

УДК 574.583:577.1(262.5)

БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННОГО БАЛАНСА МИКРОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ В ОСЕННИЙ И ВЕСЕННИЙ СЕЗОНЫ *

Сысоев А.А., Сысоева И.В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
г Севастополь, Российская Федерация,
e-mail: alexsysyoev@yandex.ru, Innavik2015@yandex.ru

Работа основана на материале, собранном в рейсах НИС «Профессор Водяницкий» в сезоны, близкие по гидрофизическим характеристикам: в октябре 2016 г. и в марте-апреле 2017 г. Были рассмотрены вариации распределения гетеротрофно-фотоавтотрофного индекса микропланктона (НРІ), на основе соотношений концентраций АТФ (как показателя метаболически активной биомассы) и хлорофилла *a* (как показателя фотоавтотрофной ее части). Применен метод оценки соотношений биомасс гетеротрофной и фотоавтотрофной составляющих микропланктона, проведена оценка продукционно-деструкционной сукцессии сообщества. Показано, что в осенний сезон исследованные воды полигона, опираясь на содержание АТФ, можно оценить как мезотрофные, в весенний – близкие к эвтрофным. Судя по НРІ, в осенний сезон на большей части акватории доминировали гетеротрофные формы микропланктона, в весенний – паритетные соотношения гетеротрофного и фотоавтотрофного микропланктона. При сравнении распределения метаболически активной биомассы и НРІ, в осенний сезон стадию продукционно-деструкционной сукцессии микропланктона можно охарактеризовать как развивающуюся, в весенний – как зрелую.

Ключевые слова: Черное море; микропланктон; АТФ; НР-индекс; осенний и весенний сезоны.

Введение

В практике гидробиологических исследований перспективных для промысла районов Мирового океана одной из наиболее важных целей является оценка продуктивности исследуемых вод. В приложении к экосистеме пелагиали одной из важных задач является оценка состояния базового трофического звена – микропланктона (Beers, 1971). От того, какие процессы доминируют, продукционные или деструкционные, зависит рост или снижение биомассы (Виноградов, 1983) и, соответственно, кормовой базы для консументов более высокого порядка. В этой связи, целесообразно проводить оценку гетеротрофно-фотоавтотрофной ситуации, используя соотношения концентраций АТФ и хлорофилла *a* микропланктона. Исследования такого рода наиболее актуальны для наиболее продуктивного верхнего фотического слоя пелагиали. Сравнение продукционно-деструкционной ситуации микропланктонного сообщества именно весеннего и осеннего сезонов обусловлено тем, что они сходны по гидрофизическим условиям развития сообщества. Целью настоящей работы является обозначить сходство и различия развития микропланктонного сообщества в исследованных водах Черного моря в сезоны, сходные по гидрофизическим характеристикам.

Материалы и методы

Пробы микропланктона отбирали батометрами зонда «Sea Bird's» на горизонтах верхнего фотического слоя от 0 до глубины 30 м. Непосредственно после отбора пробы объемом 1,5 л осаждали методом вакуумной фильтрации на нитроцеллюлозные мембранные фильтры Sartorius диаметром 47 мм с размерами пор 0,45 мкм – для

* Работа выполнена по темам гос. регистрации № АААА-А18-118021490093-4 и № АААА-А18-118020790229-7.

анализов АТФ и хлорофилла *a* микропланктона. Рабочее вакуумное разрежение составляло -0,2 – -0,4 атм. Фильтры с осажденными пробами для анализа хлорофилла *a* высушивали в темном месте. Экстракцию АТФ проводили методом О. Holm-Hansen (Holm-Hansen, 1966): фильтры с осажденными пробами помещали в центрифужные пробирки, заливали 5 мл кипящего трис-ЭДТА-ацетатного буфера (рН = 7,75) и выдерживали в кипящей водяной бане в течение 5 минут. Затем экстракты разливали и укупоривали в пластиковые кюветы. Высушенные в темноте фильтры для анализа хлорофилла *a* и кюветы с экстрактами АТФ хранили в морозильной камере при температуре -18°C до дальнейшей обработки.

Трофность вод по концентрациям АТФ микропланктона определяли по критериям, предложенным D. Karl (Karl, 1980).

Для анализа хлорофилла *a* нитроцеллюлозные фильтры растворяли в 90% ацетоне, центрифугировали. Экстинкцию полученных элюатов измеряли на спектрофотометре Specol-11, (Carl Zeiss Jena). Расчет концентраций проводили по формуле Jeffrey S.W., Humphrey G.F. (Jeffrey, Humphrey, 1973–1974).

Анализ АТФ проводили хемилюминесцентным методом с добавлением в экстракт светлякового энзима – люциферин-люциферазы. Световую эмиссию реакции измеряли на приборе ATP Luminometer 1250, (LKB).

Гетеротрофно-фотоавтотрофный индекс (НРІ) рассчитываемый по формуле: $HPI = (C_{ATF}/C_{chl.a}) \cdot 100$, при величинах 10–20 означает паритетное соотношение биомасс гетеротрофных и фотоавтотрофных организмов микропланктонного сообщества. Значения индекса >20 свидетельствуют о гетеротрофном доминировании, <10 – о фотоавтотрофном, согласно критериям, разработанным Chiaudani G., Pagnotta R. (Chiaudani, Pagnotta, 1978). Используемое нами ранее сравнение содержания АТФ и хлорофилла *a* микропланктона позволило получить достаточно корректную оценку продукционно-деструкционных ситуаций в водах Черного моря и Антарктики (Sysoev, Sysoeva, 2002,2005; Сысоева и др., 2012; Сысоев и др., 2015).

Результаты и обсуждение

В осенний сезон, судя по содержанию АТФ микропланктона в верхнем фотическом слое, наиболее продуктивная его часть располагалась в середине исследованного района, повышенные концентрации локально располагались в северо-западной его части. В открытой части моря содержание АТФ составляло величины, характерные для олиготрофных вод (30–50 нг/л), в то время как в прибрежье Крыма оно было близким к мезотрофным характеристикам (до 75 нг/л), а в средней части полигона достигало величин, близких в эвтрофной оценке (около 250 нг/л) (рис. 1).

Распределение гетеротрофно-фотоавтотрофного индекса микропланктона верхнего фотического слоя имело сходную картину с распределением метаболически активной биомассы: те же локации максимальных значений рассматриваемых параметров, с малозначимыми инвариациями. Судя по значениям НРІ, в целом для верхнего фотического слоя в осенний сезон на исследованном полигоне величина метаболически активной биомассы в подавляющем значении определялась гетеротрофной частью биомассы микропланктона (рис. 2). Распределение метаболически активной биомассы микропланктона в меньшей степени, чем у продукционного потенциала зависело от близости береговой линии и глубины горизонта отбора проб.

Высокие концентрации АТФ не имели локальной привязки к близости береговой линии. Такое распределение может быть обусловлено тем, что органическая составляющая пищевой цепи не имела аллохтонного источника. По величинам концентраций АТФ воды исследуемого района можно отнести к мезотрофным (75–250 нг/л), с включением обширных зон, близких по значениям к эвтрофным (> 250 нг/л).

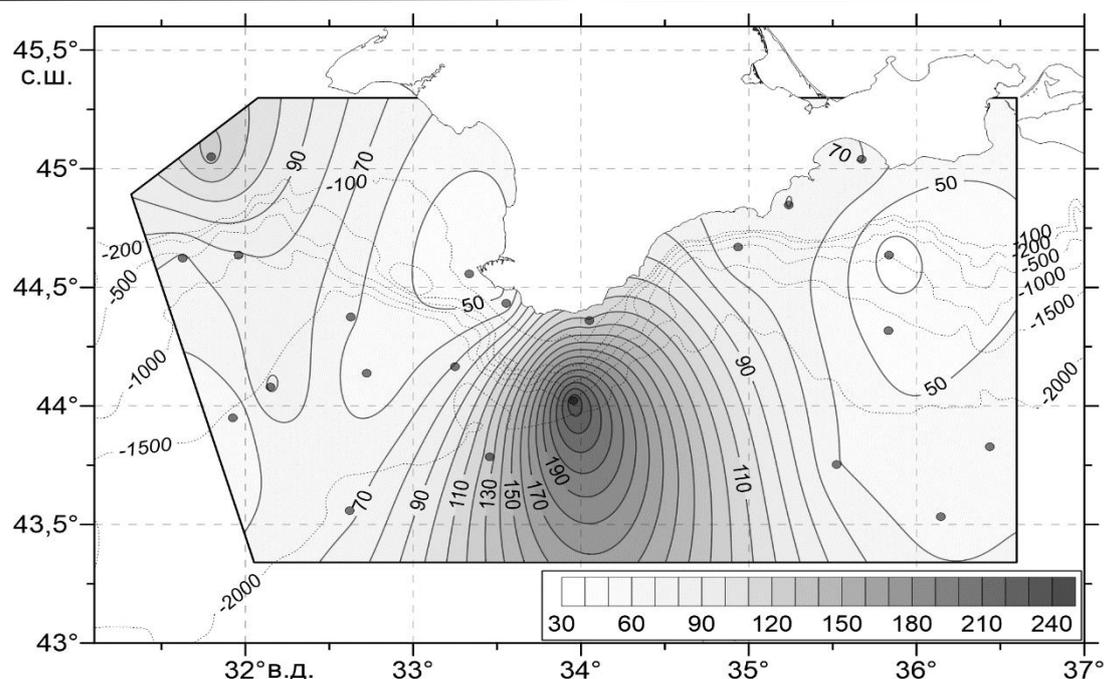


Рис. 1. Распределение АТФ микропланктона в верхнем фотическом слое прибрежья Крыма и глубоководья северной части Черного моря в октябре 2016 г

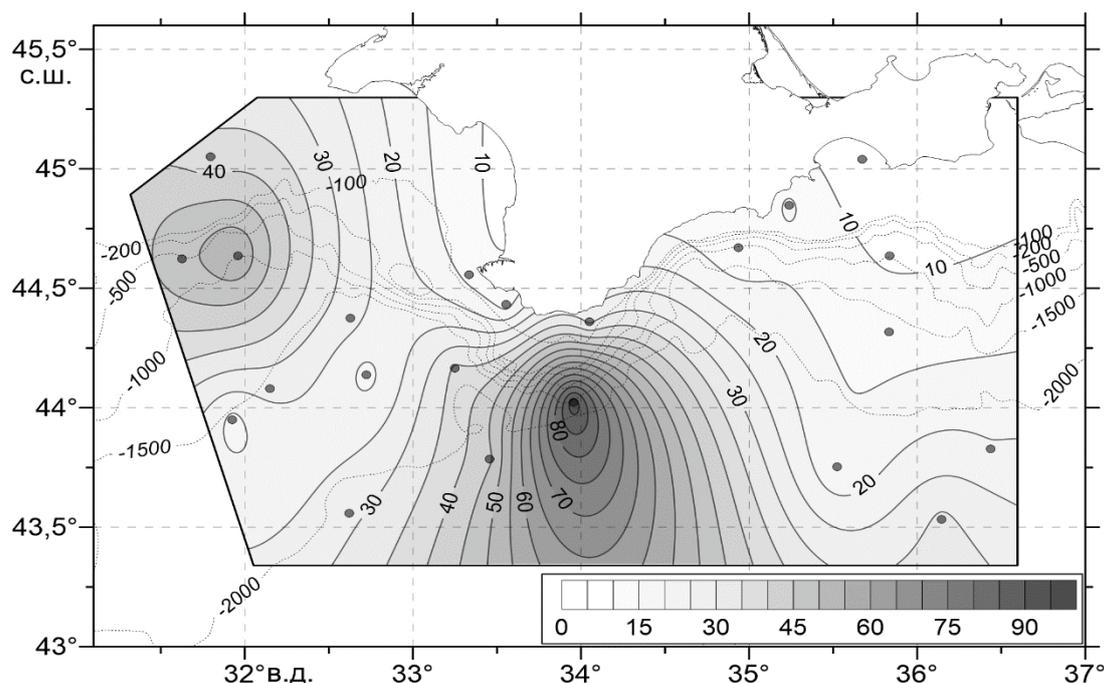


Рис. 2. Распределение НРІ микропланктона в верхнем фотическом слое прибрежья Крыма и глубоководья северной части Черного моря в октябре 2016 г

В весенний сезон на большей части полигона, судя по содержанию АТФ, содержание метаболически активной биомассы достигало величин, характерных для мезотрофных вод (> 75 нг/л) (рис. 3).

В целом, в фотическом слое исследованных черноморских вод повышенные концентрации АТФ были обнаружены на тех же участках, как и в осенний сезон, в удалении от Крымского полуострова.

Что касается НР-индекса, высокие значения проявились на гораздо более обширной акватории, что указывает на то, что гетеротрофная часть биомассы микропланктона локально не привязана к высоким значениям биомассы (рис. 4).

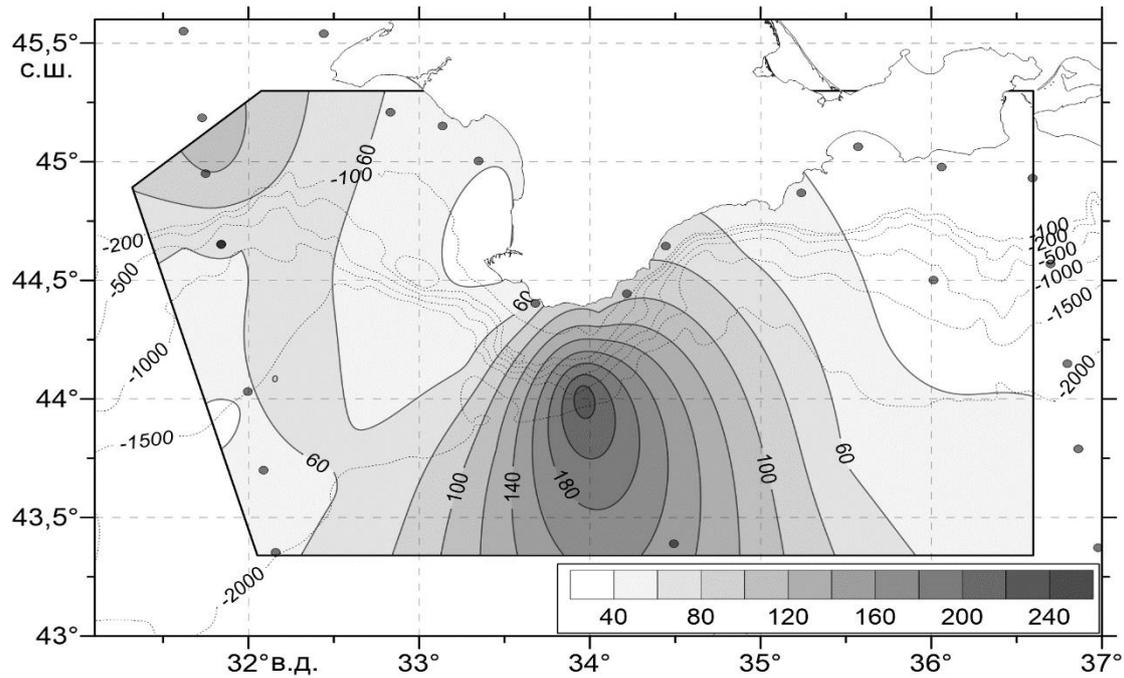


Рис. 3. Распределение АТФ микропланктона в верхнем фотическом слое прибрежья Крыма и глубоководья северной части Черного моря в апреле 2017 г

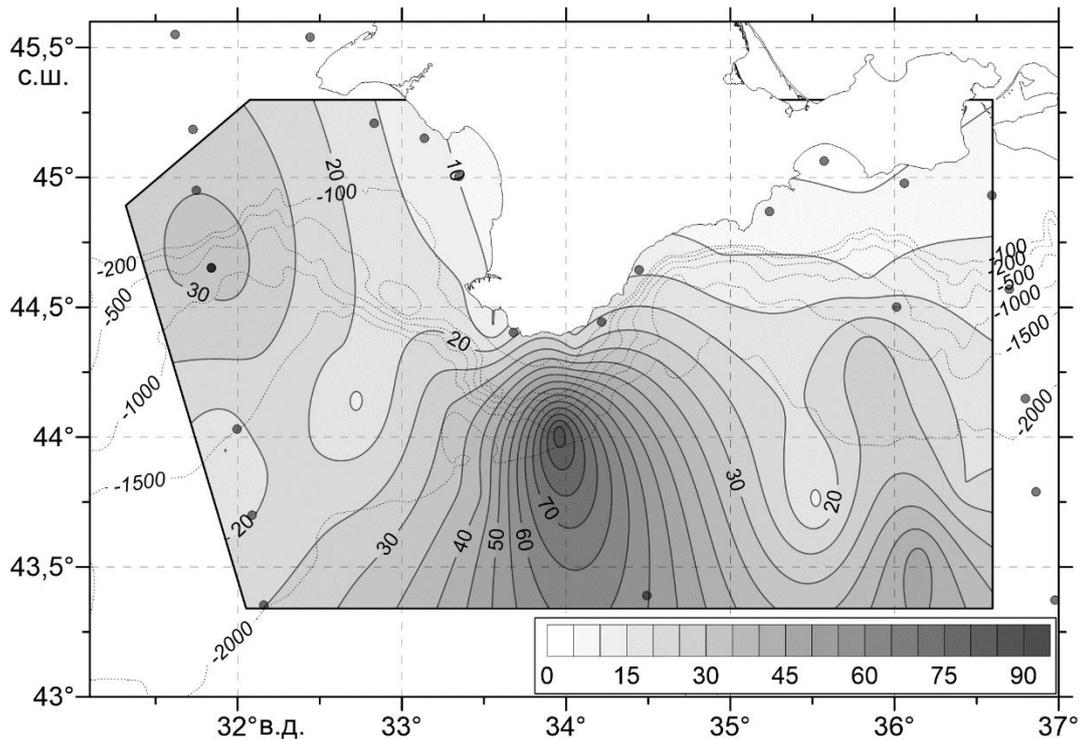


Рис. 4. Распределение NP-индекса микропланктона в верхнем фотическом слое прибрежья Крыма и глубоководья северной части Черного моря в апреле 2017 г

Из этого следует, что в весенний сезон при глобальном доминировании гетеротрофного микропланктона есть все предпосылки для снижения общей биомассы микропланктона, т.к. продукционные процессы в значительной мере уступают гетеротрофным. Вероятно, что автотрофная доминанта имела место в зимне-весенний сезон, при этом растворенная органика, выделенная фотоавтотрофной частью микропланктона, привела к усиленному росту биомассы гетеротрофного микропланктона.

Заключение

В осенний сезон, исследованные воды полигона, опираясь на содержание АТФ, можно оценить как мезотрофные, судя по НРІ, на большей части акватории доминировали гетеротрофные формы микропланктона. Паритетные соотношения гетеротрофного и фотоавтотрофного микропланктона отмечены лишь в водах, прилегающих с востока и запада к Крымскому полуострову и юго-западной части исследованных вод. Наиболее высокие показатели гетеротрофной доминанты были расположены в центральной части полигона и северо-западной части исследованных вод, в районе, прилегающем к мелководной северо-западной части Черного моря. В исследованных водах значения НРІ, соответствующие паритетным соотношениям биомасс гетеротрофного и фотоавтотрофного микропланктона отмечены в акваториях, прилегающих к Крымскому полуострову в северо-западной, южной и восточной его частям, в особенности, в районе Керченского пролива. Наиболее высокая степень доминанты гетеротрофной биомассы располагалась в центральной части исследованных вод.

В весенний сезон наиболее высокие показатели метаболически активной биомассы, приближенные к оценке эвтрофности, отмечены в центральной части полигона, локально сопоставимы с осенним сезоном. На остальной части исследуемых вод отмечены концентрации, входящие в категорию мезотрофных. Значения НРІ, означающих доминирование гетеротрофной биомассы над фотоавтотрофной отмечены на обширных акваториях полигона.

При сравнении распределения метаболически активной биомассы и НРІ, в осенний сезон стадию продукционно-деструкционной сукцессии микропланктона по критериям М.Е. Виноградова и Э.А. Шушкиной (Виноградов, Шушкина, 1983), можно охарактеризовать как развивающуюся, в весенний – как зрелую.

Список литературы

1. *Beers J.R., Stewart G.L.* Microplankton in the plankton communities of upper water of the eastern tropical Pacific // *Deep-Sea Res.* – 1971. – Vol. 18 – P. 861–883.
2. *Виноградов М.Е. Шушкина Э.А.* Сукцессия морских планктонных сообществ // *Океанология.* – 1983. – Т. 23, вып. 4. – С. 633–639.
3. *Holm-Hansen O., Booth C.R.* The measurement of adenosine triphosphate in the Ocean and its ecological significance // *Limnol. Oceanogr.* – 1966. – 11, N. 4 – P. 510–519.
4. *Karl D.M.* Cellular nucleotide measurements and applications in microbial ecology // *Microbiol. Rev.* – 1980. – N.44. – P. 739–796.
5. *Jeffrey S.W., Humphrey G.F.* New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c and c2 in algae, phytoplankton and higher plants // *Annual Report 1973–1974*, – P. 6–8.
6. *Chiaudani G., Pagnotta R.* Ratio ATP/chlorophyll as index of river's water quality // *Verh. Internat. Verein. Limnol.* – 1978, – N. 20, – P. 1897–1901.
7. *Sysoev A.A., Sysoeva I.V.* The biochemical estimation basis of the microplankton production-destruction stage succession in waters of the Bransfield Strait (Western Antarctica) in early autumn season 2002 // *Ukrainian Antarctic journal.* – 2005. – N. 3. – P. 108–114.
8. *Sysoeva I.V., Sysoev A.A., Popova A.F., Kemp R.B.* The adenilate energy charge in marine microplankton under different level pollution by oil products and the stage of seasonal succession. // *International Journal on Algae.* – 2002. – V. 4, N 3. – P. 117–124.
9. *Сысоева И.В., Безымянный В.А., Белогурова Ю.Б.* Особенности распределения АТФ, хлорофилла «а» и гетеротрофно-фотоавтотрофного индекса микропланктона в Севастопольской бухте в зимний и весенний сезоны 2011 года // II Международная

научно-практическая конференция «Биоразнообразие и устойчивое развитие». Тезисы. докл., Симферополь, 2012, С. 436–438.

10. Сысоева И.В., Василенко В.И., Сысоев А.А., Жук В.Ф., Токарев Ю.Н., Белогурова Ю.Б. Оценка экологического состояния микропланктона побережья Карадагского природного заповедника с помощью биохимических и биофизических показателей // 100 лет Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – сборник научных трудов. – Н.Орианда: Симферополь, 2015. – С. 652–658.

BIOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE PRODUCTION AND DESTRUCTION BALANCE OF THE MICROPLANKTON COMMUNITY IN THE NORTHERN PART OF THE BLACK SEA IN THE AUTUMN AND SPRING SEASONS

Sysoev A.A., Sysoeva I.V.

A.O.Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation, e-mail: alexsysysoev@yandex.ru, Innavik2015@yandex.ru

The work is based on material collected on cruise of the R/V "Professor Vodyanitsky" in seasons similar in hydrophysical characteristics: in October 2016 and in March - April 2017. Variations in the distribution of the heterotrophic photoautotrophic index of microplankton (HPI) were considered, based on the ratio of ATP concentrations (as an indicator of metabolically active biomass) and chlorophyll *a* (as an indicator of its photoautotrophic part). The method of estimation of the ratio of biomasses of heterotrophic and photoautotrophic components of microplankton was applied, and the assessment of the community's productive and destructive succession was carried out. It is shown that in the autumn season, the studied waters of the polygon, based on the content of ATP, can be estimated as mesotrophic, in the spring – close to eutrophic. According to the HPI, heterotrophic forms of microplankton dominated most of the water area during the autumn season, and the parity ratios of heterotrophic and photoautotrophic microplankton during the spring season. When comparing the distribution of metabolically active biomass and NRI, the stage of production-destructive succession of microplankton in the autumn season can be characterized as developing, in the spring – as Mature.

Keywords: Black sea, microplankton, ATP, HP-index, autumn and spring seasons.

Сысоев Александр Александрович	Научный сотрудник отдела функционирования морских экосистем, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», e-mail: alexsysysoev@yandex.ru
Сысоева Инна Викторовна	Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела биологической экологии, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН», e-mail: Innavik2015@yandex.ru

Поступила в редакцию 11.03.2020 г.