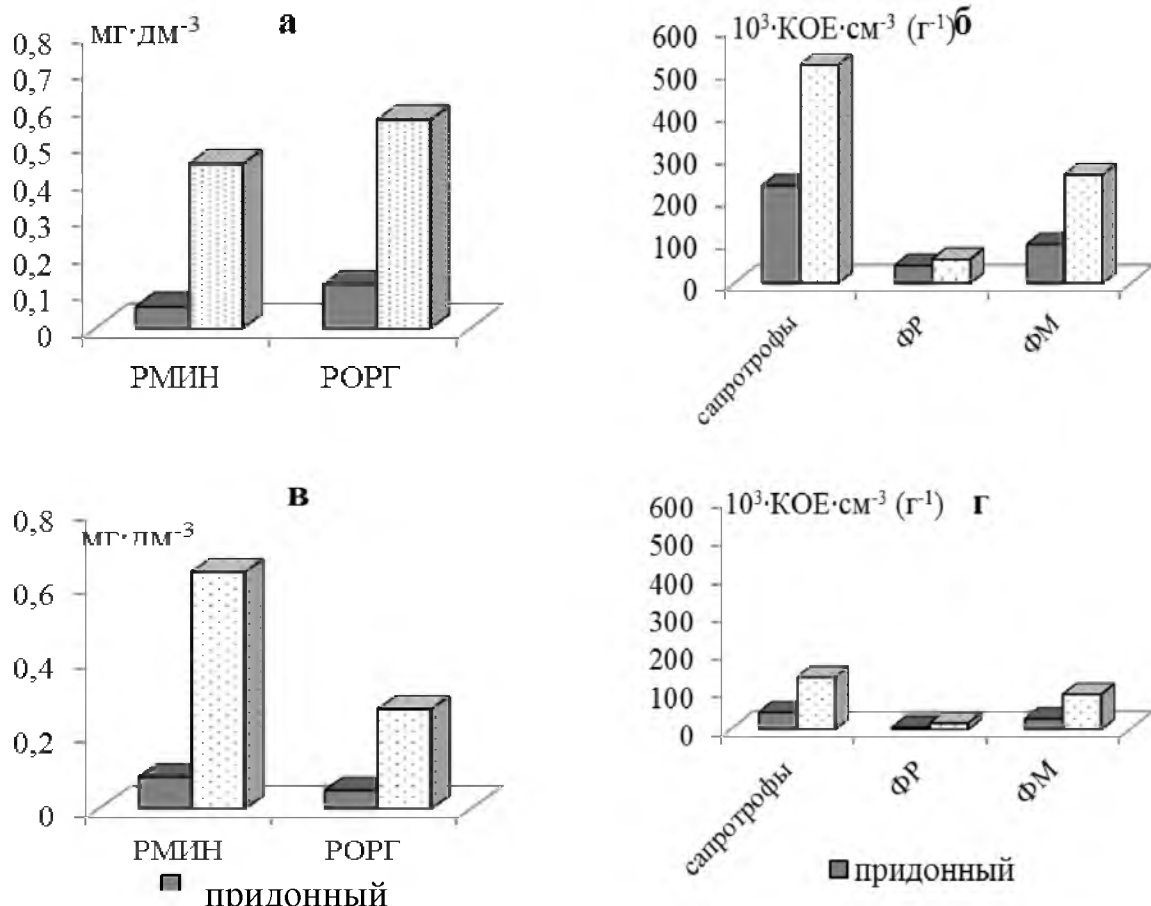


Рис. 1. Распределение соединений фосфора (в придонном слое и поровых растворах донных отложений) и бактерий (в придонном слое и донных отложениях) взорья Дуная в сентябре (а, б) и ноябре (в, г) 2014 г.

Значимые корреляции численности бактерий и содержания соединений фосфора отмечали только в сентябре 2014 г. Положительные корреляции зафиксированы для $P_{ОРГ}$ с

сапротрофними, ФМ и ФР бактериями в придонном слое ($r = 0,69$; $r = 0,73$; $r = 0,72$) и в донных отложениях ($r = 0,70$; $r = 0,72$; $r = 0,73$). Отрицательные корреляции отмечали только в донных отложениях – $P_{\text{МИН}}$ с сапротрофными и ФМ бактериями ($r = -0,54$; $r = -0,57$). Эти данные полностью согласуются с представлениями о роли ФМБ в переработке детрита и мобилизации труднорастворимых минеральных и органических соединений в доступную автотрофам форму фосфора – ортофосфат.

Отмечена общая тенденция снижения содержания $P_{\text{МИН}}$ и $P_{\text{ОРГ}}$ в несколько раз (рис. 2 а, в) и количества бактерий на порядок величин (рис. 2б, г) в придонном слое воды, донных отложениях и в поровых растворах с ростом глубин. Возможно, это связано с значительным поступлением аллохтонного ОВ с речным стоком и его аккумуляцией в устьевой зоне взморья с глубинами < 10 м, где происходит разгрузка твердого и биогенного стока Дуная.

В сентябре основной формой фосфора в поровых растворах донных отложений устьевого взморья был $P_{\text{ОРГ}}$, что объясняется активной деструкцией аккумулировавшегося здесь в донных отложениях ОВ сапротрофными и ФМ бактериями при высокой температуре воды (23 °С). В ноябре основной формой фосфора в поровых растворах этой же зоны был $P_{\text{МИН}}$, что связано с последней стадией деструкции ОВ.

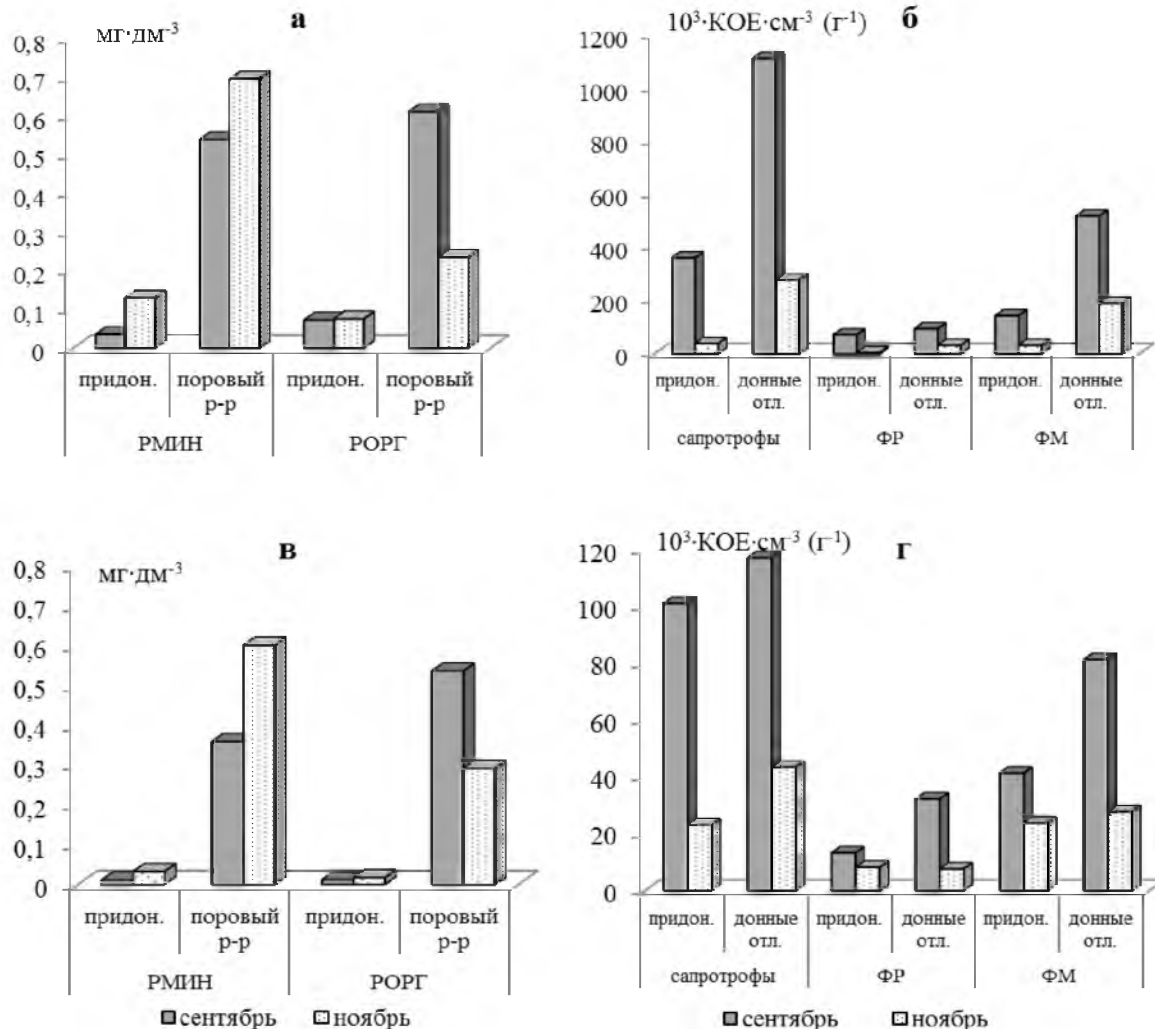


Рис. 2. Распределение соединений фосфора и бактерий в придонном слое воды, донных отложениях и поровых растворах на различных глубинах (а, б – < 10 м; в, г – 10–25 м) взморья Дуная в сентябре и ноябре 2014 г.

Для района взморья с глубинами 10–25 м эта тенденция повторяется, но содержание $P_{\text{ОРГ}}$, $P_{\text{МИН}}$ и численность бактерий были значительно ниже (рис. 2).

Выводы

Таким образом, донные отложения и поровые растворы донных отложений взморья содержат в несколько раз больше соединений фосфора и бактерий, чем придонный слой воды, что связано как с гидрологическими условиями района, так и с сезонным развитием продукционно-деструкционных процессов в водной толще.

Анализ полученных данных о численности сапротрофных и фосфатмобилизирующих бактерий в донных отложениях и содержании соединений фосфора в поровых растворах, а также корреляций между этими показателями позволяет сделать вывод об аккумуляции соединения фосфора в устьевой зоне взморья. Это связано с накоплением автохтонного и аллохтонного ОВ в зоне смешения речных и морских вод, где происходит разгрузка твердого и биогенного стока Дуная.

1. Богатова Ю. И. Гидрохимический режим украинского участка взморья Дуная / Ю. И. Богатова // Водные ресурсы. – Т. 40, № 3. – 2013. – С. 295–305.
2. Горбенко Ю. А. Экология морских организмов перифитона / Ю. А. Горбенко. – К.: Наукова думка, 1977. – 252 с.
3. Менкина Р. А. Бактерии, минерализующие органические соединения фосфора / Р. А. Менкина // Микробиология. – 1950. – Т. 19, № 4. – С. 308–315.
4. Муромцев Г. С. К вопросу об использовании водонерастворимых фосфатов почвенными микробами / Г. С. Муромцев // Доклады ВАСХНИЛ. – 1955. – Вып. 5. – С. 35–41.
5. Руководство по химическому анализу морских вод РД 52.10.243–92. – С.-Пб: Гидрометеоздат, 1993. – 263 с.

Ю.І. Богатова, Г.Г. Тропівська

Інститут морської біології НАН України, Одеса

СПОЛУКИ ФОСФОРУ І ФОСФАТМОБІЛІЗУВАЛЬНІ БАКТЕРІЇ У ДОННИХ ВІДКЛАДЕННЯХ УЗМОР'Я ДУНАЮ

Проаналізовано характер розподілу і мінливість вмісту мінеральних і органічних сполук фосфору, гетеротрофних і фосфатмобілізувальних бактерій у придонному шарі і донних відкладеннях узмор'я Дунаю в 2014 р. Встановлені кореляції між розглянутими параметрами свідчать про провідну роль бактерій у переробці автохтонної та алохтонної органічної речовини і акумуляції сполук фосфору в донних відкладеннях гирлової зони моря.

Ключові слова: донні відкладення, порові розчини, фосфор, фосфатмобілізувальні бактерії, узмор'я Дунаю

Yu.I. Bogatova, A.G. Tropivskaya

Institute of Marine of Biology of NAS of Ukraine, Odesa

PHOSPHORUS COMPOUNDS AND PHOSPHATE-MOBILIZING BACTERIA IN THE SEDIMENTS OF THE DANUBE COASTAL ZONE

The nature of the distribution and variability of mineral and organic phosphorus compounds, heterotrophic and phosphate-mobilizing bacteria have been analyzed in the bottom layer and sediments of the Danube coastal zone in 2014. Correlations between these parameters indicate the leading role of bacteria in the processing of autochthonous and allochthonous organic matter and accumulation of phosphorus compounds in sediments of near shore zone.

Keywords: sediments, sediment pore waters, phosphorus, phosphate-mobilizing bacteria, Danube coastal zone