

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ОСНОВА БИОПРОДУКТИВНОСТИ И ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ АЗОВСКОГО МОРЯ В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ СЕЗОН 2006 г.

Н.В. Аржанова, В.В. Сапожников

(ФГУП ВНИРО)

В 2006 г. в российской части Азовского моря летом (июль) и в начале осени (сентябрь) проведены исследования с целью оценки гидрохимических условий и интенсивности продукционно-деструкционных процессов в современный период глобальных изменений климата и антропогенного воздействия.

На каждой станции проведено вертикальное зондирование температуры, солености, O_2 , рН, еН от поверхности до дна СТДО₂рНеН-зондом "Гидролаб". В процессе работ выполнен полный комплекс гидрохимических анализов, включающий кислород, органические и минеральные формы азота и фосфора, кремний, железо.

Полученные результаты показали, что в июле содержание кислорода в толще воды составляло 5.2-6.8 мл/л (в большинстве случаев 105-120%) (рис. 1). Осенью оно увеличилось на 1-2 мл/л и составило 6.5-8 мл/л, а насыщение воды кислородом существенно возросло, достигая в достаточно обширных районах 130-140%. Содержание минерального азота и фосфора в июле 2006 г., за исключением района Таганрогского залива, было очень мало (рис. 2, 3). Концентрация аммонийного, нитритного и нитратного азота на большей части исследованной акватории как в поверхностном, так и в придонном слое составляла 0.1-0.5 μM , 0.1-0.3 μM и 0.2-0.5 μM соответственно, а концентрация фосфатов изменялась от 0.1 до 0.4 μM . В сентябре величины практически не изменились по сравнению с летним сезоном.

В период исследований минеральные формы азота и фосфора составляли ничтожную часть в валовом их количестве. На долю органических соединений азота и фосфора приходилось около 99% и 90% соответственно. В июле содержание органических форм азота и фосфора в водной толще составляло 65-130 μM $N_{\text{орг}}$ и 1.6-4 μM $P_{\text{орг}}$, в сентябре концентрация их стала еще выше и составила в водах собственно Азовского моря 110-150 μM N и 2.2-3.4 μM P , а в Таганрогском заливе - 80-140 μM N и 3-3.8 μM P (рис. 4). Соотношение $N_{\text{орг}}/P_{\text{орг}}$ и летом, и осенью было равно в среднем ~ 40 , это показывает, что общее содержание азота и фосфора в клетках фито- и бактериопланктона, а также в растворенном органическом веществе довольно стабильно.

В отличие от минеральных форм азота и фосфора, содержание кремния во всей толще воды в июле было очень высокое - 40-70 μM (рис. 3). Это было обусловлено

штормовой погодой при малой глубине моря, что способствовало интенсивному взмучиванию донных осадков и исключало возможность осаждения взвеси, выносимой из Таганрогского залива, где концентрация кремния в его устьевой части превышала $90 \mu\text{M}$. Изначально высокое содержание кремния не снизилось и в сентябре.

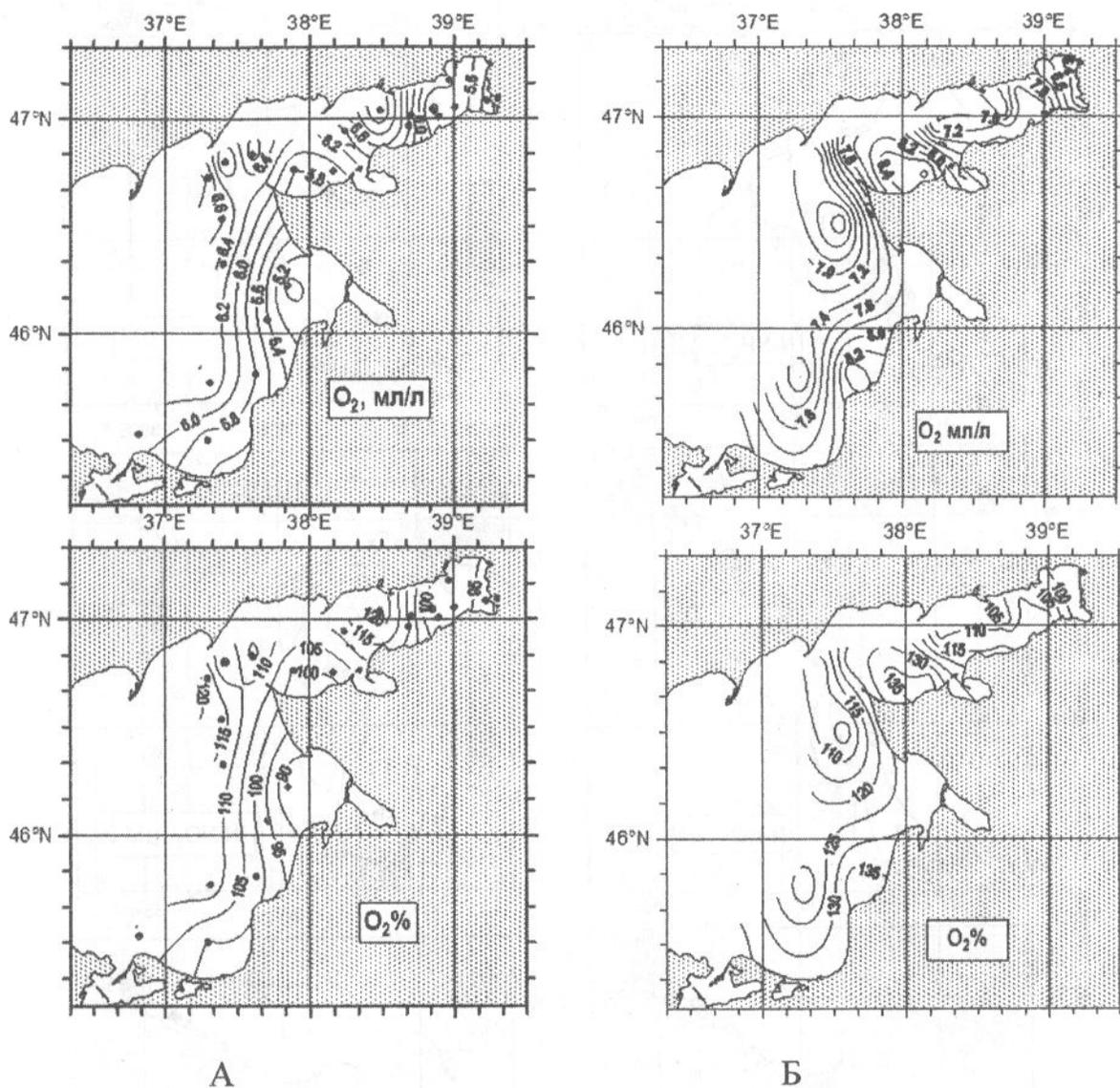


Рис. 1. Распределение кислорода (мг/л, %) в российской части Азовского моря в июле (А) и сентябре (Б) 2006 г.

Концентрация железа ($\text{Fe}^{+2} + \text{Fe}^{+3}$) и летом, и осенью составляла на большей части моря $0.4\text{--}2.8 \mu\text{M}$ (рис. 4), зачастую превышая концентрацию фосфора не менее, чем в 1.5-3 раза (рис. 3).

Сопоставление полученных результатов с результатами предшествующих исследований показало, что в течение 70-ти лет содержание биогенных элементов претерпело существенное изменение (таблица 1). Выделяется два периода – до и после зарегулирования рек. Основным поставщиком биогенных элементов в Азовское море как до зарегулирования рек, так и после него, служит речной сток. В настоящее время на его

долю по данным З.В.Александровой и др. [2000] приходится 56% и 72% азота и фосфора от суммарного поступления соответственно, что составляет 67.4 и 6.5 тыс.т (Бронфман и

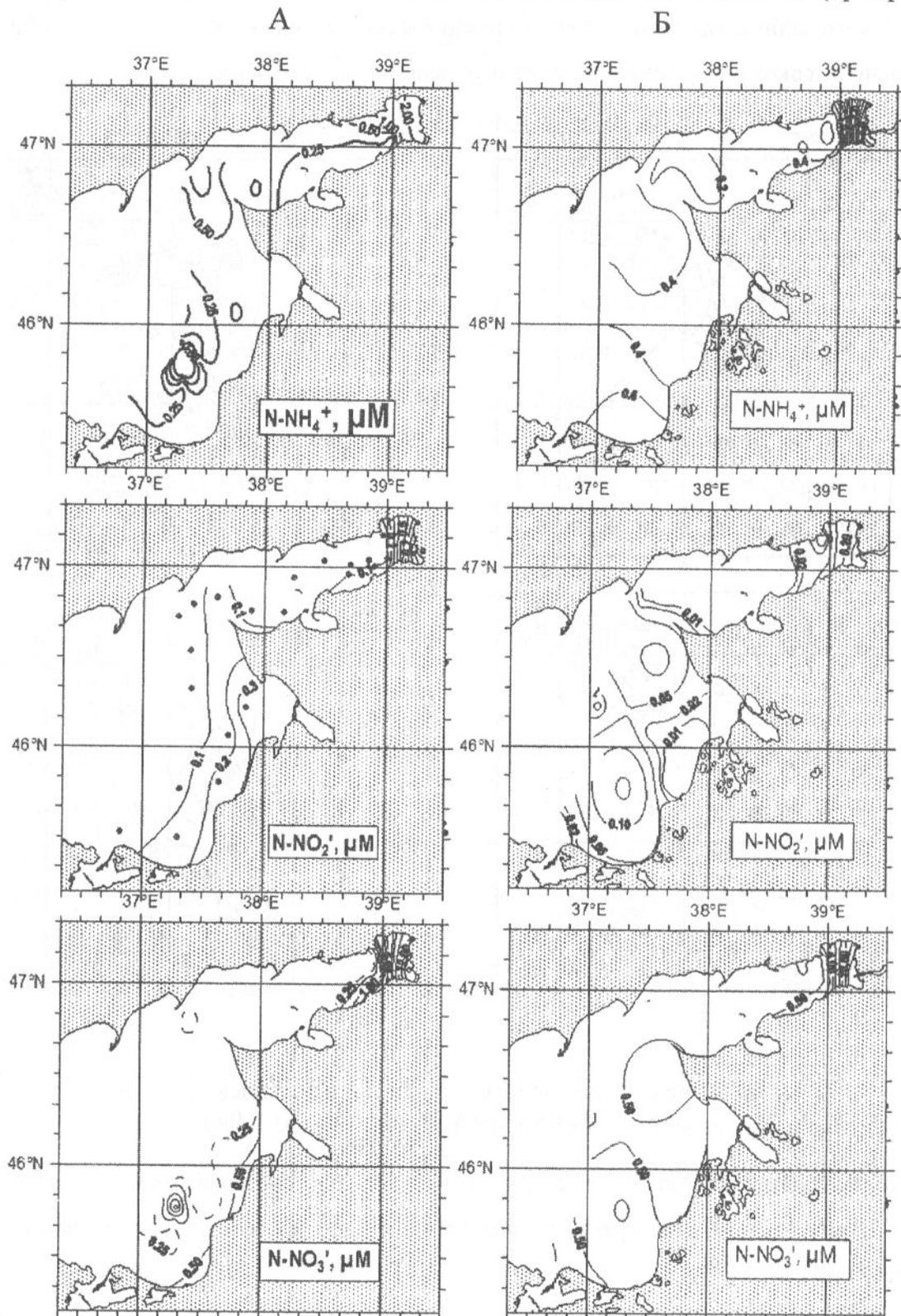
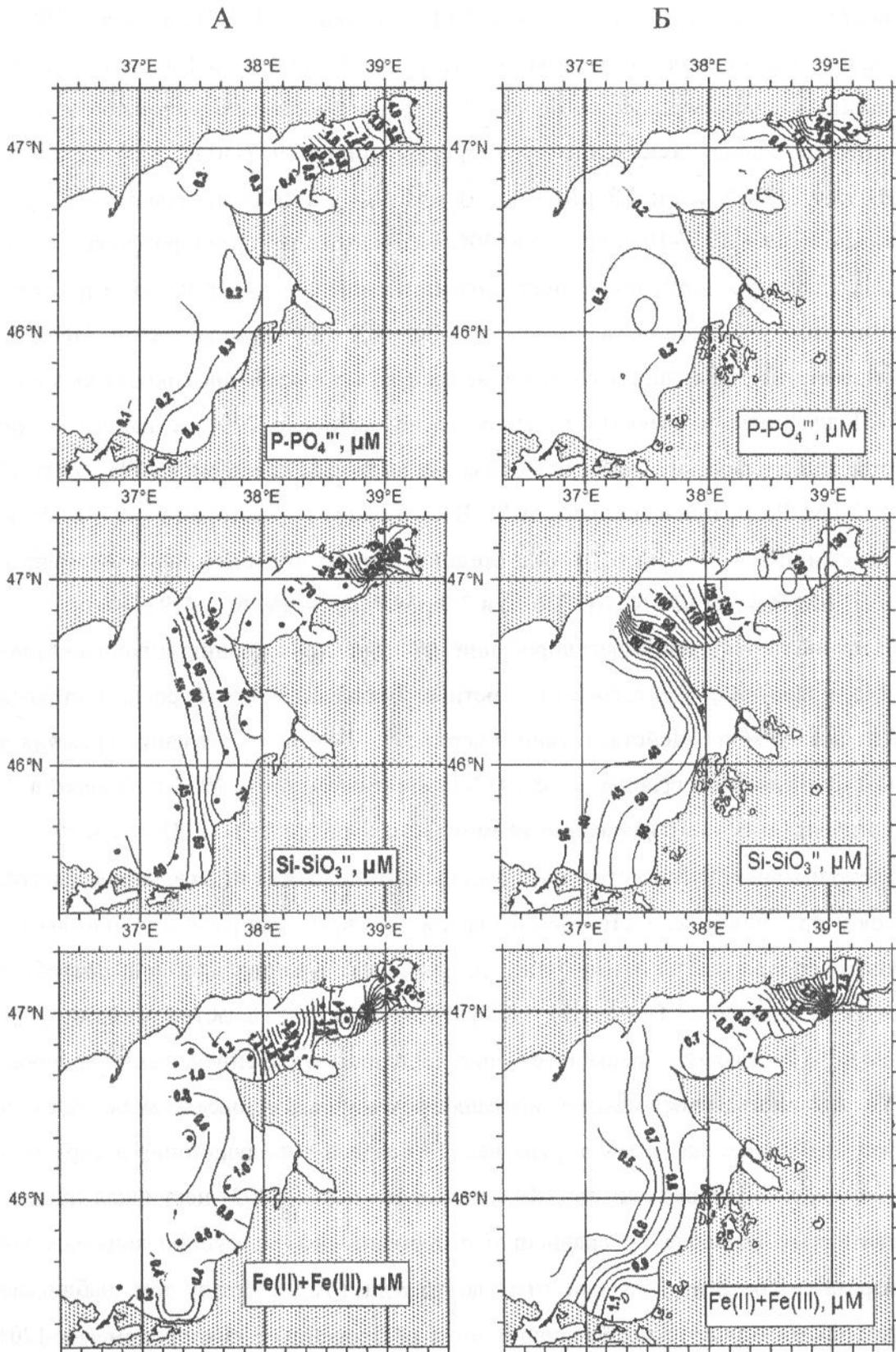


Рис. 2. Распределение минеральных форм азота (μM) в российской части Азовского моря в июле (А) и сентябре (Б) 2006 г.

др., 1979). Зарегулирование рек и создание Цимлянского водохранилища привело после 1952 г. к изменению не только внутригодового распределения стока речных вод, но и их

количественного и качественного химического состава. Увеличился вынос в море аллохтонного органического вещества. Вследствие активной утилизации минеральных



форм биогенных элементов фитопланктоном в водохранилище в речных водах сократилось содержание минеральных солей, сократился и их удельный вес в пользу органических соединений. По данным М.К.Спичака и И.К.Шеломова (1961) доля минерального азота в биогенном стоке сократилась с 41 до 20%, а фосфора – с 76 до 25%. В результате в среднем содержание валовых форм биогенных элементов в настоящее время возросло в водах собственно моря по сравнению с 1937-40 гг. в полтора - два раза ($2.3 \mu\text{M P}_{\text{вал.}}$, $76 \mu\text{M N}_{\text{вал.}}$ и $1.3 \mu\text{M P}_{\text{вал.}}$, $51 \mu\text{M N}_{\text{вал.}}$), а доля минеральных форм резко сократилась. Если в 1937-1940 гг. около 30% валового содержания фосфора и около 15% валового содержания азота приходились на их минеральные формы, то в последующий период их доля уменьшилась более, чем вдвое, и составила около 10% и 1-6% соответственно. В дальнейшем содержание биогенных элементов сохранялось на одном уровне. Полученные в результате наших исследований в 2006 г. данные о валовом количестве азота и фосфора оказались близкими к данным для периода 1957-74 гг. ($79 \mu\text{M N}_{\text{вал.}}$ и $2.2 \mu\text{M P}_{\text{вал.}}$), приведенными А.М. Бронфманом с соавторами (1979). На том же уровне сохранились и концентрации органических форм биогенных элементов – в среднем $2.1 \mu\text{M P}_{\text{орг.}}$, $74 \mu\text{M N}_{\text{орг.}}$ (2006 г.) и $2.0 \mu\text{M P}_{\text{орг.}}$, $74 \mu\text{M N}_{\text{орг.}}$ (1937-40 гг.).

Наличие плотин при зарегулировании рек ведет к осаждению в донные отложения взвешенного кремния, что вызывает заметное уменьшение его в речном стоке и, как следствие, в воде моря. Действительно в период 1957-74 гг. содержание кремния в воде несколько снизилось по сравнению с 1937-40 гг. и особенно с 1951 г. Однако в 2006 г. отмечено очень высокое содержание кремния – на уровне 1951 г. Вероятнее всего, это обусловлено изменением качественного состава фитоплена. Как утверждают исследователи (Матишов и др., 2006), вследствие распреснения Азовского моря произошло вытеснение диатомовых водорослей другими видами, не испытывающими такой потребности в кремнии, как диатомеи. Основную массу фитопланктона в летне-осенний период в Азовском море составляют преимущественно перидиниевые и сине-зеленые водоросли.

Увеличившийся после зарегулирования рек вынос в Азовское море аллохтонного органического вещества вызвал изменение баланса продукционно-деструкционных процессов. По данным ряда авторов (Александрова и др., 2003) первичная продукция в настоящее время возросла по сравнению с периодом до зарегулирования рек почти в полтора раза (в среднем с 34 млн т/год до 46 млн т/год). Между тем, наблюдаемое в настоящее время большое пересыщение воды растворенным кислородом (до 120% - в июле и до 140% - в сентябре) значительно ниже величин, которые были зафиксированы в 30-е годы (порядка 280-350%) Н.М. Книповичем и В.Г. Дацко (1959). Основная причина этого - резкое возрастание интенсивности деструкционных процессов, обусловленное приносом большого количества аллохтонного органического вещества.

Таблица. 1

Среднее содержание биогенных элементов в водах
Азовского моря до и после зарегулирования рек.

Год	Р _{мин}	Р _{орг}	Р _{вал.}	$\frac{\%P_{орг}}{\%P_{мин}}$	N _{мин.}	N _{орг.}	N _{вал.}	$\frac{\%N_{орг}}{\%N_{мин}}$	Si	Источник
1937- 1940	10.5	30	41	73	97.5	620	718	86	800	Дацко, 1959
	0.33	0.94	1.28	27	6.96	44.3	51.3	14	29	
1951	9.0	40	49	82	-	670	-	-	1230	Виноградова, 1955 Федосов, 1955
	0.28	1.25	1.53	18		47.8			44	
1957- 1974	8.3	63	71	89	67	1037	1105	94	630	Бронфман и др., 1979
	0.26	1.97	2.22	11	4.78	74.1	78.9	6	22	
2006	8.4	66	74	89	11	1030	1041	99	1374	ВНИРО
	0.26	2.06	2.31	11	0.78	73.6	74.3	1	44	

*В числителе - мг/м³, в заменателе - мМ.

Величины пересыщения воды кислородом свидетельствуют о том, что в 2006 г. интенсивность фотосинтеза была весьма велика. Используя метод В.Г. Дацко (1959), мы по изменению концентрации кислорода в течение суток ориентировочно оценили первичную продукцию в центральной части исследованной акватории Азовского моря, на границе с Таганрогским заливом и в средней части залива (рис. 5). Суточный ход кислорода, отражающий интенсивность жизнедеятельности фитопланктона, выражен очень четко. В течение темного времени суток траты на дыхание превышают выделение кислорода в процессе фотосинтеза, поэтому к утренним часам приурочен минимум кислорода. В течение дня концентрация кислорода увеличивается, достигая максимума в послеполуденное время – по нашим данным в период времени от 16 до 21 часа. По разнице между минимумом и максимумом кислорода рассчитана его суточная продукция, которая оказалась чрезвычайно высока – 0.9-1.5 мл O₂/л-сутки. В пересчете на органический углерод продукция фитопланктона составила ~1.5-3 г C/м²-сутки.

В июле и сентябре 2006 г. активное развитие фитопланктона происходило на фоне чрезвычайно низкого содержания минеральных форм азота и фосфора. Это свидетельствует о том, что первичная продукция создавалась преимущественно за счет минерализации органического вещества. Проведенные расчеты (на основании стехиометрических отношений для популяции фитопланктона) показали, что для поддержания интенсивного фотосинтеза в воду в результате деструкции органики ежесуточно должно поступать ~0,2-0,5 мМ фосфора и ~5-10 мМ азота. Это обеспечивается высокой активностью ферментов электрон-транспортной системы (ЭТС), щелочной

фосфатазы и протеазы (таблица 2), которые значительно, иногда в сотни раз, превышают эти показатели для прибрежной части Черного моря (Агатова и др, 2008).

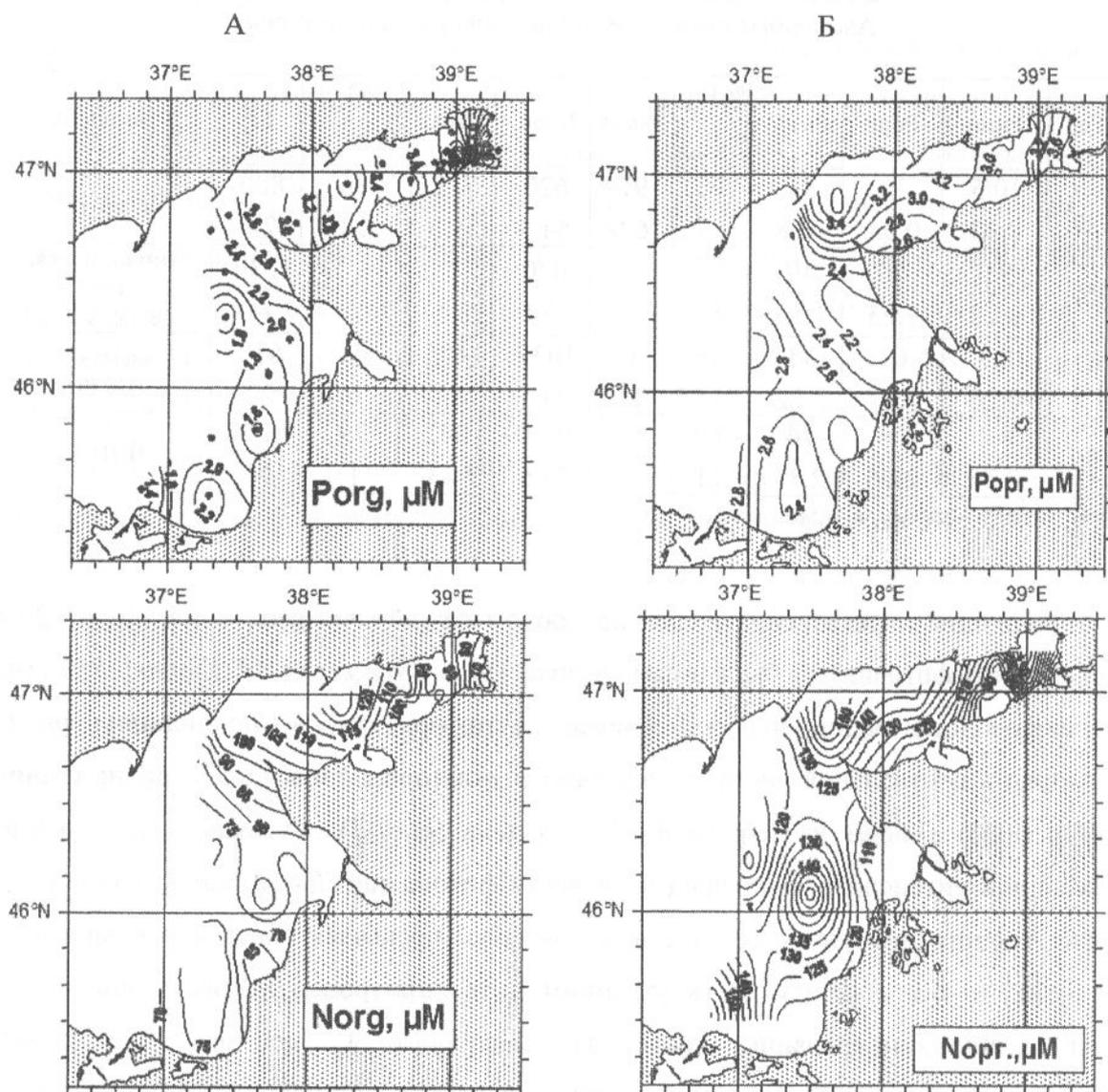


Рис. 4 Распределение органических форм фосфора и азота (μM) в российской части Азовского моря в июле (А) и сентябре (Б) 2006 г.

Таблица 2

Средние значения общей активности ферментов щелочной фосфатазы ($\mu\text{M P/л}\cdot\text{ч}$) и протеазы ($\text{мг белка/л}\cdot\text{ч}$) в Азовском море *

Фермент	июль	сентябрь
Щелочная фосфатаза	2.29	1.02
Время минерализации фосфора, ч	1.5	4.0
Протеаза	1.69	1.28
Время расщепления белка, ч	2.8	2.4

*По данным Агатовой и др., 2008

По данным биохимических исследований минерализация органического фосфора происходит всего за 1.5-4 ч, а расщепление белка – за 2.4-2.8 ч. Это позволяет фосфору и

азоту вновь быстро включаться в продукционные процессы, не лимитировать их и обеспечивать синтез первичной продукции на рециклинге биогенных элементов.

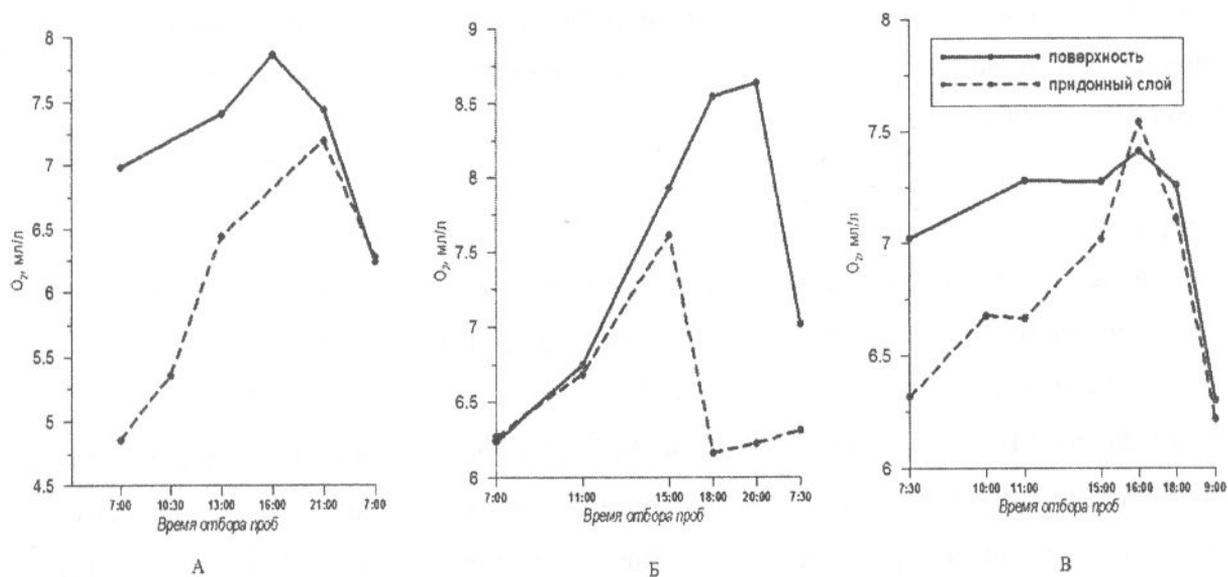


Рис. 5. Суточный ход кислорода (мл/л) в центральной части собственно Азовского моря (А), на границе с Таганрогским заливом (Б) и в центре Таганрогского залива (В).

Сравнительный анализ изменений экосистем Черного и Азовского морей показал, что процессы в этих морях идут по сходному сценарию, и решающим фактором, определившим современное состояние экосистем этих морей, явилось изменение гидрохимической основы биопродуктивности в период усиления антропогенного влияния. Зарегулирование пресного стока, строительство плотин на всех крупных реках и образование водохранилищ привело к тому, что уже в водохранилищах при "цветении" водорослей произошла утилизация значительной доли минеральных форм фосфора и азота, осаждение силикатов в донные осадки водохранилищ, выделение большого количества растворенного органического вещества (ОВ). Вследствие этого резко изменился химический состав речного стока.

Поступление в море избыточных количеств аллохтонного ОВ привело к росту биомассы бактерий и простейших, что изменило состав микрогетеротрофов. Ускорились процессы деструкции ОВ, что в конечном итоге изменило и соотношение между продукционными и деструкционными процессами в море. Изменился видовой состав фитопланктона – произошло вытеснение диатомовых водорослей синезелеными и перидиниевыми.

Нарушение равновесия в экосистемах морей было вызвано также появлением гребневика *Mnemiopsis*. Активно участвуя в круговороте биогенных элементов, гребневик стимулирует развитие фитопланктона и увеличение первичной продукции в результате обогащения водной толщи биогенами. С другой стороны, вселение *Mnemiopsis*, активно

выедающего зоопланктон, икру и личинки, подрывает кормовую базу рыб, что наносит огромный ущерб запасам планктоноядных рыб. В результате в Черном море резко снизились уловы хамсы, ставриды и шпрота, а в Азовском море вылов тюльки в современный период почти в 25 раз ниже средних показателей до вселения гребневика (Рогов и др., 2000).

Литература

- Агатова А. И., Н. В. Аржанова, Н. М. Лапина, Н. И. Торгунова Пространственно-временная изменчивость органического вещества Азовского моря. 2007 г. Водные ресурсы. 2008 г. Т. 35. № 5.С.
- Александрова З.В., Баскакова Т.Г., Ромова М.Г. особенности гидрохимического режима и продуцирования первичного органического вещества в экосистеме в современный период. Книга: Гребневик *Mnemiopsis leidyi* (A.Agassiz) в Азовском и Черном морях: биология и последствия вселения. Ростов н/Дону: АзНИИРХ, 2006. С. 145-172
- Бронфман А.М., Дубинина В.Г., Макарова Г.Д. Гидрологические и гидрохимические основы продуктивности Азовского моря. М. Пищевая промышленность. 1976. С. 288.
- Дацко В.Г. Органическое вещество в водах Южных морей СССР. Изд. Академии наук, М. 1959. С. 268
- Матишов Г.Г., Гаргопа Ю.М., Бердников С.В., Дженюк С.Л. Закономерности экосистемных процессов в Азовском море. М. Наука. 2006. С.303.
- Рогов С.Ф., Луц Г.И., Воловик С.П. Биология и адаптация хамсы и тюльки в связи с вселением гребневика. Книга: Гребневик *Mnemiopsis leidyi* (A.Agassiz) в Азовском и Черном морях: биология и последствия вселения. Ростов н/Дону: АзНИИРХ, 2006. С. 234-294
- Спичак М.К., Шеломов И.К. О причинах колебаний первичной продуктивности Азовского моря. Сб. Первичная продукция морей и внутренних вод. Изд. Министерства высшего, среднего специального и профессионального образования БССР. Минск. 1961. С. 67-70.