

ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОФИЛЛА «А» И КАРОТИНОИДОВ ФИТОПЛАНКТОНА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ГОРИЗОНТАХ АЗОВСКОГО МОРЯ В ПЕРИОД 2006-2015 ГГ.

Ю.В. Косенко, Е.А. Шевцова, Т.Е. Баскакова

Проведено исследование сезонной и годовой динамики содержания хлорофилла «а» и каротиноидов фитопланктона Азовского моря за последние 10 лет. Показано, что интенсивное развитие биомассы фитопланктона в Таганрогском заливе сопровождается увеличением уровня каротиноидов, которые, предположительно, выполняют антиоксидантную функцию.

Ключевые слова: хлорофилл «а», каротиноиды, фитопланктон.

Азовское море представляет собой мелководный водоем с относительно большим притоком пресных вод и отдаленной связью с Мировым океаном. По физико-географическим и гидрологическим признакам его разделяют на два района – собственно море, считающееся, по мнению некоторых исследователей, придаточным водоемом Черного моря, и Таганрогский залив, являющийся эстуарием реки Дон (Зенкевич, 1963; Студеникина и др., 1999). Азовское море занимает одно из первых мест по биологической продуктивности среди морских водоемов мира. Определение фотосинтетических пигментов фитопланктона в водах является важной частью гидрохимических исследований, отражающих продукционные возможности фитопланктонного сообщества. По данным литературы известно, что хлорофилл «а» и каротиноиды являются обязательной составляющей фотосинтетического ансамбля, при этом только хлорофилл «а» служит непосредственным донором энергии для фотосинтетических реакций, тогда как остальные пигменты участвуют в процессах поглощения и миграции энергии (Ленинджер, 1985).

Наиболее изученным фитопигментом является хлорофилл «а», как универсальный эколого-физиологический показатель продукционных возможностей фитопланктона. Кроме того, изучение содержания каротиноидов в растительном планктоне не менее важно, чем определение хлорофиллов. В настоящее время отсутствуют данные о сезонной и годовой взаимосвязи концентрации фитопигментов планктонного сообщества (хлорофилла «а» и каротиноидов) в Азовском море за последние 10 лет. В связи с вышесказанным, целью данного исследования явилось изучение сезонной динамики содержания хлорофилла «а» и каротиноидов в клетках фитопланктона в поверхностных горизонтах Азовского моря и Таганрогского залива в период с 2006 по 2015 гг.

Основой работы явились материалы, полученные в период комплексных экспедиций в Азовском море и Таганрогском заливе, выполненные весной (апрель), летом (июль-август) и осенью (октябрь) в период 2006-2015 гг. по стандартной сетке станций (34 станции) (рис. 1).

Отбор проб для анализа пигментов и биомассы водорослей осуществляли с поверхностного горизонта (до 1 метра). Определение хлорофилла «а» проводили спектрометрическим методом (ГОСТ 17.1.04.02-90). Метод основан на спектрофотометрировании ацетоновых экстрактов пигментов до и после подкисления раствором соляной кислоты. Концентрацию каротиноидов оценивали по формуле Парсона и Стрикленда для диатомового планктона (Parsons, Strickland, 1963) с введением поправки на присутствие разных групп водорослей в периоды их массового

развития. Пигментный индекс Маргалефа (E430/E664) рассчитывали исходя из оптических плотностей ацетонового экстракта пигмента в областях длинно- и коротковолнового максимумов поглощения света хлорофиллом «а» (664 нм) и коротковолновых максимумов для каротиноидов (430 нм).

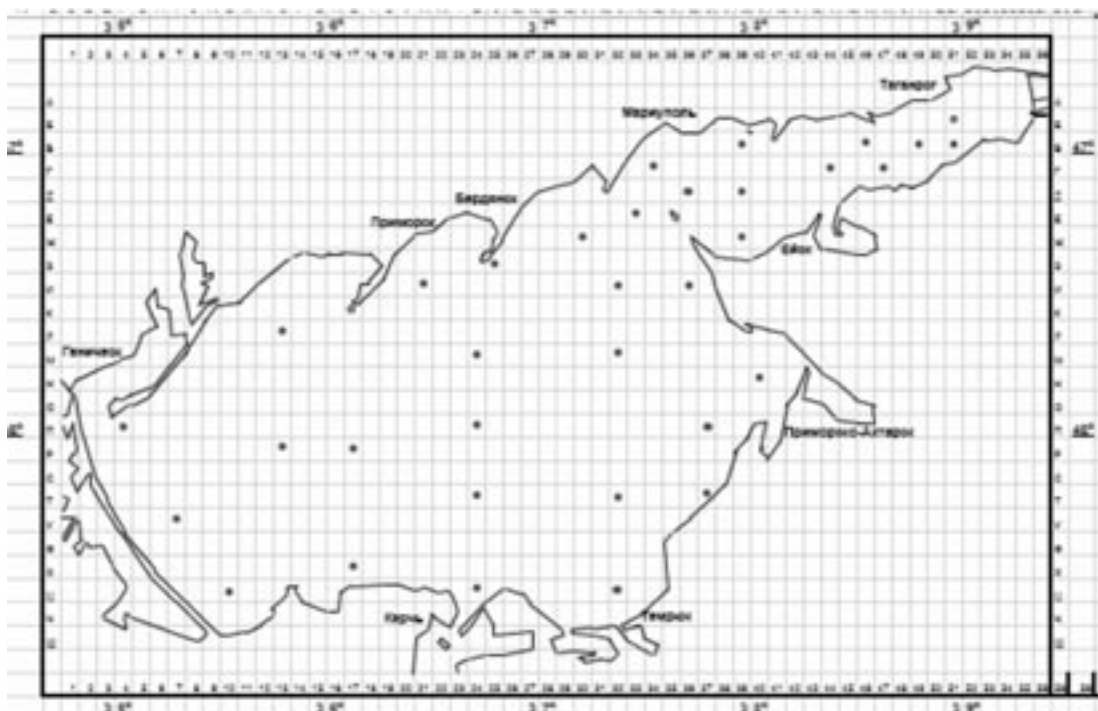


Рисунок 1 – Карта-схема отбора проб в Азовском море

Было показано, что содержание хлорофилла «а» фитопланктона в собственно море во все сезоны достоверно ниже, чем в Таганрогском заливе, что подтверждает высокую биологическую продуктивность в заливе (рис. 2).

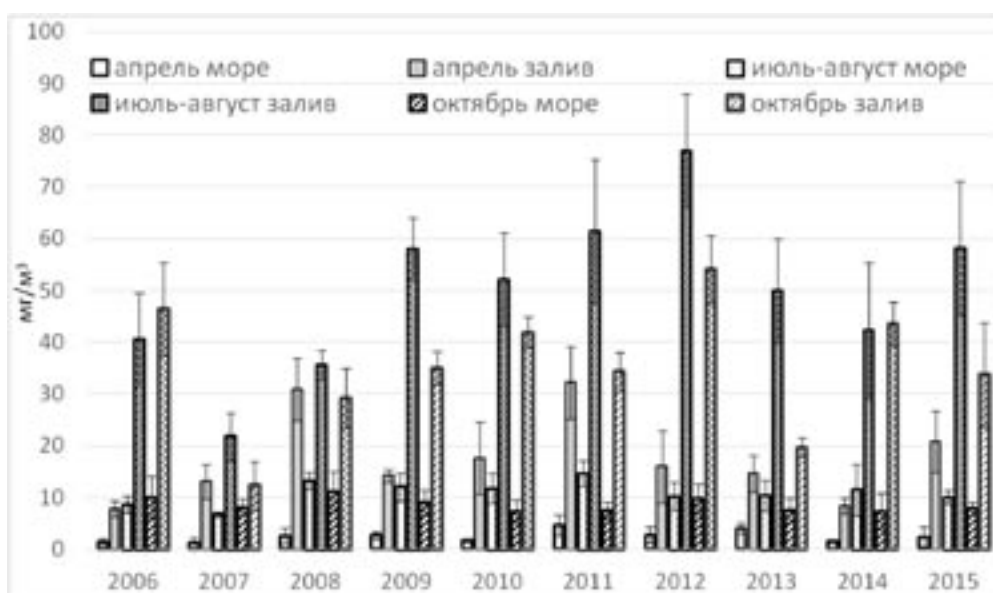


Рисунок 2 – Содержание хлорофилла «а» в собственно море и Таганрогском заливе (мг/м³) в сезонной динамике за период 2006-2015 гг.

Наибольшее содержание хлорофилла «а» в собственно море и Таганрогском заливе было установлено в летний и осенний периоды наблюдений. В целом, следует отметить,

что биологическая продуктивность за период 2006-2015 гг. в собственно море в апреле характеризовалась как низкая, поскольку общая биомасса фитопланктона составляла $0,62 \pm 0,07$ г/м³, а в летнее и осеннее время – продуктивная, с биомассой фитопланктона $2,72 \pm 0,51$ г/м³ и $2,97 \pm 0,51$ г/м³, соответственно. В Таганрогском заливе за период 2006-2015 гг. весной биологическая продуктивность характеризовалась как продуктивная (биомасса фитопланктона составила в среднем $2,87 \pm 0,22$ г/м³), а летом и осенью – высокая, с биомассой фитопланктона $4,81 \pm 0,82$ г/м³ и $6,40 \pm 1,89$ г/м³, соответственно. Выявлена также достоверная ($p < 0,01$) прямая корреляционная взаимосвязь между содержанием хлорофилла «а» и биомассой фитопланктона в собственно море ($r = 0,75$) (рис. 3 а) и Таганрогском заливе ($r = 0,72$) (рис. 3 б).

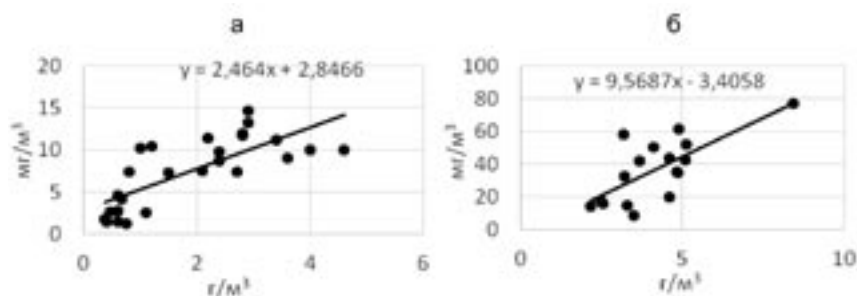


Рисунок 3 – Корреляционная взаимосвязь содержания хлорофилла «а» и биомассы фитопланктона в собственно море (а) и Таганрогском заливе (б)

Акватория Таганрогского залива характеризуется не только высоким уровнем хлорофилла «а», но и высоким содержанием в клетках фитопланктона каротиноидов. Роль каротиноидов в процессе фотосинтеза многогранна и до конца не установлена. Известно, что каротиноиды, поглощая определенные участки солнечного спектра, передают энергию этих лучей на молекулы хлорофилла. Тем самым они способствуют использованию лучей, которые хлорофиллом не поглощаются (Скопичев, 2013). Каротиноиды защищают молекулы хлорофилла от фотоокисления. По данным литературы известно, что бескаротиноидные мутанты растений на свету в атмосфере кислорода погибают. Кроме того, обладая антиоксидантной активностью, каротиноиды способны влиять на окислительно-восстановительные условия в хлоропласте (Аверьянов, 1995). В нашем исследовании показаны четкие годовая и сезонная динамики изменения хлорофилла «а» и каротиноидов с достоверно высокой ($p < 0,01$) прямой корреляционной взаимосвязью (рис. 4).

Таким образом, в собственно море концентрации хлорофилла «а» и каротиноидов достоверно не отличались, при этом содержание данных фитопигментов в клетках фитопланктона было относительно низким. На акватории Таганрогского залива высокие концентрации хлорофилла «а» в клетках фитопланктона сопровождалось значительным повышением уровня каротиноидов. Чтобы найти объяснение данного факта, мы провели анализ пигментного индекса Маргалефа, позволяющего оценить физиологическое состояние фитопланктона.

Литературные данные указывают на то, что повышение пигментного индекса свидетельствует об ухудшении физиологического состояния фитопланктона (Минеева, 2004; Сигарева, Ляшенко, 2004). Индекс Маргалефа, таким образом, можно рассматривать как маркер отношения гетеротрофного метаболизма в сообществе к автотрофному. Это отношение обычно мало (от 1 до 2) в молодых культурах или во время цветения водорослей, когда дыхание невелико, и увеличивается (3-5) в стареющих культурах или планктонных сообществах в конце лета, при интенсивном дыхании (Одум, 1975).

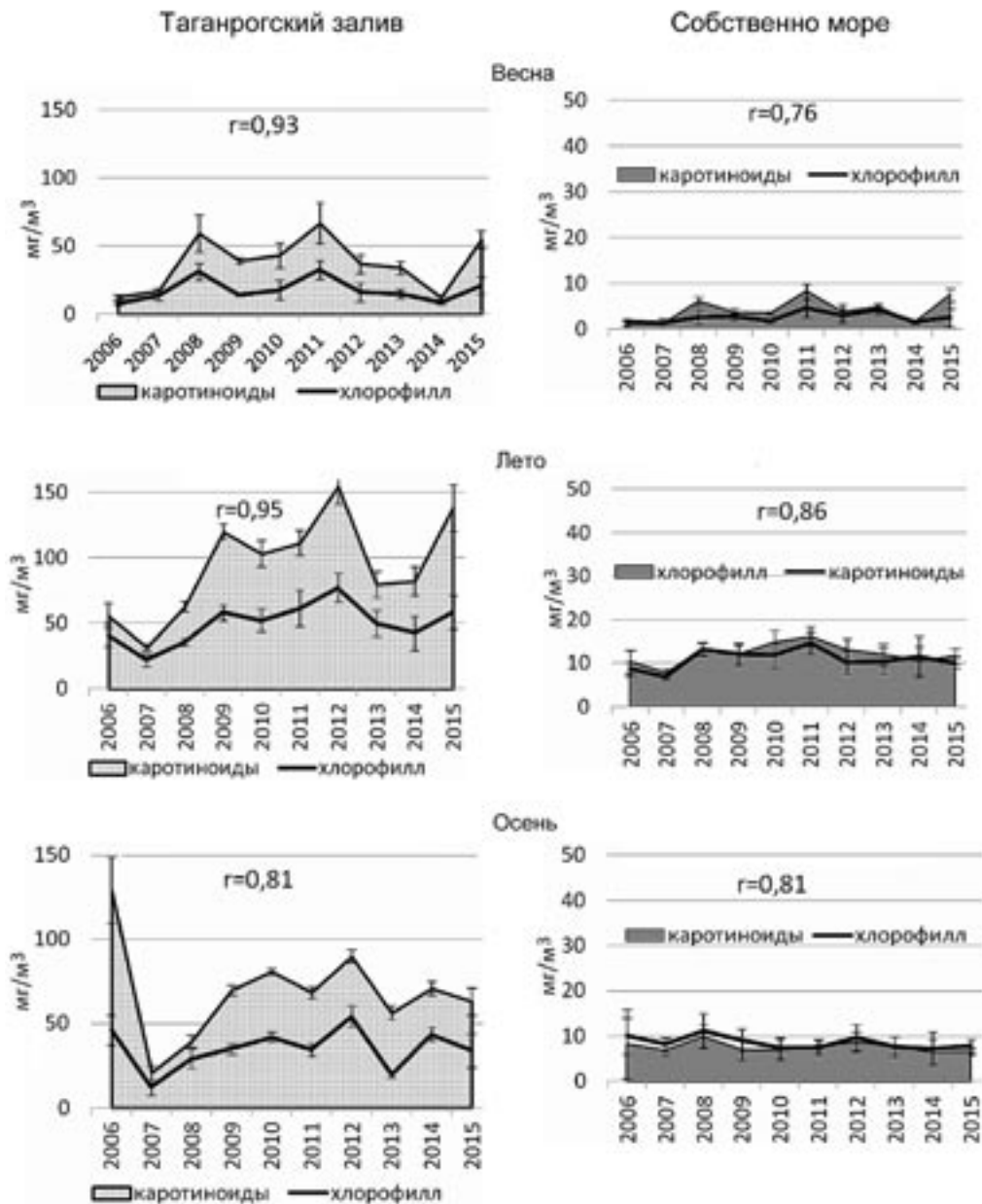


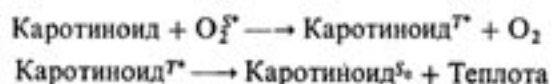
Рисунок 4 – Годовая динамика концентрации хлорофилла «а» и каротиноидов (мг/м³) в собственно море и Таганрогском заливе в разные сезоны

В нашем исследовании показано, что увеличение пигментного индекса более 3-х было отмечено только в собственно море в апреле 2006, 2012 и 2014 гг. (табл. 1). Данный факт связан с окончанием цветения в апреле холодолюбивых диатомовых водорослей, поскольку биологическая весна в Азовском море наступает, как правило, в марте и характеризуется обильным цветением диатомовых водорослей (Студеникина и др., 1999). Поэтому океанологическая съемка в апреле не совпадает с оптимальными фенологическими сроками. Необходимо обратить внимание на значительно сниженный уровень каротиноидов и хлорофилла «а» в период увеличения значения пигментного индекса (см. рис. 4). Таким образом, увеличение пигментного индекса более 3-х, характерное для стареющих культур фитопланктона, сопровождается снижением хлорофилла «а» и каротиноидов одновременно.

Значения пигментного индекса E430/E664 в годовой и сезонной динамике в собственно море и Таганрогском заливе (M±m)

| Период исследования | Собственно море | | | Залив | | |
|---------------------|------------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| | Апрель | Июль-август | Октябрь | Апрель | Июль-август | Октябрь |
| 2006 | 3,52±0,44 | 2,70±0,25 | 1,21±0,10 | 2,46±0,17 | 2,07±0,02 | 0,99±0,14 |
| 2007 | 1,89±1,01 | 2,77±0,13 | 2,24±0,09 | 2,35±0,08 | 2,11±0,06 | 2,08±0,08 |
| 2008 | 2,21±0,12 | 2,02±0,08 | 2,14±0,11 | 1,99±0,15 | 1,71±0,05 | 1,82±0,05 |
| 2009 | 2,63±0,14 | 2,10±0,10 | 2,32±0,11 | 2,66±0,01 | 1,99±0,09 | 2,02±0,06 |
| 2010 | 2,71±0,13 | 2,97±0,34 | 2,45±0,10 | 2,50±0,05 | 2,19±0,13 | 2,24±0,04 |
| 2011 | 2,68±0,11 | 2,41±0,11 | 2,51±0,06 | 2,55±0,07 | 1,86±0,16 | 2,16±0,07 |
| 2012 | 3,42±0,52 | 2,89±0,16 | 2,30±0,08 | 2,62±0,14 | 2,10±0,10 | 2,03±0,08 |
| 2013 | 2,72±0,13 | 2,51±0,10 | 2,94±0,38 | 2,50±0,02 | 2,12±0,11 | 2,75±0,40 |
| 2014 | 3,44±0,09 | 2,57±0,09 | 2,38±0,07 | 2,14±0,04 | 2,35±0,10 | 1,99±0,07 |
| 2015 | 2,28±0,05 | 2,55±0,03 | 2,50±0,11 | 2,13±0,05 | 2,19±0,09 | 2,30±0,04 |

В целом, полученные нами величины пигментного индекса свидетельствуют о благополучном физиологическом состоянии фитопланктона в собственно море и Таганрогском заливе за исследованный период (см. табл. 1). Показано, что каротиноиды, взаимодействуя с синглетным кислородом, который инициирует процессы свободнорадикального окисления органических веществ, переводят его в основное состояние:



Таким образом, увеличение концентрации каротиноидов в Таганрогском заливе обусловлено, по всей видимости, определенной защитной функцией данных фитопигментов при интенсивном развитии биомассы фитопланктонного сообщества.

Некоторые исследователи на основе высоких коэффициентов корреляции между суммарным содержанием каротиноидов и биомассой фитопланктона рекомендуют оценивать биомассу водорослей именно по количеству растительных каротиноидов (Ляшенко 2004; Foy, 1987; Yacobi et al., 1996). В нашем исследовании также установлена достоверная корреляционная взаимосвязь биомассы фитопланктона и уровня каротиноидов в Таганрогском заливе ($r=0,73$, $p<0,01$) и собственно море ($r=0,61$, $p<0,01$).

ВЫВОДЫ

1. Таганрогский залив характеризуется более высокими показателями содержания хлорофилла «а» при высокой биомассе фитопланктона в отличие от собственно моря.
2. Интенсивное развитие биомассы фитопланктонного сообщества в Таганрогском заливе сопровождается увеличением уровня каротиноидов в клетках фитопланктона, которые, возможно, выполняют важнейшую антиоксидантную функцию.
3. В Таганрогском заливе и собственно море установлена корреляционная взаимосвязь биомассы фитопланктонного сообщества с уровнем каротиноидов и содержанием хлорофилла «а».

Список литературы

- Зенкевич А.А. Биология морей СССР. – М.: АН СССР, 1963.– 415 с.
- Ленинджер А. Основы биохимии (Пер. с англ.). - М.: Мир, Т.2, 1985.– 368 с.
- Ляшенко О.А. Растительные пигменты как показатели биомассы фитопланктона в мелководном эвтрофном озере // Проблемы региональной экологии, № 5, 2004.– С. 6-14.
- Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде Волжских водохранилищ. – М.: Наука, 2004.– 156 с.
- Одум Ю. Основы экологии. - М.: Мир, 1975.- 740 с.
- Сигарева Л.Е., Ляшенко О.А. Значимость пигментных характеристик фитопланктона при оценке качества воды // Водные ресурсы, № 4, 2004.- С. 475-480.
- Скопинцев В.Г. Физиология растений и животных / Учебное пособие. – СПб.: Проспект Науки, 2013.– 368 с.
- Студеникина Е.И., Алдакимова А.Я., Губина Г.С. Фитопланктон Азовского моря в условиях антропогенных воздействий.– Ростов н/Д., 1999.– 175 с.
- Foy R.H. A comparison of chlorophyll-a and carotenoid concentrations as indicators of algal volume // Freshwater Biology, Vol. 17, 1987.- P. 237-250.
- Parsons T.R., Strickland J.D.H. Discussion on spectrophotometric determination of marine plant pigments with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids // J. Marine Res., Vol. 3, 1963.– P. 155-163.
- Yacobi Y.Z., Pollinger U., Gonen Y. et al. HPLC analysis of phytoplankton pigments from Lake Kinneret with special reference to the bloom-forming dinoflagellate *Peridinium gatunense* (Dinophyceae) and chlorophyll degradation products // J. Plankton Res., Vol. 10, 1996.– P. 1781-1796.

CHARACTERISTIC CHANGES IN THE CHLOROPHYLL “A” AND CAROTENOIDS OF PHYTOPLANKTON IN THE SURFACE WATERS OF THE AZOV SEA OVER THE PERIOD 2006-2015

Kosenko Yu.V., Shevtsova E.A., Baskakova T.E.

The seasonal and annual dynamics of chlorophyll “a” and carotenoids of the Azov Sea phytoplankton over the last 10 years have been studied. The intensive development of the phytoplankton biomass in the Taganrog Bay is shown to be accompanied by increasing levels of carotenoids, which are supposed to perform an antioxidant function.

Key words: chlorophyll “a”, carotenoids, phytoplankton.

УДК 639.222.2.053.7(262.5)

ДИНАМИКА ПРОМЫСЛОВОГО ЗАПАСА ЧЕРНОМОРСКО-АЗОВСКОЙ ПРОХОДНОЙ СЕЛЬДИ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АНТРОПОГЕННЫХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

И.Д. Кузнецова

В работе рассмотрена динамика промыслового запаса черноморско-азовской проходной сельди за период 1990-2015 гг. Проанализированы факторы, влияющие на состояние запаса, рассмотрены многолетние данные по динамике численности сельди.

Ключевые слова: промысловые запасы, динамика численности, черноморско-азовская проходная сельдь.

Черноморско-азовская проходная сельдь *Alosa immaculate* [Bennett] 1835 является одним из наиболее древних представителей ихтиофауны Азовского моря настоящее время играет немаловажную роль в промысле. Ей было посвящено много рыбохозяйственных исследований. В 1922-1924 гг. были осуществлены работы Азово-Черноморской