

## Влияние климатических факторов на изменение химических основ биопродуктивности Азовского моря в 2006-2007 гг.

*З.В. Александрова, М.Г. Ромова, Т.Е. Баскакова*

В данной работе представлены наиболее значимые результаты исследований химических основ биопродуктивности Азовского моря за 2006-2007 гг. в сравнении с материалами предшествующих лет.

При определении исследованных химических показателей состава воды и донных отложений использовали методы, принятые и утвержденные в Аналитическом Центре, аккредитованном Госкомитетом РФ по стандартизации и метрологии.

Оценку скорости первичного продуцирования органического вещества проводили двумя модификациями «кислородного метода» (модификация С.В. Бруевича - В.Г. Дацко, и метод «темных и светлых» склянок). Определение и расчет концентрации хлорофилла «а» выполняли в соответствии с требованиями НД (ГОСТ 17.1.04.02-90).

*Кислородный режим.* В течение всего периода наблюдений 2006-2007 гг. насыщение поверхностного горизонта вследствие активной жизнедеятельности фитопланктона было высоким. При этом, в весенне-летний период большая часть акватории собственно моря и Таганрогского залива оказалась пересыщена кислородом, концентрация которого достигала весной соответственно 120 и 160 %, летом – 150 и 200 %.

Высокая степень насыщения кислородом (до 140 %) отмечалась и в осенний период 2007 г. в пределах Таганрогского залива (101-136 % при средней 108 %).

Характерная особенность кислородного режима Азовского моря, заключающаяся в возникновении дефицита кислорода у дна в теплую часть года, проявилась и в 2006, и 2007 гг. (Книпович, 1932; Дацко, 1951, 1955, 1951; Федосов, 1955; Александрова и др., 1977, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2006; Жукова и др., 2005).

Решающим фактором, обусловившим возникновение дефицита кислорода у дна, явилась плотностная стратификация водных масс, определившая изоляцию придонного горизонта во время снижения ветровой активности.

Различия гидрометеорологической ситуации в период проведения экспедиционных исследований определили расхождения зарегистрированных площадей с насыщением кислорода <60 %, являющейся нижней границей оптимального для гидробионтов содержания кислорода в летний период. Так, летом 2006 г. в условиях штилевой погоды отмечалось расслоение водной толщи по температуре ( $\Delta t$  до 2 °C) и солености ( $\Delta S = 1,5$  ‰), и площадь,

ограниченная изоксигеной 60 % насыщения, составляла ~ 20 тыс. км<sup>2</sup>. Экспедиционные исследования 2007 г. сопровождались сильным ветровым перемешиванием, которое привело к разрушению сформировавшейся стратификации. Подтверждением этому служит явление обратной стратификации, отмеченное на обширной площади моря, а неблагоприятное для гидробионтов насыщение <60 % зафиксировано на 12 тыс. км<sup>2</sup>. В обоих случаях в зоне дефицита кислорода выделялись участки с резким снижением концентрации кислорода вплоть до аналитического нуля.

Следствием столь значительного ухудшения кислородного режима у дна явилась гибель бентических организмов.

Однако масштабы гибели бентоса и зафиксированная площадь гипоксии у дна в летний период 2007 г. не совпадали. Очевидно, развитие дефицита кислорода распространялось на значительно большую площадь. Это послужило основанием для расчета реальной площади «замора» у дна в летний период.

Выполненный анализ почти полувекового массива по площади гипоксии во взаимосвязи с величиной первичной продукции позволил дифференцировать два уровня площади замора в зависимости от конкретных гидрометеоусловий каждого года. Верхняя кривая соответствует распространению гипоксии при установившемся плотностном расслоении (солевом или термическом) при практически полном прекращении водообмена; нижняя - отражает площадь дефицита кислорода, зафиксированную, как и в этом году, при неустойчивой локальной стагнации вод в условиях кратковременного нарушения ветрового перемешивания.

Установленная достаточно хорошая связь между величиной первичной продукции и гибелью бентоса дала возможность скорректировать «заморную» площадь (рис. 1).

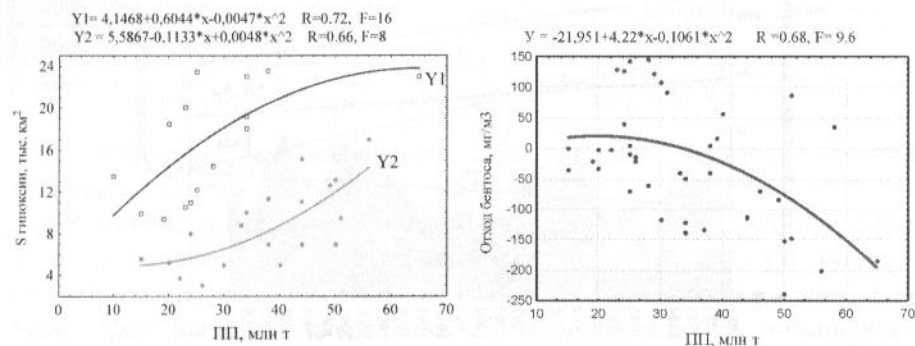


Рис. 1. Формирование площадей замора и отхода бентоса от органического вещества в воде

Исходя из величины ПП ~ 49 млн т. в 2007 г., можно заключить, что реальная площадь дефицита ориентировочно составляла ~ 22 тыс. км<sup>2</sup> вместо зафиксированной 12.

Формирование экологически неблагоприятной ситуации по кислороду у дна наблюдалось и осенью в 2007 г. в юго-восточной части собственно моря (30-50 %), а в Таганрогском заливе вблизи косы Кривой прослеживалось снижение насыщения кислородом до опасных для гидробионтов значений – 20 %.

Основной причиной возникновения дефицита кислорода у дна, как в море, так и в Таганрогском заливе явилось солевое расслоение водных масс (S~2 ‰)

*Режим биогенных веществ.* При анализе сезонной динамики биогенной основы продукционных процессов в 2006 и 2007 гг. следует особо остановиться на таких определяющих факторах как речной сток и температурный режим.

В весенний период содержание биогенных веществ регулировалось температурными условиями предшествующей зимы (Спичак, Шеломов, 1960; 1961). В частности, зима 2005-2006 гг. относилась к суровой, а 2006-2007 гг. – к исключительно мягкой. Как следует из представленных данных, накопление минеральных веществ в холодные зимы (2006 г.) и потребление их в мягкие (2007 г.) определило различные уровни их содержания весной (рис. 2, табл. 1). Так, после холодной зимы весной 2006 г. в собственно море содержание минеральных форм азота, фосфора и кремния составляло соответственно 53,0, 6,3 и 210,0 мг/м<sup>3</sup>.

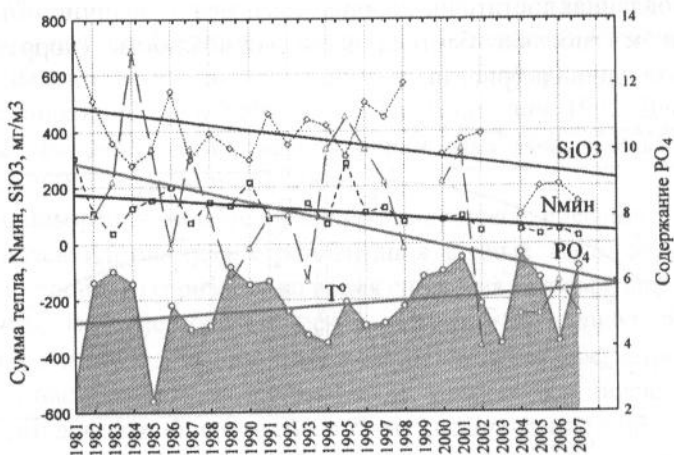


Рис. 2. Влияние характера зимы на динамику биогенных веществ в весенний период в собственно море

Таблица 1

Содержание биогенных веществ в Азовском море весной при различных типах зим

$\Sigma T^{\circ}$ зима	Годы	N мин	SiO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>
-390	1981,1985,1987,1994, 1993, 2003, 2006	130	470	11
-250	1986,1988,1992, 1995, 1996, 1997, 1998,2002	110	420	9
-130	1982,1984,1990,1991, 1999, 2005	90	350	8
-70	1983,1989,2000,2001,2004, 2007	70	200	5

В результате зимнего развития фитопланктона весной 2007 г. наблюдались минимальные значения неорганических форм азота (28 мг/м<sup>3</sup>), фосфора (4 мг/м<sup>3</sup>) и кремния (160 мг/м<sup>3</sup>).

Наряду с характером зимы, в формировании концентрации биогенных веществ в Таганрогском заливе явилось сокращение притока донских вод.

Действительно, как следует из представленных в таблице 2 данных, в 2002, 2004, 2007 гг. по объему стока Дона в пределах 6,5-6,7 км<sup>3</sup> соответствовали пониженные уровни минеральных форм азота, фосфора и кремния, в то время как в многоводные годы (2005, 2006) их содержание было существенно выше.

Таблица 2

Содержание биогенных веществ (мг/м<sup>3</sup>) и сток Дона (I-IV), км<sup>3</sup> в Таганрогском заливе весной

Годы	Сток Дона (I-IV)	Фосфаты	Минеральный азот	Кремнекислота
2002	6,5	13	29	910
2003	9,3	нет данных	нет данных	нет данных
2004	6,7	7,3	62	270
2005	9,8	20	113	1590
2006	10,6	24	320	2010
2007	6,6	6,6	22	1300

Отмеченная положительная температурная аномалия зимой, наблюдалась и летом 2007 г.

Высокий температурный фон (продолжительное жаркое лето) ускорил процесс синтеза органического вещества с сопутствующим снижением биогенных веществ и, прежде всего, азотсодержащих. При этом низкие значения минерального азота сопровождалось повышением органической составляющей валового азота (рис. 3).

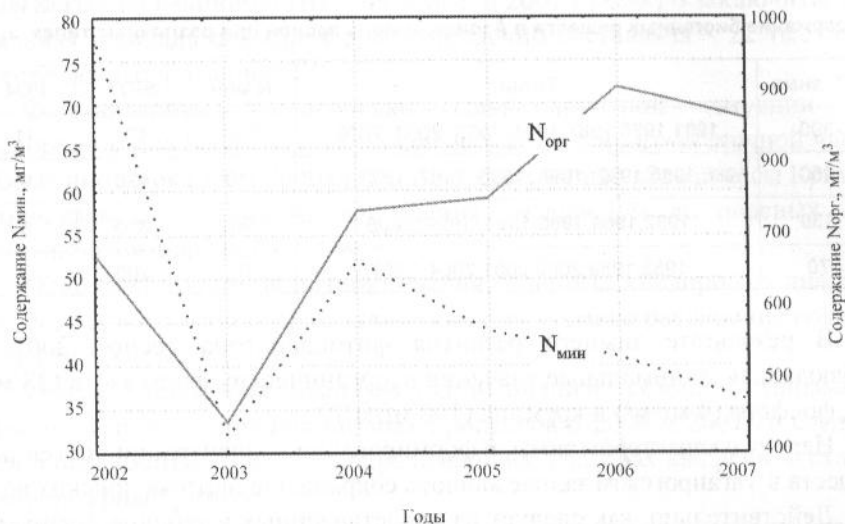


Рис. 3. Динамика содержания минеральной и органической составляющей валового азота в воде Азовского моря

На фоне пятилетней динамики содержания минеральных и органических форм азота выделились 2006 и 2007 гг. с наиболее высокой концентрацией  $N_{\text{орг}}$  900 и 860 мг/м<sup>3</sup>, соответственно (см. рис. 3). При этом увеличение содержания  $N_{\text{орг}}$  по отношению к предшествующим годам составляло 25-30 %. Если возрастание концентрации  $N_{\text{орг}}$  в 2006 г. обусловлено высокой водностью Дона и Кубани (43 км<sup>3</sup>), то в 2007 г. увеличение органической компоненты явилось следствием упомянутого высокого теплонакопления, способствовавшего созиданию органического вещества.

В отличие от спада минеральных соединений азота динамика содержания кремнекислоты характеризовалась значительным ростом. Поскольку сезонные изменения концентрации кремнекислоты связаны с циклом вегетации диатомовых водорослей – основного потребителя биодоступного кремния, наиболее явно эта тенденция обозначилась в летний период при относительном снижении развития диатомей. Так, летом 2006 г. содержание кремнекислоты в собственно море повысилось до 920 мг/м<sup>3</sup>, а в 2007 г. – достигло 1380 мг/м<sup>3</sup>, что почти в 1,4 и 2,0 раза превышало ее уровень 2001-2005 гг.

Приращение концентрации силикатов в 2006 г. в значительной мере обусловлено увеличением речного стока, а в 2007 г. – температурным режимом, определившим активное продуцирование диатомей в зимне-

весенний период и последующую интенсивную минерализацию их синтезированной массы.

*Органическое вещество в воде.* На фоне восходящей ветви температурных изменений в 1960-1987 гг. среднем за лето от 23,6 до 24,2 °С - в 1988-2007 гг. и снижения солености от 11,7 до 10,6 ‰, соответственно, существенно возросла скорость продуцирования первичного органического вещества от 25 до 44 млн т/год (рис. 4). При этом в 2006 г. отмечалось экстремальное увеличение массы автохтонного органического вещества – до 70 млн т, т.е. на 60 % больше относительно современного периода (1988-2007 гг.). Следует отметить, что три года подряд (2004-2006) наблюдалось совпадение высокой водности Дона (26-28 км<sup>3</sup>) и Кубани (15-17 км<sup>3</sup>) при суммарном материковом стоке 40-43 км<sup>3</sup>, что близко к норме при естественном режиме рек.

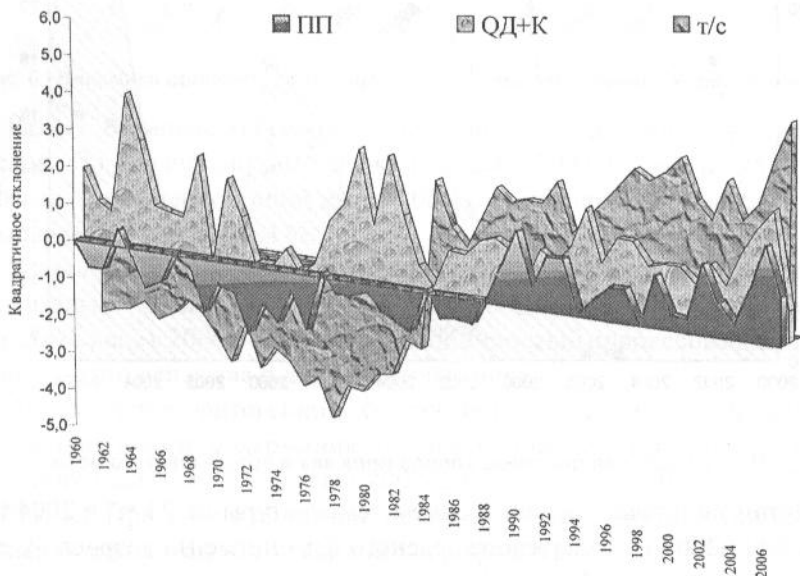


Рис. 4. Динамика первичной продукции (ПП), материкового стока Дона и Кубани ( $Q_{Д+К}$ ) и соотношение температуры и солености (t/c)

Наряду с повышением температурного фона (26°) и распреснением моря (до 9,1 ‰), к числу факторов, определяющих столь резкий рост продуцирования органического вещества в 2006 г. следует отнести увеличение притока биогенных веществ с речными водами. В 2007 г. при сохранении высокого температурного фона (26,2 °С) и низкой солености (9,7 ‰) величина первичной продукции также превышала среднее значение (44 млн т/год) для современного периода и

оценивалась 55 млн т.

Об активизации продукционных процессов в 2006 и 2007 гг. свидетельствуют и данные по содержанию хлорофилла «а» в воде, изменения которого взаимосвязаны с динамикой температуры (рис. 5). Так, весной сравнительно низкий температурный фон замедлил процессы синтеза органического вещества, и концентрация хлорофилла находилась на уровне 1,6 (2006 г.) и 3,2 мг/м<sup>3</sup> (2007 г.).

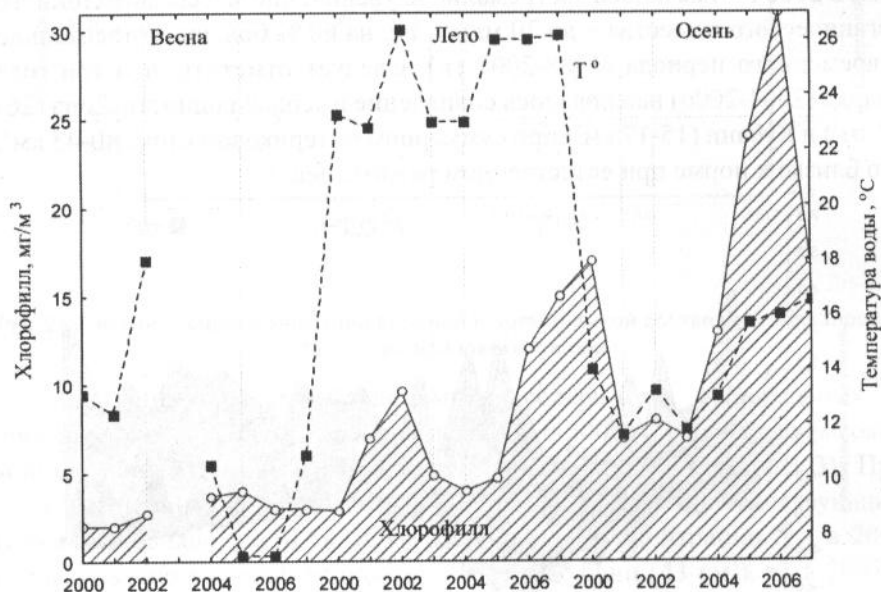


Рис. 5. Сезонная динамика хлорофилла «а» в воде Азовского моря

Летом синхронно с повышением температуры от 23 °С в 2004 г. до 26 - к 2005-2007 гг. содержание зеленого фитопигмента возросло к двум последним до 12 и 15 мг/м<sup>3</sup>, соответственно. Тенденция увеличения концентрации хлорофилла на повышенном температурном фоне (15-17 °С) продолжалась и осенью 2005-2007 гг., когда количество хлорофилла в воде достигло максимума и составило 30 мг/м<sup>3</sup> в 2006 г. и 14 - в 2007 г. (см. рис. 5).

Высокие темпы первичного продуцирования и накопления органического вещества в водной толще (хлорофилл «а») нашли отражение в увеличении общего количества органического вещества ( $C_{\text{орг}}$ ) и его фитогенной составляющей (каротиноидов в донных отложениях) (рис. 6).

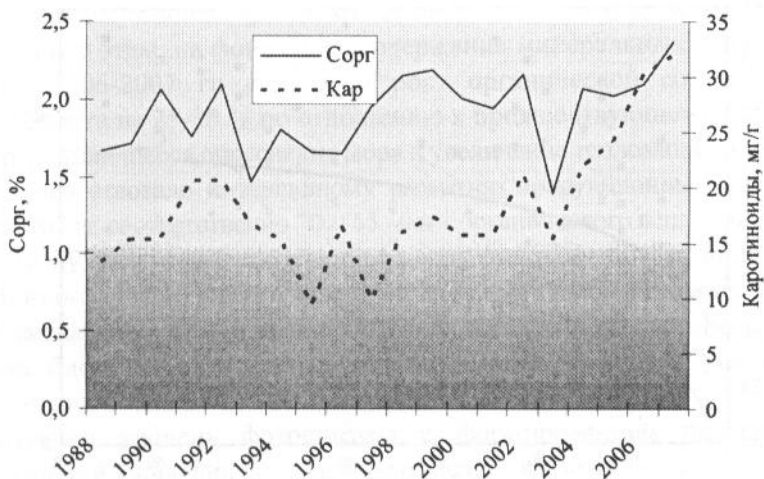


Рис. 6. Динамика органического вещества в донных отложениях Азовского моря

Размах сезонных колебаний содержания  $C_{opr}$  в донных отложениях невелик. По среднегодовым оценкам за 2000-2007 гг. можно судить об относительной стабилизации его к 2006 г. в среднем на уровне 2,1 % и повышении к 2007 г. до 2,4 %.

Указанное смещение максимума содержания  $C_{opr}$  в донных отложениях относительно аномально высокого значения продукции органического вещества в воде в 2006 г. связано с инерционностью процессов накопления органического вещества в донных отложениях.

Что касается фитогенной составляющей, тенденция повышения их среднегодового содержания наиболее значительно проявилась в два последних года – от 210 мг/кг в 2000-2005 гг. до 300 (2006 г.) и 320 мг/кг (2007 г.). При этом в сезонной динамике содержания каротиноидов, в донных осадках, так же, как и для хлорофилла в воде, в 2006 и 2007 гг. прослеживалось значительное накопление их к осени – в среднем от 210 за 2000-2005 гг. до 380 (2006 г.) и 360 мг/кг (2007 г.)

Согласно классической зависимости распределения содержания органического вещества от степени дисперсности донных осадков, максимальные концентрации  $C_{opr}$  (3,5-4,5 %), каротиноидов (600-800 мкг/г) и хлорофилла (80-100 мкг/г) были обнаружены в донных отложениях, где доля пелитового материала составляла >60 %, тогда как малые их количества - соответственно 0,5-1,5 %, 50-150 и 10-30 мкг/г - приурочены к морским осадкам моря с низким содержанием пелитовой фракции (<20 %) (рис. 7).



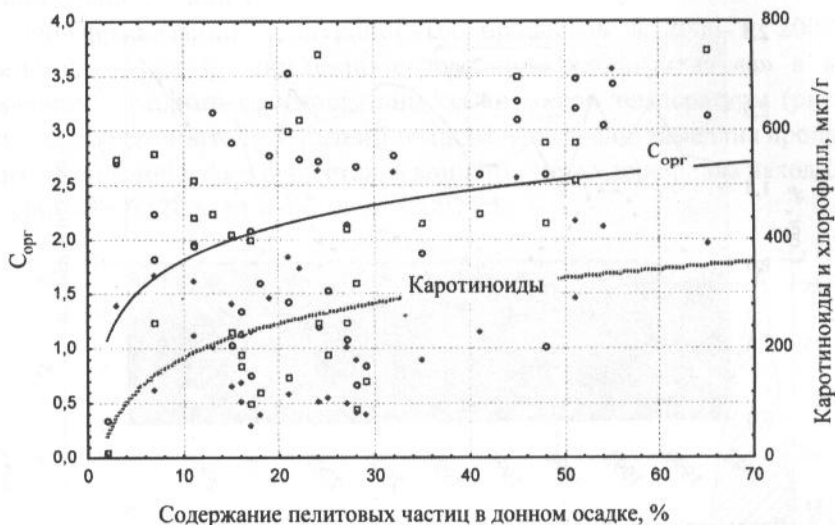


Рис. 7. Зависимость содержания  $C_{орг}$  в донных отложениях от количества пелитовых частиц

Выявленные изменения в содержании органического вещества в донных отложениях (общего количества и его биохимически подвижной части) явились результирующим эффектом увеличения скорости продукционных процессов в Азовском море в современный период.

Накопление органического вещества в воде и донных отложениях увеличивает повторяемость и масштабы развития летом «заморных» ситуаций у дна с сопутствующим загрязнением контактной зоны «вододонные отложения» токсичными для донных организмов веществами (Федосов, 1955; Дацко, 1951, 1959).

#### Выводы

Выполненные за два последних года исследования состояния Азовского моря по гидрохимическим показателям позволили прийти к ряду выводов.

Развитие дефицита кислорода в придонном горизонте летом как закономерное следствие плотностного расслоения водной толщи зарегистрировано на 20 и 12 тыс. км<sup>2</sup> соответственно в 2006 и 2007 гг.

Оценка гипоксии, скорректированная по установленным взаимосвязям с величиной первичной продукции и отходом бентоса, приближалась к реальным условиям и в 2006-2007 гг. была почти одинаковой ~ 22 тыс. км.

Особенности гидрометеорологического режима (мягкая зима 2006-2007 гг., исключительно жаркое продолжительное лето) определили минимальные

уровни содержания минеральных форм азота, фосфора и кремния весной 2007 г. и максимум концентрации кремнекислоты летом этого же года.

Наряду с этим, на фоне спада содержания минеральных соединений азота, в 2006-2007 гг. отмечался рост органической составляющей валового азота на 25-30 % по отношению к предшествующему 5-летию.

Продолжающееся опреснение моря и увеличение теплозапаса в морских водах способствовало интенсивному развитию продукционных процессов 2006 и 2007 гг. соответственно 70 и 55 млн т органического вещества.

К числу факторов, определяющих экстремальное возрастание массы автохтонного органического вещества в 2006 г. (на 60 % превышающее среднее значение за последние 20 лет), следует отнести повышение притока биогенных веществ с речными водами за счет увеличения материкового стока в 2004-2006 гг.

Высокий уровень фотосинтеза с формированием повышенных концентраций хлорофилла «а» в воде отмечался в летнее-осенний период 2006-2007 гг. (в собственно море 12-30 мг/м<sup>3</sup>).

Активизация автохтонных процессов в водной толще определила высокое содержание  $C_{\text{орг}}$  в донных отложениях: на уровне 2,1 % (2006 г.) и 2,4 % (2007 г.).

Сезонная динамика фитогенной составляющей органического вещества в донных отложениях так же, как и для хлорофилла в воде, характеризовалась максимальным содержанием каротиноидов осенью 2006 и 2007 гг. – 380 и 360 мг/кг.

Отмеченное накопление органического вещества в воде и донных отложениях увеличивает повторяемость и масштабы развития «заморных» ситуаций у дна.

### **Физиолого-биохимические параметры основных промысловых рыб в современных экологических условиях Азовского бассейна**

*Г.Г. Корниенко, С.Г. Сергеева, Н.Е. Бойко, Т.В. Ложичевская, Л.П. Ружинская, Л.В. Колесникова, В.Ф. Кузина, О.А. Рудницкая, Н.И. Цема*

Главной задачей отдела генетико-биохимического мониторинга является изучение качественного состояния основных промысловых видов рыб в изменяющихся условиях среды их обитания, оценка негативного влияния на репродуктивную биологию объектов.

Исследования проводили методами физиологического, гистологического, биохимического и генетического анализов. Условия