

УДК 579.26:579.222.4

А. Г. Тропивская¹, ведущий инженер

Ю. И. Богатова¹, к.геогр.н., старший научный сотрудник

И. К. Курдиш², д.б.н., зав. отделом

¹Одесский филиал Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского
НАН Украины, ул. Пушкинская, 37, Одесса, 65011, Украина,
e-mail: anna.pavlova99@gmail.com

²Институт микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного НАН Украины,
ул. Ак. Заболотного, 154, Киев, Д03680, Украина

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИХ БАКТЕРИЙ И СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА НА ВЗМОРЬЕ ДУНАЯ

В 2010–2012 гг. на взморье Дуная проанализирован характер распределения и изменчивость содержания соединений фосфора, а также гетеротрофных и фосфатмобилизующих бактерий. Выявлены корреляционные взаимосвязи между количеством бактерий, содержанием соединений фосфора, насыщением воды кислородом. Отмечена ведущая роль «микробиальной петли» в биологическом круговороте фосфора в экосистеме взморья.

Ключевые слова: фосфатмобилизующие бактерии, «микробиальная петля», соединения фосфора, абиотические параметры, взморье Дуная.

Фосфор, как биогенный элемент, имеет большое значение в формировании продуктивности водных экосистем, а его недостаточное количество может лимитировать процесс создания первичной продукции. Соединения растворенного минерального в виде ортофосфата ($P_{\text{МИН}}$) и органического фосфора ($P_{\text{ОРГ}}$) проходят через все звенья пищевой цепи (фито- и зоопланктон, рыбы), образуются гидробионтами в процессе прижизненного выделения, отмирания и их последующего разложения. В водных экосистемах происходит постоянный круговорот фосфора из органической формы в минеральную, и наоборот. Скорость рециклинга зависит от соотношения интенсивности процессов фотосинтеза и биохимического окисления органического вещества [3, 4].

Микробиальному сообществу в водных экосистемах, которое образует отдельный трофический уровень (т. н. «микробиальная петля»), принадлежит ключевая роль в рециклинге фосфора [2]. Хорошо изучена группа бактерий, способных мобилизовать фосфат из труднорастворимых форм и делать его доступным для усвоения другими организмами [5, 6, 8–10, 18]. Эти фосфатмобилизующие бактерии широко распространены в разных типах почв и в настоящее время активно используются в сельском хозяйстве. Роль фосфатмобилизующих бактерий в водных экосистемах изучена недостаточно. В основном, эти исследования проводились в лабораторных условиях *in vitro* [18], и

только недавно появились работы, где связь количественных показателей бактериопланктона и абиотических параметров среды изучалась в естественных условиях [16, 19]. На взморье Дуная, несмотря на многочисленные исследования качественных и количественных характеристик бактериопланктона [12–14], роль фосфатмобилизующих бактерий в трансформации и круговороте соединений фосфора не рассматривалась.

Цель работы – оценить характер распределения гетеротрофных и фосфатмобилизующих бактерий на взморье Дуная, провести сравнительный и корреляционный анализ изменчивости взаимосвязей количественных показателей гетеротрофных и фосфатмобилизующих бактерий с содержанием соединений фосфора и другими абиотическими параметрами среды.

Материалы и методы исследования

В работе использованы результаты исследований бактериопланктона и гидрохимического режима взморья Дуная, проводившихся в 2010–2012 гг. Пробы воды отбирались в поверхностном и придонном слоях батометром Молчанова, по стандартной схеме станций (рис. 1). Всего обработано 88 гидрохимических и микробиологических проб.

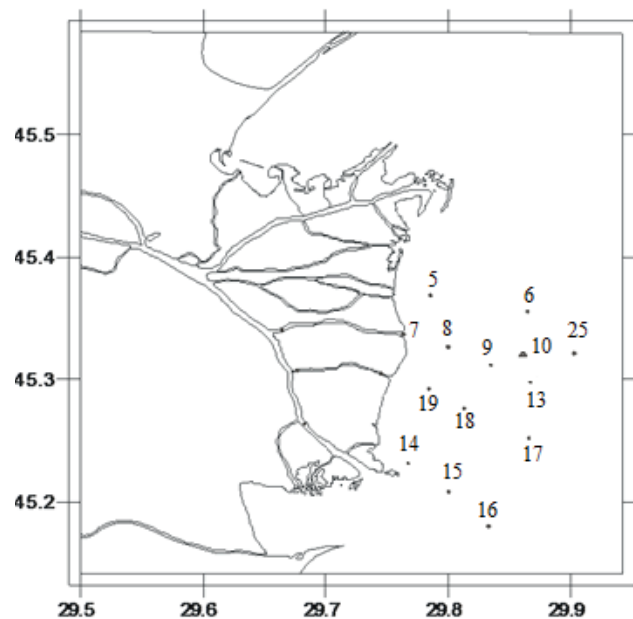


Рис. 1. Схема станций мониторинга на взморье Дуная в 2010–2012 гг.

Определение численности бактерий, мобилизующих фосфат из трудно-растворимых соединений фосфора, определяли по образованию зон растворения ортофосфата кальция после посева проб воды на селективную питательную

среду Муромцева [6]. Количество гетеротрофных микроорганизмов определяли по общей численности колоний на чашках Петри на той же среде [7]. Численность бактерий, способных минерализовать органические соединения фосфора, определяли на агаризованной среде Менкиной [8]. Посевы инкубировали при температуре 28 °С в течение 3–5 сут.

При изучении гидролого-гидрохимического режима взморья определяли: температуру и соленость воды, насыщение воды кислородом (%), содержание растворенного ортофосфата ($P_{\text{МИН}}$), органических форм фосфора ($P_{\text{ОРГ}}$) и их сумму – валовый фосфор ($P_{\text{ВАЛ}}$). Все гидрохимические определения проводили стандартными, принятыми в международной практике методами [11].

Статистическую обработку полученных данных проводили в пакете MS Office – Microsoft Excel.

Результаты исследования

Украинский участок взморья Дуная охватывал район от края Килийской дельты до границы морских вод с соленостью около 17 ‰. Это зона постоянного взаимодействия речных и морских вод. Для взморья Дуная характерна широкая вариабельность и мозаичность в распределении гидрохимических и биологических параметров. Это связано как с сезонной изменчивостью поступления стока Дуная – основного источника минеральных и органических соединений на взморье, так и с сезонным развитием продукционно-деструкционных процессов, в которых бактериям отведена ключевая роль в переработке аллохтонного и автохтонного органического вещества (ОВ).

Следует отметить, что для взморья большую часть года характерна двухслойная структура вод, связанная с плотностной стратификацией водных масс. По характеру распределения солености в поверхностном слое выделяются три зоны, которые отличаются по уровню развития продукционно-деструкционных процессов [3, 4]. Первая зона – фронтальная, с соленостью < 8 ‰, которую называют геохимическим барьером «река-море». Здесь за счет флокуляции и интенсивного осаждения органических и минеральных веществ происходит основная разгрузка твердого и биогенного стока Дуная. Зона характеризуется максимальными концентрациями соединений фосфора, однако развитие продукционных процессов здесь затруднено, т.к. соленость 5–8 ‰ является критической для их существования. Вторая зона – гидрофронтальная, с соленостью 10–12 ‰, занимает, как правило, небольшой участок взморья и характеризуется максимальными горизонтальными градиентами солености. Третья зона – заключительная, с соленостью 12–17 ‰, где в теплый период года активно развиваются продукционные процессы. В этой зоне уровень соединений фосфора за счет биоассимиляции, биоаккумуляции и биофильтрации снижается и поддерживается благодаря микробной деструкции автохтонного живого и мертвого ОВ [3].

Анализ средних значений гидрохимических параметров за 2010–2012 гг. показал, что на взморье сохранялась двухслойная термохалинная структура вод. Поверхностный слой во все сезоны занимали трансформированные пресные воды с соленостью 8,3–13,1 ‰, придонный – более плотные водные массы с соленостью 13,2–16,0 ‰ (табл. 1). Средний уровень $P_{\text{мин}}$ и $P_{\text{орг}}$ в поверхностном слое был выше, чем в придонном, что связано с постоянным поступлением этих соединений со стоком Дуная (табл. 1).

Таблица 1

Изменчивость средних значений некоторых гидролого-гидрохимических параметров на взморье Дуная в 2010–2012 гг.

Дата	Слой	T, °C	S, ‰	O ₂ , % насыщ.	P _{мин} , мг·дм ⁻³	P _{орг} , мг·дм ⁻³	P _{вал.} , мг·дм ⁻³
12.2010	поверхностный	11,2	8,25	94,2	0,102	0,057	0,159
	придонный	11,8	13,15	88,7	0,075	0,041	0,116
06.2011	поверхностный	18,5	8,41	102,9	0,051	0,021	0,071
	придонный	13,7	15,21	85,3	0,041	0,035	0,076
10.2011	поверхностный	17,8	13,07	104,1	0,043	0,088	0,132
	придонный	17,8	16,01	99,8	0,037	0,035	0,072
11.2012	поверхностный	14,6	9,83	93,8	0,138	0,105	0,243
	придонный	16,4	15,26	80,7	0,095	0,085	0,179

Анализ численности гетеротрофных и фосфатмобилизующих бактерий в этот же период показал их значительную вариабельность (табл. 2). Их средние значения в поверхностном слое были выше, чем в придонном. Количество бактерий, мобилизующих фосфат из труднорастворимых соединений, составляло 29–78 % от численности гетеротрофных бактерий в поверхностном слое и 44–85 % – в придонном. Численность бактерий, минерализующих органические соединения фосфора, в поверхностном слое была также выше, чем в придонном (табл. 2).

По мере удаления от края дельты содержание соединений фосфора в поверхностном слое снижалось от фронтальной к заключительной зоне, а численность бактерий, как правило, возрастала (рис. 2). Только летом 2011 г. из-за высокой динамичности вод района количество гетеротрофных бактерий в промежуточной, гидрофронтальной, зоне в 2,6 раза превышало их содержание в заключительной. С ростом глубин в придонном слое взморья отмечено закономерное снижение содержания соединений фосфора и равномерное по численности распределение бактерий (рис. 3). Лишь летом 2011 г. отмечали повышение численности бактерий на глубине > 20 м, а осенью 2011 г., наоборот, снижение количества бактерий на глубине > 10 м (рис. 3).

Таблиця 2

**Диапазон и средние значения численности некоторых групп бактерий на
взморье Дуная в 2010–2012 гг.**

Дата	Слой	А	В	С, %	Д
		10 ³ КОЕ·см ⁻³			10 ³ КОЕ·см ⁻³
12.2010	поверхностный	$\frac{9,9-225}{118,5}$	$\frac{5,6-182,5}{90,6}$	76,4	$\frac{8,8-200}{101,9}$
	придонный	$\frac{9,1-175}{89,5}$	$\frac{7,3-135}{70,2}$	78,5	$\frac{9,0-155}{71,4}$
06.2011	поверхностный	$\frac{0,2-50}{13,7}$	$\frac{0,2-20}{3,9}$	28,5	$\frac{0,05-20}{6,2}$
	придонный	$\frac{0,05-3,5}{1,0}$	$\frac{0,04-3,0}{0,8}$	84,5	$\frac{0,01-3,0}{0,6}$
10.2011	поверхностный	$\frac{6,5-350}{86,8}$	$\frac{5,5-250}{67,6}$	77,9	$\frac{0,5-75}{21,0}$
	придонный	$\frac{0-65}{12,0}$	$\frac{0-55}{7,4}$	61,6	$\frac{0-2,8}{0,3}$
11.2012	поверхностный	$\frac{0,4-24}{5,9}$	$\frac{0,2-10}{2,8}$	46,8	$\frac{0,4-22}{5,2}$
	придонный	$\frac{0,2-1,6}{0,6}$	$\frac{0,05-0,7}{0,3}$	44,1	$\frac{0,15-1,5}{0,55}$

Примечание: А – гетеротрофные бактерии; В – бактерии, мобилизующие фосфат из трудно-растворимых неорганических соединений; С – процент бактерий, мобилизующих фосфат из труднорастворимых неорганических соединений от общего количества гетеротрофных бактерий; Д – бактерии, минерализующие органические соединения фосфора

Линейный корреляционный анализ средних значений численности фосфат-мобилизующих бактерий и содержания соединений фосфора показал наличие связей с высоким уровнем значимости (табл. 3). Положительные корреляционные связи отмечали между численностью бактерий, минерализующих органические соединения фосфора и уровнем Р_{мин} (июнь 2011 г.), а для гетеротрофных микроорганизмов и бактерий, способных мобилизовать фосфат из труднорастворимых неорганических соединений, с содержанием всех форм фосфора (2011 г.).

Отрицательные корреляционные зависимости отмечали только в придонном слое взморья в ноябре в 2012 г. между средними значениями численности фосфатмобилизующих бактерий и содержанием соединений фосфора (табл. 3).

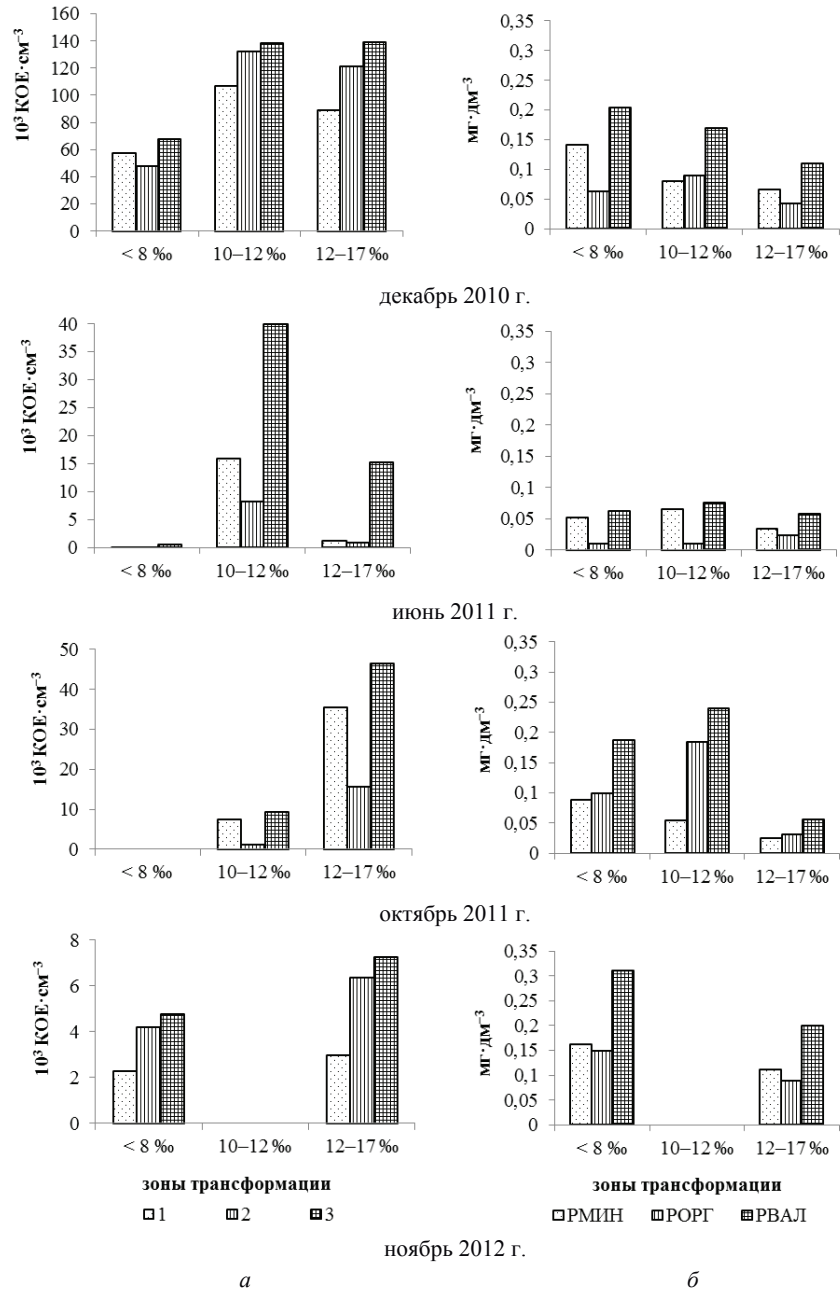


Рис. 2. Количество бактерий (а, $10^3 \text{ КОЕ} \cdot \text{см}^{-3}$:
 1 – мобилизующих фосфат из труднорастворимых неорганических соединений,
 2 – минерализующих органические соединения фосфора, 3 – гетеротрофных) и содержание
 соединений фосфора (б, $\text{мг} \cdot \text{дм}^{-3}$) в зонах трансформации на взморье Дуная в 2010–2012 гг.

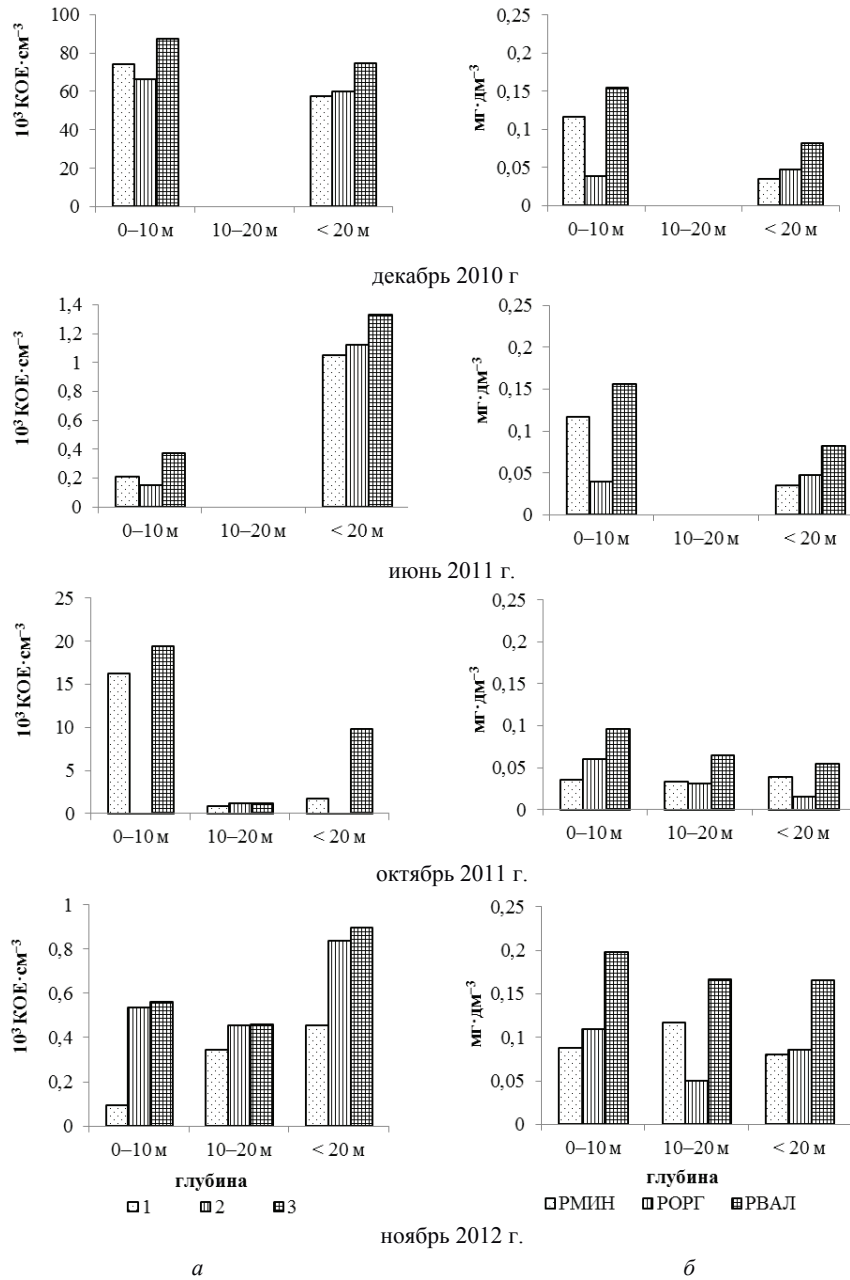


Рис. 3. Количество бактерий (а, 10^3 КОЕ·см⁻³:
 1 – мобилизующих фосфат из труднорастворимых неорганических соединений,
 2 – минерализующих органические соединения фосфора, 3 – гетеротрофных) и содержание
 соединений фосфора (б, мг·дм⁻³) в придонном слое взморья Дуная в 2010–2012 гг.

Такие абиотические параметры среды как соленость и насыщение воды кислородом коррелировали с численностью гетеротрофных и фосфатмобилизующих бактерий, однако, с температурой воды корреляционных зависимостей не отмечено (табл. 3).

Таблица 3

Корреляция гидролого-гидрохимических параметров с количественными показателями некоторых групп бактерий на взморье Дуная в 2010–2012 гг.

Дата	Слой	Параметры	Коэффициент корреляции		
			А	В	С
12.2010	поверхностный (n=11)	O ₂ , % насыщ.	0,578*	—	0,582*
	придонный (n=11)	O ₂ , % насыщ.	0,628**	0,534*	—
06.2011	поверхностный (n=11)	S, ‰	—	—	-0,560*
		O ₂ , % насыщ.	—	—	-0,601*
		P _{МИН}	—	—	0,606*
	придонный (n=11)	P _{МИН}	—	—	0,537*
		P _{ОРГ}	—	0,737*	0,515*
		P _{ВАЛ}	0,814**	0,856**	0,669**
10.2011	поверхностный (n=10)	S	-0,813***	-0,758***	-0,719***
		O ₂ , % насыщ.	-0,894****	-0,876	-0,916****
		P _{МИН}	0,664**	0,655**	—
	придонный (n=10)	P _{ОРГ}	0,758***	0,917****	—
		P _{ВАЛ}	0,709**	0,861****	—
11.2012	придонный (n=10)	P _{МИН}	—	—	-0,602**
		P _{ВАЛ}	—	-0,648**	—

Примечание: А – гетеротрофные бактерии; В – бактерии, мобилизующие фосфат из труднорастворимых неорганических соединений; С – бактерий, минерализующие органические соединения фосфора; n – количество станций; * – уровень значимости p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01; ****p<0,001

Для зон трансформации дунайской воды на взморье отмечены положительные корреляционные связи между средними значениями численности бактерий и содержанием соединений фосфора во фронтальной и в заключительной зонах, а также корреляционные связи различной направленности с соленостью воды и насыщением ее кислородом (табл. 4).

Таблиця 4

Корреляция гидролого-гидрохимических параметров с количественными показателями некоторых групп бактерий в зонах трансформации дунайской воды на взморье в 2010–2012 гг.

Дата	Зона	Параметры	Коэффициент корреляции		
			А	В	С
12.2010	фронтальная (n=4)	O ₂ , % насыщ.	0,954**	0,979**	0,969**
		P _{ОРГ}	0,993***	0,989***	0,978**
06.2011	фронтальная (n=4)	S	—	—	-0,983***
		O ₂ , % насыщ.	—	—	-0,941**
		P _{МИН}	—	—	0,891*
10.2011	заключительная (n=7)	P _{ОРГ}	0,845***	0,731**	—

Примечание: А – гетеротрофные бактерии; В – бактерии, мобилизующие фосфат из труднорастворимых неорганических соединений; С – бактерий, минерализующие органические соединения фосфора; n – количество станций; * – уровень значимости p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01; ****p<0,001

Для придонного слоя взморья отмечена положительная корреляционная связь численности бактерий и P_{ОРГ} и P_{ВАЛ} по мере возрастания глубин (табл. 5).

Таблиця 5

Корреляция гидролого-гидрохимических параметров с количественными показателями некоторых групп бактерий в придонном слое взморья Дуная в 2010–2012 гг.

Дата	Глубина, м	Параметры	Коэффициент корреляции		
			А	В	С
06.2011	> 20м (n=7)	P _{ВАЛ}	—	0,924*	0,734**
10.2011	0–10 м (n=4)	P _{ОРГ}	0,992***	0,994***	—
		P _{ВАЛ}	0,977**	0,979**	—
	> 20м (n=5)	S	-0,920**	—	—
		O ₂ , % насыщ.	—	0,832*	—
11.2012	0–10 м (n=4)	S	-0,988***	-0,955**	-0,954**
		P _{ОРГ}	—	-0,954**	0,956**
		P _{ВАЛ}	0,982***	-0,970**	0,969**

Примечание: А – гетеротрофные бактерии; В – бактерии, мобилизующие фосфат из труднорастворимых неорганических соединений; С – бактерий, минерализующие органические соединения фосфора; n – количество станций; * – уровень значимости p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01; ****p<0,001

Отрицательные корреляционные связи были зафиксированы для средних значений численности бактерий, мобилизующих фосфат из труднорастворимых неорганических соединений и $P_{\text{ОРГ}}$ и $P_{\text{ВАЛ}}$ на глубине 0–10 м в ноябре 2012 г. Абиотические параметры среды (соленость, % насыщения воды кислородом) придонного слоя взморья также коррелировали с количественными показателями бактерий (табл. 5).

Обсуждение результатов

Рассматривая корреляционные зависимости численности фосфатмобилизующих бактерий и содержания соединений фосфора на взморье Дуная, следует отметить, что для этого участка северо-западного шельфа Черного моря характерно нарушение баланса основных биогенных элементов азота и фосфора. Экосистема взморья испытывает недостаток биодоступных соединений фосфора, что связано с избыточным поступлением с водосборного бассейна Дуная соединений азота [3]. В связи с этим роль фосфатмобилизующих бактерий в поддержании баланса соединений фосфора в экосистеме становится особо значимой.

Высокая численность бактерий в поверхностном слое, по сравнению с придонным, объясняется трансформацией на взморье распресненных водных масс, обогащенных ОВ и их взаимодействием с водами морского генезиса. В зонах трансформации минимум численности бактерий отмечался в фронтальной зоне, максимум – в гидрофронтальной. В гидрофронтальной зоне вследствие резкого изменения солености происходит отмирание пресноводных и морских организмов, а большое скопление детрита в районе гидрофронта является важнейшей предпосылкой для массового развития микроорганизмов [14]. Высокая численность бактерий в заключительной зоне, вероятно, связана со стабильными, благоприятными условиями среды и объясняется экотонным эффектом [1].

Численность бактерий в придонном слое взморья Дуная на всех исследованных глубинах во все сезоны года была, в основном, равномерной.

Отсутствие связи между температурой воды и количеством бактерий летом и осенью можно расценивать как индифферентное отношение морских микроорганизмов к колебаниям температуры в пределах 12–24 °С, в то время как низкие температуры угнетают развитие микробиоты, замедляют темпы их размножения [14].

Отрицательные коэффициенты корреляции численности бактерий и солености воды в поверхностном слое фронтальной зоны (< 8 ‰) в летний и осенний период связаны с осмотической адаптацией пресноводных микроорганизмов в зоне смешения речных и морских вод. Этот вывод согласуется с утверждением А. В. Цыбань [14] о стохастической связи между численностью бактерий и соленостью воды. Соленость воды не влияет на численный состав гетеротрофных микроорганизмов, она лишь указывает на распространение речных вод,

обогащенных ОВ. Отсутствие обратной связи между соленостью воды в заключительной зоне трансформации на взморье и количеством бактерий в различные периоды года связано с адаптацией морских бактерий к колебаниям солености в диапазоне 12–17 ‰.

Выявленные отрицательные коэффициенты корреляции между численностью бактерий и процентом насыщения кислородом в летний и осенний период говорят об активной микробной деградации ОВ. Это связано с тем, что бактериальный метаболизм активно влияет на содержание кислорода в водной толще, т.к. микробная деградация мертвого взвешенного ОВ – первичный потребитель кислорода. В холодный период года, при замедлении процессов деструкции, отмечаются положительные корреляционные взаимосвязи, либо их отсутствие.

Преимущественно положительные корреляционные взаимосвязи установлены между численностью бактерий и содержанием всех форм фосфора. Это связано с тем, что процессы биологического превращения $P_{\text{МИН}}$ в $P_{\text{ОРГ}}$ и наоборот взаимосвязаны и происходят на всех уровнях трофической сети, в которых микробному сообществу («микробная петля») отводится основная роль. Морские бактерии и фитопланктон поглощают фосфор из раствора в форме ортофосфата ($P_{\text{МИН}}$), который затем ассимилируется фитопланктоном и превращается в органические соединения фосфора. Большая часть органического фосфора, поглощенного зоопланктоном, экскретируется в виде минерального и органического фосфора. Еще одним источником поступления этих соединений является лизис клеток фитопланктона. Гетеротрофные бактерии способны к гидролитическим превращениям органического фосфора и переводу его обратно в неорганическую форму. Эти трансформации происходят во всей водной толще [2, 17].

Положительные корреляционные взаимосвязи установлены между концентрацией $P_{\text{МИН}}$ и численностью фосфатмобилизующих бактерий, а в отдельных случаях и для гетеротрофных бактерий, в поверхностном слое взморья. Такая взаимосвязь объясняется способностью гетеротрофных бактерий в условиях лимитирования ортофосфата мобилизовать фосфор из труднорастворимых неорганических и органических соединений.

Положительная связь между бактериями и $P_{\text{ОРГ}}$ и $P_{\text{ВАЛ}}$ установлена для придонного слоя взморья. Это связано с превалированием процессов деструкции автохтонного и аллохтонного ОВ на дне.

Отрицательные коэффициенты корреляции между численностью бактерий и $P_{\text{МИН}}$ и $P_{\text{ВАЛ}}$ отмечены ($p < 0,05$) только для придонного слоя в ноябре 2012 г. Возможно, это обусловлено полной утилизацией соединений фосфора бактериями и его накоплением в клетках.

Таким образом, фосфатмобилизующие бактерии как растворяющие труднорастворимые соединения фосфора и минерализующие органические фосфорсодержащие вещества выполняют важную роль в увеличении concentra-

ции ортофосфата в воде, необходимого для жизнедеятельности гидробионтов. Выявленные корреляционные зависимости расширяют представление о путях трансформации соединений фосфора в водной толще и роли бактерий в этих процессах.

Выводы

1. Численность гетеротрофных и фосфатмобилизующих бактерий в поверхностном слое взморья превышает значения в придонном слое и возрастает по мере удаления от края дельты. В придонном слое на различных глубинах распределение этих бактерий, в основном, равномерное.

2. Содержание соединений фосфора, в основном, положительно коррелирует с количественными показателями гетеротрофных и фосфатмобилизующих бактерий, что объясняется ведущей ролью «микробиальной петли» в биологическом круговороте фосфора в экосистеме.

3. Абиотические параметры среды – температура и соленость воды не оказывают значительного воздействия на численность бактерий. Микробная деструкция органического вещества связана с насыщением воды кислородом и характеризуется обратной взаимосвязью с численностью бактерий в теплый период года и прямой – в холодный.

Список использованной литературы

1. Александров Б. Г. Влияние Дуная на формирование мезозoopлankтона Черного моря / Б. Г. Александров // Экосистема взморья украинской дельты Дуная: Сб. науч. тр. – Одесса: Астропринт. – 1998. – С. 245–261.
2. Алимов А. Ф. Введение в продукционную гидробиологию / А. Ф. Алимов – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 152 с.
3. Богатова Ю. И. Гидрохимический режим украинского участка взморья Дуная / Ю. И. Богатова // Водные ресурсы. – 2013. – Т. 40, № 3. – С. 295–305.
4. Большаков В. С. Трансформация речных вод в Черном море / В. С. Большаков. – К.: Наук. думка, 1970. – 328 с.
5. Курдиш И. К. Інтродукція мікроорганізмів у агроекосистеми / І. К. Курдиш – К.: Наук. думка, 2010. – 253 с.
6. Муромцев Г. С. К вопросу об использовании водонерастворимых фосфатов почвенными микробами / Г. С. Муромцев // Доклады ВАСХНИЛ, 1955. – Вып. 5. – С. 35 – 41.
7. Методические указания по выделению микроорганизмов, растворяющих труднодоступные минеральные и органические соединения фосфора. – Л.: Всесоюзный науч.-исслед. ин-т с/х микробиологии, 1981. – 19 с.
8. Менкина Р. А. Бактерии, минерализующие органические соединения фосфора / Р. А. Менкина // Микробиология. – 1950. – Т. 19, № 4. – С. 308–315.
9. Мишустин Е. Н. Мобилизация минеральных фосфатов почвы и удобрений в процессе жизнедеятельности микроорганизмов / Е. Н. Мишустин, И. Т. Геллер, М. Синха // Изв. ТСХА. – 1972. – Вып. 4. – С. 116 – 121.
10. Рой А. А. Новые штаммы почвенных бацилл, минерализующие органические соединения фосфора / А. А. Рой, Л. В. Булавенко, И. К. Курдиш // Микробиол. журн. – 2001. – Т. 63, № 4. – С. 9 – 14.
11. Руководство по химическому анализу морских вод РД 52.10.243-92. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. – 263 с.

12. *Теплинская Н. Г.* Бактерии пелагиали и бентали / Н. Г. Теплинская, Н. В. Ковалева. – В кн.: Северо-западная часть Чёрного моря: (биология и экология); под ред. Ю. П. Зайцева. – К: Наук. думка, 2006. – С. 146–174.
13. *Теплинская Н. Г.* Микробиологическая характеристика Придунайского взморья в районе строительства судового хода Дунай – Черное море / Н. Г. Теплинская, Л. М. Нидзвецкая // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. – Севастополь, 2007. – № 15. – С. 567–574.
14. *Цыбань А. В.* Бактериопланктон и бактерионейстон шельфовой области Черного моря. – К: Наукова думка, 1970. – 272 с.
15. *Kobori H.* Extracellular alkaline phosphatase from marine bacteria: purification and properties of extracellular phosphatase from a marine *Pseudomonas* sp. / H. Kobori, N. Taga // Can. J. Microbiol. – 1980. – 26, N 7. – P. 833–838.
16. *Mamatha S. S.* Phosphate Solubilizing Bacteria and Alkaline Phosphatase Activity in Coastal Waters off Trivandrum / S. S. Mamatha, A. Gobika, P. Janani // Jour. Coast. Env. – 2012. – Vol. 3, No. 1. – P. 89–100.
17. *Paytan A.* The Oceanic Phosphorus Cycle / A. Paytan, K. McLaughlin // Chem. Rev.–2007.–V. 107.–P. 563–576.
18. *Rodrigues H.* Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion / H. Rodrigues, R. Fraga // Biotech. Advances. – 1999. – V. 17. – P. 319–339.
19. *Surajit Das.* Biogeochemical processes in the continental slope of Bay of Bengal: I. Bacterial solubilization of inorganic phosphate / *Das Surajit*, P. S. Lyla, Khan Ajmal // Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol). – 2007. – Vol. 55 (1): 1–9. – P. 1–9.

Статья поступила в редакцию 20.07.2014

Г. Г. Тропівська¹, Ю. І. Богатова¹, І. К. Курдиш²

¹Одеський філіал Інституту біології південних морів ім. О. О. Ковалевського НАН України, вул. Пушкінська, 37, Одеса, 65011, Україна

²Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України, вул. Ак. Заболотного, 154, Київ, Д03680, Україна

РОЗПОДІЛ І МІНЛИВІСТЬ ФОСФАТМОБІЛІЗУВАЛЬНИХ БАКТЕРІЙ І СПЛУК ФОСФОРУ НА УЗМОР'І ДУНАЮ

Резюме

В 2010–2012 рр. на узмор'ї Дунаю проаналізовано характер розподілу і мінливість вмісту сполук фосфору, гетеротрофних і фосфатмобілізувальних бактерій. Виявлено кореляційні взаємозв'язки між бактеріями і кількістю сполук фосфору, насиченням води киснем. Відзначена провідна роль «микробіальної петлі» в біологічному колообігу фосфору в екосистемі узмор'я.

Ключові слова: фосфатмобілізувальні бактерії, «микробіальна петля», сполуки фосфору, абіотичні параметри, узмор'я Дунаю.

G. G. Tropivska¹, Yu. I. Bogatova¹, I. K. Kurdish²

¹Odesa Branch A. O. Kovalevsky Institute of Biology of Southern Seas, National Academy of Sciences of Ukraine, 37, Pushkinska Str., Odesa, 65011, Ukraine

²D. K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology, National Academy of Sciences of Ukraine, 154, Ac. Zabolotny Str., Kyiv, D03680, Ukraine

DISTRIBUTION AND VARIABILITY OF PHOSPHATE-MOBILIZING BACTERIA AND PHOSPHOROUS COMPOUNDS IN THE DANUBE COASTAL WATERS

Summary

The nature of distribution and variability of phosphorus compounds, heterotrophic and phosphate-mobilizing bacteria have been analyzed in the Danube coastal waters in 2010–2012. The correlations between bacteria and content of phosphorus compounds, water oxygen have been observed. The leading role of «microbial loop» in the biological cycle of phosphorus in the coast ecosystem has been revealed.

Keywords: phosphate-mobilizing bacteria, «microbial loop», phosphorus compounds, abiotic parameters, the Danube coastal waters.