СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦИКЛА УГЛЕРОДА В АЗОВСКОМ МОРЕ

В.В. Сорокина

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, г. Ростов-на-Дону
v.sorok@mail.ru

Аннотация. Выполнен аналитический обзор исследований цикла углерода в прибрежных водах мирового океана. Авторы литературных обзоров подчеркивают важность региональных исследований для уточнения оценок вклада прибрежных вод в глобальный баланс углерода, а также их отклика на глобальные изменения климата. Кроме того, понимание круговорота углерода в прибрежных водах необходимо для решения ряда экологических, социальных и экономических проблем. В настоящей работе представлены результаты синтеза научных знаний о разных элементах цикла углерода в Азовском море: первичной продукции органического вещества (ОВ), содержании ОВ и карбоната кальция в воде и донных осадках моря, латеральных источниках органического углерода и карбонатов. Высокопродуктивное Азовское море главным образом рассматривалось ранее с точки зрения его рыбных ресурсов. Современные представления о балансе органического углерода, насыщении вод Азовского моря свободной угольной кислотой и обмене CO_2 с атмосферой базируются на оценках, выполненных в середине XX века, в то время как изменения в экосистеме Азовского моря, связанные с флуктуациями климата и антропогенной нагрузкой, хорошо документированы начиная с середины 1980-х годов. Актуальными становятся следующие вопросы. Продолжает ли Азовское море оставаться источником CO_2 в атмосферу? Если это так, то почему это происходит и какие факторы являются главными; как этот процесс распределен во времени и пространстве; что следует ожидать в перспективе? Если это не так, то важно понять, что и почему на это повлияло в большей степени? Сформулирован ряд научных гипотез, требующих дальнейшей разработки.

Ключевые слова: цикл углерода, органический углерод, карбонатная система, Азовское море.

Климат и углеродный цикл неразрывно связаны между собой. Поэтому для понимания причин и механизмов климатических изменений и их последствий особое внимание уделяют геохимическому циклу углерода, который происходит через атмосферу и гидросферу.

Прибрежные воды, занимая относительно небольшую площадь поверхности Земли, являются регионами интенсивной переработки, обмена и экспорта углерода, и тем самым оказывают значительное влияние на глобальные биогеохимические циклы и, следовательно, на климат. В литературных обзорах, посвященных циклу углерода [1–3], подчеркивают важность региональных исследований для уточнения оценок вклада прибрежных вод в глобальный баланс углерода, а также их отклика на глобальные изменения. Кроме того, понимание круговорота углерода в прибрежных водах необходимо для решения ряда экологических, социальных и экономических проблем, связанных с гипоксией, эвтрофикацией и подкислением вод, вредным цветением водорослей, устойчивостью рыбных промыслов, а также потерей приливно-отливных водно-болотных угодий и других прибрежных систем в качестве крупных поглотителей и резервуаров углерода вследствие повышения уровня моря.

Углерод существует в прибрежных водах в различных химических формах, в том числе в живой материи, органическом веществе, углекислом газе

(CO_2), метане (CH_4) и в карбонате кальция (CaCO_3).

Применительно к Азовскому морю общая схема обмена углеродом и биогенными элементами между сушей, морскими водами и атмосферой представлена на рисунке 1.

Перемещение, хранение и преобразование углерода, а также обмен углеродом и биогенными элементами между сушей, прибрежными водами и атмосферой зависит от климатических условий и разных факторов среды. Так, например, растворимость и распространение CO_2 в природных водах зависит от физических (температура, перемешивание), химических (химия карбонатов) и биологических (биологическая продуктивность) факторов.

Азовское море – относительно небольшой (общая площадью 39 тыс. км²), мелководный (средняя глубина – 8.4 м), слабосоленый (среднеголетняя соленость – 10–12‰) водоем, замыкающий цепь средиземноморских морей, связанных с Атлантическим океаном. Две крупных реки, Дон и Кубань, обеспечивают более 95 % стока воды в море. Благодаря поступлению большого количества биогенных элементов с речными водами в растворенном и взвешенном состоянии, хорошему обмену веществом между водой и донными отложениями, водой и воздухом, достаточному прогреву водной толщи значительную часть года Азовском море характеризуется высокими значениями биологической продукции.

Рис. 1. Схема обмена углеродом и биогенными элементами между сушей, прибрежными водами и атмосферой. DIC – пул неорганического углерода, Corg – пул органического углерода, P – фотосинтез и R – дыхание (биологически обусловленные обмены между пулами неорганического и органического углерода)

До 1920-х годов Азовское море оставалось почти неисследованным. В XX веке это высокопродуктивное море главным образом рассматривалось с точки зрения его рыбных ресурсов; выполнялись исследования гидрохимических основ рыбопродуктивности (Труды ВНИРО, АзНИИРХ, работы ГОИН, ГМО ЧАМ), включающие определения элементов карбонатной системы моря. Сама же по себе карбонатная система водоема и обмен диоксидом углерода с атмосферой мало изучены. Наиболее подробное и практически единственное исследование, характеризующее Азовское море как незначительный источник CO_2 в атмосферу, выполнено в конце 1950-х – начале 1960-х гг. [4]. В тот же период времени был составлен ориентировочный баланс органического углерода Азовского моря [5], на который ссылаются в современной литературе (например, [6, 7]). Геохимические закономерности накопления терригенного материала, карбоната кальция и органического углерода определены во второй половине XX века [8, 9].

Азовский бассейн является областью взаимодействия одного из наиболее развитых индустриально-аграрных комплексов России и морской экосистемы уже более 70 лет. Крупномасштабные изменения в практике землепользования и управления водными ресурсами в бассейне Азовского моря в XX – XXI вв., а также изменения температуры и осадков в результате изменения климата оказывают влияние на источники и стоки углерода.

В данном мелководном море, где взаимодействие всех сред проявляется наиболее интенсивно, экосистема чутко и быстро реагирует на изменение внешних условий – сток рек, параметры климата и пр., что может приводить к изменениям составляющих углеродного баланса, потоков CO_2 через границу вода – атмосфера.

В результате перестройки климата в Азовском регионе наблюдается увеличение среднегодового количества осадков (по сравнению с первой половиной XX в); рост температур воздуха (в годовом исчислении на вековом отрезке времени до $0.08\text{ }^\circ\text{C/год}$); рост годовых температур воды у побережья (около $1\text{ }^\circ\text{C}$ за 100 лет); уменьшение средней ледовитости Азовского моря примерно в 2 раза (с 30 % в 1980-х гг. до 16 % в начале XXI в.) [10]. В вековом ряду наблюдений за соленостью Азовского моря четко прослеживается чередование периодов опреснения и осолонения. С 2007 г. море находится в очередном периоде осолонения, более выраженном, чем считавшееся катастрофическим осолонением 1970-х гг. Текущее состояние Азовского моря (значительная положительная аномалия температуры и солености вод) не отмечалось ранее в истории исследования данного водоема, а увеличение среднего квадратичного отклонения рядов среднегодовых значений как по солености, так и по температуре воды может говорить об увеличении изменчивости этих характеристик в современный период [10].

Существует мнение, что в Азовском море первичная продукция органического вещества увеличилась в течение второй половины XX века примерно в 2 раза [11], с этим связывают рост содержания органического углерода (C_{org}) в донных отложениях [12–14] на 30–50 % в период 1992–2006 гг. по отношению к периоду 1971–1987 гг. В этой связи логично было бы предположить, что теперь больше CO_2 поглощается в процессе образования органического вещества и захоранивается в донных осадках при седиментации, т.е. роль Азовского моря меняется в сторону возможного стока CO_2 из атмосферы.

Однако другие исследования, основанные на данных спутникового мониторинга концентрации хлорофилла «а», показывают, что современный уровень первичной продукции в экосистеме моря не изменился по сравнению с предшествующим периодом [15], но наблюдается смещение максимума биомассы фитопланктона с весеннего на летне-осенний период [16].

Отмечаются изменения в динамике растворенного кислорода в Азовском море [17, 18], увеличение числа заморных явлений [19], что может свидетельствовать об интенсификации процессов окисления органического вещества в придонном слое и донных отложениях с выделением CO_2 в воду.

Описанные ранее [8] условия осадконакопления в Азовском море изменились [20–23]. Показано, что уменьшение общей интенсивности терригенной седиментации в результате сокращения в 2.5 раза объема поступающего с суши вещества, может быть причиной относительного увеличения органического углерода в осадках.

В дальнейших исследованиях предполагается проверить гипотезу, что в связи с наблюдаемыми изменениями климатических условий и последствиями антропогенной деятельности на водосборе и в акватории роль биогенных процессов карбонатообразования может еще больше увеличиться по сравнению с терригенными и хемогенными процессами.

В связи с изменением температуры и солёности вод Азовского моря происходит изменение видового состава и ареалов обитания бентосных сообществ, в том числе моллюсков. Уменьшилось количество потребителей бентоса (прежде всего рыб-бентофагов).

Отмечается увеличение карбонатности донных осадков (например, [24]), с чем также можно было бы связать увеличение выхода CO_2 в воду в результате образования карбоната кальция.

Ранее было показано, что среди внешних (терригенных) источников карбонатного материала основная роль принадлежит рекам, с которыми в растворенной форме его поступает 59 % [9]. Но

в настоящее время вынос растворенных и взвешенных карбонатных солей с реками изменился, что требует уточнения выполненных оценок.

При рассмотрении закономерностей карбонатообразования большое внимание уделено переходной зоне река – море [9], т.н. маргинальному фильтру [25] и хемогенному процессу карбонатообразования. Вместе с тем, мало внимания уделено процессам поступления карбонатов при абразии берегов и их дальнейшей судьбе в прибрежной зоне. Карбонатный материал, попадая в воду, может перемещаться водными потоками, выпадать в осадок или растворяться. В частности, если карбонаты абразии берегов растворяются, то это может быть дополнительным источником CO_2 в воде. Однако эта гипотеза нуждается в экспериментальной проверке, т.к. считается [4], что воды Азовского моря в среднем за год несколько пересыщены свободной углекислотой.

Проблема корректировки и дополнения баланса углерода в Азовском море определяет актуальность дальнейших исследований. В последних работах [26–28] выполнена оценка не учтенных ранее приходных статей и переоценка остальных статей баланса органического углерода на основе новых данных. Из-за отсутствия достоверных сведений о скорости деструкции органического (ОВ) вещества в донных отложениях в современный период баланс ОВ не замкнут. Необходимо также уточнить баланс карбоната кальция; оценки терригенного, биогенного и хемогенного карбонатного материала.

В то время как определение источников и стоков углекислого газа, исследование цикла углерода, с включением важных связей между наземными и морскими экосистемами, находятся на переднем плане современной науки, для Азовского моря, сопоставимого по площади с некоторыми европейскими странами, эти проблемы практически не изучены.

Исследование карбонатной системы и цикла углерода Азовского моря представляет интерес с точки зрения Киотского протокола к Рамочной конвенции по изменению климата, одной из задач которого является инвентаризация источников и поглотителей парниковых газов, включая природные системы.

Кроме того, изменение величин давления углекислоты по сезонам хорошо отражает состояние и напряженность происходящих в море биохимических процессов. Накопление CO_2 у дна и дефицит кислорода приводит к заморам, создавая неблагоприятные условия для обитателей моря, а иногда являясь причиной их гибели.

В практическом плане оценки элементов карбонатной системы вод Азовского моря могут быть полезны для целей гидротехнического строитель-

ства, в частности для уточнения агрессивных свойств морской среды. Содержание растворенного кислорода, водородный показатель и щелочность являются гидрохимическими элементами, вызывающими коррозию металлов и агрессивны по отноше-

нию к другим строительным материалам, в первую очередь к бетону.

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН на 2020 г., № гр. проекта 01201363188

Используемые источники

1. Benway H., Alin S., Boyer E., Cai W.-J., Coble P., Cross J., Friedrichs M., Goñi M., Griffith P., Herrmann M., Lohrenz S., Mathis J., McKinley G., Najjar R., Pilskaln C., Siedlecki S., Smith R., 2016. A Science Plan for Carbon Cycle Research in North American Coastal Waters. Report of the Coastal CARbon Synthesis (CCARS) community workshop, August 19–21, 2014, Ocean Carbon and Biogeochemistry Program and North American Carbon Program, 84 pp., doi: 10.1575/1912/7777.
2. Ward N.D., Bianchi T.S., Medeiros P.M., Seidel M., Richey J.E., Keil R.G., Sawakuchi H.O. (2017) Where Carbon Goes When Water Flows: Carbon Cycling across the Aquatic Continuum. *Front. Mar. Sci.* 4:7. doi: 10.3389/fmars.2017.00007.
3. Lønborg C., Carreira C., Jickells T. and Álvarez-Salgado X.A. (2020) Impacts of Global Change on Ocean Dissolved Organic Carbon (DOC) Cycling. *Front. Mar. Sci.* 7:466. doi:10.3389/fmars.2020.00466.
4. Цурикова А.П., Шульгина Е.Ф. Гидрохимия Азовского моря. Л., Гидрометеиздат, 1964. 258 с.
5. Дацко В.Г. Органическое вещество в водах южных морей СССР. М.: Издательство Академии наук СССР, 1959. 271 с.
6. Максимова М.П. Сравнительная гидрохимия морей. // Новые идеи в океанологии. Т. 1: Физика. Химия. Биология / Отв. ред. М.Е. Виноградов, С.С. Лаппо. М.: Наука, 2004. С. 164–189.
7. Агатова А.И. Органическое вещество в морях России. М.: Издательство ВНИРО, 2017. 260 с.
8. Хрусталева Ю.П. Закономерности осадконакопления во внутриконтинентальных морях аридной зоны. Л.: Наука, 1989. 261 с.
9. Хрусталева Ю.П. Основные проблемы геохимии седиментогенеза в Азовском море. Апатиты: Издательство КНЦ РАН, 1999. 247 с.
10. Бердников С.В., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В. Климатические условия и гидрологический режим Азовского моря в XX – начале XXI вв. // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т.2, № 2, С.7–19.
11. Александрова З.В. Закономерности изменений химических основ биопродуктивности Азовского моря в 2008–2009 гг. // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна. Сборник научных трудов (2008–2009 гг.). Ростов-на-Дону, ФГУП «АзНИИРХ», 2011. С. 11–28.
12. Толоконникова Л.И., Студеникина Е.И. Содержание органического вещества в донных отложениях Азовского моря. // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна. Сборник научных трудов. Ростов-на-Дону, 1998. С. 100–103.
13. Студеникина Е.И., Мирзоян З.А., Сафронова Л.М. Характеристика экосистемы Азовского моря в условиях изменения природных и антропогенных факторов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2006. № 9. С. 67–70.
14. Федоров Ю.А., Доценко И.В., Кузнецов А.Н., Белов А.А., Логинов Е.А. Закономерности распределения Сорг в донных отложениях российской части Азовского моря // Океанология. 2009. Т.49, №2. С. 229–236.
15. Бердников С.В., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В., Поважный В.В. Оценка первичной продукции Азовского моря по данным дистанционного зондирования // Наука Юга России. 2018. Т. 14. № 2. С. 55–65. DOI 10.23885/2500-0640-2018-14-2-55-65
16. Сапрыгин В.В., Бердников С.В., Кулыгин В.В., Дашкевич Л.В., Местецкий Л.М. Пространственное распределение и сезонная динамика концентрации хлорофилла “а” в Азовском море по данным спутниковых снимков спектрометра MERIS // Океанология. 2018. Т. 58. № 5. С. 751–762. DOI 10.1134/S0030157418050131.
17. Кулыгин В.В., Дашкевич Л.В., Герасюк В.С. Баланс растворенного кислорода в водах Таганрогского залива в начале XXI в. // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов (“Опасные явления”) материалы Международной научной конференции (г. Ростов-на-Дону, 13–23 июня 2019 г.). Ростов-на-Дону. 2019. С. 72–76.
18. Бердников С.В., Клещенков А.В., Григоренко К.С., Олейников Е.П., Московец А.Ю., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В., Сорокина В.В., Соколов В.Г. Результаты морских научных исследований Южного Научного Центра Российской Академии Наук (ЮНЦ РАН) в Азовском море в 2003–2018 гг. Часть 1: Гидрология и гидрохимия // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т. 2. № 3. С. 7–19.
19. Александрова З.В., Баскакова Т.Е. Долженко С.В. Закономерности формирования кислородного режима и некоторые методические аспекты развития придонной гипоксии в Азовском море. // Материалы науч. конф. с междуна. участ. «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Ч. 1. Ростов-на-Дону, 8–10 сентября 2015 г. – Ростов-на-Дону: ФБГУ «Гидрохимический институт». 2015. С. 1–5.
20. Сорокина В.В. Особенности терригенного осадконакопления в Азовском море во второй половине XX века: дис... канд. географ. наук: 25.00.28: защищена 07.09.06: утв. 08.12.06 / Сорокина Вера Владимировна. – Ростов-на-Дону, 2006. – 198 с.

21. *Ивлиева О.В., Сорокина В.В.* Поступление эолового материала на акваторию Азовского моря // Современные проблемы аридных и семиаридных экосистем юга России: Сб. науч. статей. Отв. ред. Г.Г. Матишов. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2006. С. 493–504.
22. *Сорокина В.В., Бердников С.В.* Математическое моделирование терригенного осадконакопления в Азовском море. // Океанология. 2008. Т.48. № 3. С. 456–466.
23. *Berdnikov S.V., Sorokina V.V.* Influence of climate and anthropogenous activity on the terrigenous sedimentation dynamics of the Sea of Azov in the second part of the XXth century. 7th international conference Environmental Problems in Coastal Regions. Ed. by: C.A. Brebbia, Wessex Institute of Technology, UK. Series: WIT Transactions on The Built Environment. 2008. V. 99, pp. 171–178.
24. *Александрова З.В., Баскакова Т.Е.* Оценка тенденций изменения химических основ биологической продуктивности Азовского моря в современный период. // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна: Сб. науч. Трудов (2000–2001 гг.). Под ред. С.П. Воловика. М.: Вопросы рыболовства. 2002. С. 26–37.
25. *Лисицын А.П.* Маргинальный фильтр океанов // Океанология, 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
26. *Сорокина В.В.* Оценка латеральных потоков органического углерода в Азовское море. // Материалы междунар. науч. конф. «Изучение и освоение морских и наземных экосистем в условиях арктического и аридного климата» (Ростов-на-Дону, 6–11 июня 2011 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. С. 92–97.
27. *Сорокина В.В., Бердников С.В.* К оценке баланса органического вещества в Азовском море // Экология. Экономика. Информатика (7–12 сентября 2014) Сборник статей. Т.1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Изд-во Южного федерального университета. Ростов-на-Дону, 2014. С. 236–242.
28. *Сорокина В.В., Герасюк В.С., Соьер В.Г.* Пространственная и временная изменчивость органического углерода в водах Нижнего Дона и Таганрогского залива в 2006–2018 гг. // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2019. Т. 1. № 4. С. 116–120. DOI: 10.23885/2500-395X-2019-1-4-116-120.

CURRENT CHALLENGES OF THE CARBON CYCLE RESEARCH IN THE SEA OF AZOV

V.V. Sorokina

Federal Research Centre The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Science

v.sorok@mail.ru

Abstract. A review of the carbon cycle studies in the coastal waters of the World Ocean was carried out. The authors of the literature reviews emphasize the importance of regional studies to refine estimates of the contribution of coastal waters to the global carbon balance, as well as their response to global climate change. In addition, understanding the carbon cycle in coastal waters is necessary to address a range of environmental, social and economic issues. This work presents the results of the synthesis of scientific knowledge about different elements of the carbon cycle in the Sea of Azov: primary production of organic matter (OM), OM and calcium carbonate content in water and bottom sediments of the sea, lateral sources of organic carbon and carbonates. The highly productive Sea of Azov was mainly considered earlier in terms of its fish resources. Current understanding of the balance of organic carbon, the saturation of the waters of the Sea of Azov with free carbonic acid, and the exchange of CO₂ with the atmosphere are based on estimates made in the middle of the 20th century, while changes in the ecosystem of the Sea of Azov associated with climate fluctuations and anthropogenic stress have been well documented since the mid-1980s. The following questions become relevant. Does the Sea of Azov continue to be a source of CO₂ into the atmosphere? If so, why is this happening and what are the main factors; how this process is distributed in time and space; what should be expected in the future? If this is not the case, then it is important to understand what and why influenced it the most? A number of scientific hypotheses are formulated that require further development.

Keywords: carbon cycle, organic carbon, carbonate system, the Sea of Azov

References

1. Benway H., Alin S., Boyer E., Cai W.-J., Coble P., Cross J., Friedrichs M., Goñi M., Griffith P., Herrmann M., Lohrenz S., Mathis J., McKinley G., Najjar R., Pilskaln C., Siedlecki S., Smith R., 2016. A Science Plan for Carbon Cycle Research in North American Coastal Waters. Report of the Coastal CARBON Synthesis (CCARS) community workshop, August 19–21, 2014, Ocean Carbon and Biogeochemistry Program and North American Carbon Program, 84 pp., doi: 10.1575/1912/7777.
2. Ward N.D., Bianchi T.S., Medeiros P.M., Seidel M., Richey J.E., Keil R.G., Sawakuchi H.O. (2017) Where Carbon Goes When Water Flows: Carbon Cycling across the Aquatic Continuum. *Front. Mar. Sci.* 4:7. doi: 10.3389/fmars.2017.00007.
3. Lønborg C., Carreira C., Jickells T. and Álvarez-Salgado X.A. (2020) Impacts of Global Change on Ocean Dissolved Organic Carbon (DOC) Cycling. *Front. Mar. Sci.* 7:466. doi:10.3389/fmars.2020.00466.
4. Tsurikova A.P., Shulgina E.F. (1964) *Gidrokimiya Azovskogo morya* [Hydrochemistry of the Sea of Azov]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 258 p. (In Russian).
5. Datsko V.G. (1959) *Organicheskoe veshchestvo v vodakh yuzhnykh morey SSSR* [Organic matter in the waters of the southern seas of the USSR]. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ.: 271p. (In Russian).
6. Maksimova M.P. (2004) Comparative hydrochemistry of the seas. In: *Novye idei v okeanologii* [New ideas in Oceanology. V. 1: Physics. Chemistry. Biology / Ed. by M.E. Vinogradov, S.S. Lappo]. Moscow, Nauka: 164–189. (In Russian).
7. Agatova A.I. (2017) *Organicheskoe veshchestvo v moryakh Rossii* [Organic matter in the seas of Russia]. Moscow, VNIRO Publ.: 260 p. (In Russian).
8. Khrustalev Yu.P. (1989) *Zakonomernosti osadkonakopleniya vo vnutrikontinental'nykh moryakh aridnoy zony* [Regularities of Sedimentation in Inland Seas of the Arid Zone]. Leningrad, Nauka: 261 p. (In Russian).
9. Khrustalev Yu.P. (1999) *Osnovnye problemy geokhimii sedimentogeneza v Azovskom more* [The fundamental problems of the sedimentogenesis geochemistry in the Azov Sae]. Apatity, Print. KSC RAS: 247 p. (In Russian).
10. Berdnikov S.V., Dashkevich L.V., Kulygin V.V. (2019) Climatic conditions and hydrological regime of the Sea of Azov in the XX – early XXI centuries. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya* [Aquatic Bioresources & Environment]. 2(2):7–19 [in Russian].
11. Aleksandrova Z.V. (2011) Regularities of changes in the chemical basis of the bioproductivity of the Azov Sea in 2008–2009. In: *Osnovnye problemy rybnogo khozyaystva i okhrany rybokhozyaystvennykh vodoemov Azovo-Chernomorskogo basseyna*. [The main problems of fisheries and the protection of fishery water bodies in the Azov-Black Sea basin. Collection of scientific papers (2008–2009)]. Rostov-on-Don, Azov Sea Research Institute of Fishery: 11–28. (In Russian).
12. Tolokonnikova L.I., Studenikina E.I. (1998) Contents of organic matter in the bottom sediments of the Sea of Azov. In: *Osnovnye problemy rybnogo khozyaystva i okhrany rybokhozyaystvennykh vodoemov Azovo-Chernomorskogo basseyna*. [The main problems of fisheries and the protection of fishery water bodies in the Azov-Black Sea basin. Collection of scientific papers]. Rostov-on-Don, Azov Sea Research Institute of Fishery: 100–103. (In Russian).
13. Studenikina E., Mirzoyan Z., Safronova L. (2006) The characteristics of the Sea of Azov ecosystem under conditions of natural and anthropogenous factors change. *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse*. 9:67–70 (In Russian).
14. Fedorov Yu.A., Dotsenko I.V., Kuznetsov A.N., Belov A.A., Loginov E.A. (2009) Regularities of Organic Carbon Distribution in Bottom Sediments of the Russian Part of the Sea of Azov. *Oceanology*. 49(2):211–217 (In English).

15. *Berdnikov S.V., Dashkevich L.V., Kulygin V.V., Povazhnyy V.V.* (2018) Assessment of primary productivity in the Sea of Azov based on remote sensing data. *Nauka Yuga Rossii [Science in the South of Russia]*. 14(2):55–65 (In Russian).
16. *Saprygin V.V., Berdnikov S.V., Kulygin V.V., Dashkevich L.V., Mestetskiy L.M.* (2018) Spatial Distribution and Seasonal Dynamics of the Chlorophyll a Concentration in the Sea of Azov Based on MERIS Images. *Oceanology* 58(5):689–699. DOI 10.1134/S0001437018050132 (In English).
17. *Kulygin V.V., Dashkevich L.V., Gerasyuk V.S.* (2019) The balance of dissolved oxygen in the Taganrog Bay in the early 21st century. In: *Zakonomnosti formirovaniya i vozdeystviya morskikh, atmosferykh opasnykh yavleniy i katastrof na pribrezhnuyu zonu RF v usloviyakh global'nykh klimaticheskikh i industrial'nykh vyzovov ("Opasnye yavleniya")* [Regularities of Formation and Impact of Marine and Atmospheric Hazardous Phenomena and Disasters on the Coastal Zone of the Russian Federation under the Conditions of Global Climatic and Industrial Challenges ("Dangerous Phenomena")]. Proceedings of the International Scientific Conference (Rostov-on-Don, 13–23 June 2019). Rostov-on-Don: SSC RAS Publishers. Pp. 72–76. (In Russian).
18. *Berdnikov S.V., Kleshchenkov A.V., Grigorenko K.S., Oleinikov E.P., Moskovets A. Yu., Dashkevich L.V., Kulygin V.V., Sorokina V.V., Soier V.G.* (2019) Results of Marine Scientific Research of the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (SSC RAS) in the Sea of Azov in 2003–2018 Part 1: Hydrology and Hydrochemistry. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya [Aquatic Bioresources and Environment]*. 2(3):7–19 (In Russian).
19. *Aleksandrova Z.V., Baskakova T.E., Dolzhenko S.V.* (2015) Regularities of oxygen regime formation and some methodological aspects of the development of bottom hypoxia in the Sea of Azov. In: *Materialy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Sovremennyye problemy gidrokhimii i monitoringa kachestva poverkhnostnykh vod»*. [Proceedings of the scientific conference with international participation "Modern problems of hydrochemistry and monitoring of surface water quality". Part 1. Rostov-on-don, September 8–10, 2015]. Rostov-on-Don: Federal State budgetary institution «Gidrokhimicheskiy institut». Pp.1–5 (In Russian).
20. *Sorokina V.V.*, Extended Abstract of Doctoral Dissertation in Geography (YuNTs RAN, Rostov-na-Donu, 1991) (In Russian).
21. *Ivlieva O.V., Sorokina V.V.* (2006) The Eolian Matter Entry on the Water Area of Azov Sea. In: *Sovremennyye problemy aridnykh i semiaridnykh ekosistem yuga Rossii [Modern Problems of Arid and Semiarid Ecosystems of the South of Russia]*. Collection of scientific articles. Ed. by G.G. Matishov. Rostov-on-Don: SSC RAS Publishing-house. Pp. 493–504 (In Russian).
22. *Sorokina V.V., Berdnikov S.V.* (2008) Mathematical Modeling of the Terrigenous Sedimentation in the Sea of Azov. *Oceanology, Pleiades Publishing, Ltd.*: 48 (3), 440–449 (In English).
23. *Berdnikov S.V., Sorokina V.V.* (2008) Influence of climate and anthropogenous activity on the terrigenous sedimentation dynamics of the Sea of Azov in the second part of the XXth century. 7th international conference Environmental Problems in Coastal Regions. Ed. by: C.A. Brebbia, Wessex Institute of Technology, UK. Series: WIT Transactions on the Built Environment. Vol 99, pp. 171–178 (In English).
24. *Aleksandrova Z.V., Baskakova T.E.* (2002) Evaluation of trends in the chemical foundations of biological productivity of the Sea of Azov in the modern period. In: *Osnovnye problemy rybnogo khozyaystva i okhrany rybokhozyaystvennykh vodoemov Azovo-Chernomorskogo basseyna*. [The main problems of fisheries and the protection of fishery water bodies in the Azov-Black Sea basin. Collection of scientific papers (2000–2001) Ed. by S.P. Volovik]. M.: Voprosy rybolovstva. Pp. 26–37 (In Russian).
25. *Lisitsyn A.P.* (1994) Marginal'nyy fil'tr okeanov [The marginal filter of the ocean]. *Okeanologiya [Oceanology]*: 34(5), 735–747 (In Russian).
26. *Sorokina V.V.* (2011) Assessment of lateral flows of organic carbon into the Sea of Azov. In: *Izucheniye i osvoeniye morskikh i nazemnykh ekosistem v usloviyakh arkticheskogo i aridnogo klimata* [Studying and exploration of marine and terrestrial ecosystems under the Arctic and arid climate conditions]. Proceedings of the International Scientific Conference (Rostov-on-Don, 6–11 June 2011). Rostov-on-Don: SSC RAS Publishers. Pp. 92–97 (In Russian).
27. *Sorokina V.V., Berdnikov S.V.* (2014) Assessment of the balance of organic matter in the Sea of Azov. In: *Ekologiya. Ekonomika. Informatika (7–12 sentyabrya 2014) Sbornik statey. T.1: Sistemnyy analiz i modelirovaniye ekonomicheskikh i ekologicheskikh system* [Ecology. Economy. Informatics (September 7–12, 2014) Collection of articles. Volume 1: Systems analysis and modeling of economic and ecological systems]. Rostov-on-Don: Southern Federal University Publishers. Pp. 236–242 (In Russian).
28. *Sorokina V.V., Gerasyuk V.S., Soier V.G.* (2019) Spatial and Temporal Variability of Organic Carbon Concentration in the Lower Don and the Taganrog Bay in 2006–2018 // *Ecology. Economy. Informatics. System analysis and mathematical modeling of ecological and economic systems*. Rostov on Don: Southern Scientific Center of RAS Publishers. Pp. 116–120. DOI: 10.23885/2500–395X-2019–1-4–116-120) (In Russian).