

# РОЛЬ ЗООПЛАНКТОНА В ФОРМИРОВАНИИ ПОДПОВЕРХНОСТНОГО МАКСИМУМА МЕТАНА В ГДАНЬСКОМ ЗАЛИВЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ВЕСНОЙ И ЛЕТОМ 2021 Г.

Кудрявцева Е.А.<sup>1</sup>, Семенова А.С.<sup>2</sup>, Кречик В.А.<sup>1</sup>, Буканова Т.В.<sup>1</sup>, Егоров А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail: [kudryavtzeva@rambler.ru](mailto:kudryavtzeva@rambler.ru);

<sup>2</sup> Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, г. Калининград

Вертикальное распределение метана в Балтийском море зачастую характеризуется ярко выраженной неоднородностью и определяется плотностной стратификацией и сменой окислительно-восстановительных условий, которая происходит чуть ниже галоклина [1]. В последние годы для центральной части моря была показана возможность образования максимума метана в области термоклина, связываемого с жизнедеятельностью крупных растительноядных копепод [3, 4]. Другим фактором для обогащения поверхностных слоёв метаном могут быть влияние речных вод и апвеллинг, обеспечивающий прорыв термоклина и поступление с глубины вод, обогащённых метаном [2]. Отличительной чертой ассоциированного с зоопланктоном процесса метанообразования является ярко выраженная сезонность. В связи с отмечающимися в последние десятилетия в регионе Балтийского моря ростом температуры воды и воздуха, количества осадков и интенсивности речного стока происходят изменения условий выведения растворенных в воде парниковых газов в атмосферу [5, 6].

Целью работы являлось изучение подробных вертикальных профилей метана в Гданьском заливе Балтийского моря. Для выявления причин влияющих на потенциальную неоднородность распределения метана изучались состав, численность и биомасса зоопланктона, а также гидрологическая структура вод.

Пробы для исследований отбирали 28 апреля и 30 июня 2021 г. Место обора проб показано на рисунке 1. Спутниковые снимки температуры поверхности Балтийского моря получены с радиометров VIIRS и MODIS, установленных на спутниках Suomi-NNP и Terra. Концентрацию растворенного метана определяли методом фазово-равновесной дегазации [7]. Обработку проб зоопланктона выполняли в счётной камере Богорова по стандартной методике под бинокляром Альтами CM0745-T [8, 9].

В апреле основными особенностями вертикального распределения температуры и солёности в районе работ были наличие верхнего распресненного более тёплого слоя глубиной 7-8 м, вероятно, связанного с речным выносом, а также отсутствие галоклина на характерных глубинах 60-65 м (рисунок 2). В придонных водах отмечался узкий слой более солёных и теплых вод с дефицитом кислорода. В конце июня присутствия речных вод не отмечено, сами воды были хорошо прогреты, термоклин простирался до глубины 25 м. Выявленные изменения температуры отмечались на глубинах около 10 и 20 м.

Весной концентрации метана в поверхностных водах оказались довольно высокими 15 нМ/л и слегка уменьшались с глубиной, что в совокупности с данными по гидрофизике говорит о внедрении более легких распресненных и теплых вод, вероятно связанных с Вислинским заливом, где воды уже прогреты и насыщены метаном [10]. На глубине 10 м отмечался небольшой пик концентрации метана. В летний период распределение метана было типичным для открытого моря – на поверхности минимальное значение и рост с глубиной вплоть до максимума на глубине 15 метров. Таким образом, подповерхностный максимум метана был зафиксирован как весной, так и летом. Однако летний максимум характеризовался более высоким содержанием метана (36 нМ), чем весенний (19 нМ). В тёплых солёных придонных водах концентрации метана весной и летом достигали, соответственно, 40–109 нМ/л и 50–180 нМ.

Высокие количественные показатели развития зоопланктона весной и летом были связаны с благоприятными трофическими условиями. В апреле средняя биомасса зоопланктона в верхнем 25-м слое составляла  $1125 \pm 225$  мг/м<sup>3</sup>, в июне –  $940 \pm 300$  мг/м<sup>3</sup>. В оба месяца в области увеличения концентрации метана существенный вклад в биомассу зоопланктона вносили представители таксономического отдела Copepoda. Однако, в апреле на глубине максимума метана наибольшей биомассы достигали представители отдела Cladocera. В летний период исследований на глубинах  $\pm 5$  м относительно максимума метана обнаруживалось чётко выраженное доминирование рачка *Temora longicornis*, представителя отдела Copepoda, который по данным [3, 4, 11], может являться источником метана.

Результаты проведённых исследований позволили обнаружить ассоциированный с зоопланктоном подповерхностный максимум метана в Гданьском заливе Балтийского моря. Существование подповерхностного максимума метана определяет поток метана к поверхности и далее в атмосферу.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Балтийское море. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. СПб.: Гидрометеоиздат, 1994. Т. 3. Вып. 2. 450 с.
2. Jacobs E., Bittig H. C., Gräwe U., et al. Upwelling-induced trace gas dynamics in the Baltic Sea inferred from 8 years of autonomous measurements on a ship of opportunity // Biogeosciences. 2021. № 18. P. 2679–2709.
3. Schmale, O., Wäge, J., Mohrholz, V., Wasmund, N., Gräwe, U., et al. The contribution of zooplankton to methane supersaturation in the oxygenated upper waters of the central Baltic Sea // Limnol. Oceanogr. 2018. № 63. P. 412–430.
4. Stawiariski B., Otto S., Thiel, V. Gräwe U., et al. Controls on zooplankton methane production in the central Baltic Sea // Biogeosciences. 2019. № 16. P. 1–16.
5. Omstedt A., Elken J., Lehmann A., et al. Progress in physical oceanography of the Baltic Sea during the 2003–2014 period // Progress in Oceanography. 2014. V. 128. P. 139–171.
6. Буканова Т.В., Стонт Ж.И., Гушин О.А. Изменчивость температуры поверхности моря в Юго-Восточной Балтике по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 4. С. 86–96.
7. Большаков А.М., Егоров А.В. Об использовании методики фазово-равновесной дегазации при газометрических исследованиях в акваториях // Океанология. 1987. Т. 27. № 5. С. 861–862.
8. Александров С.В., Гусев А.А., Кудрявцева Е.А., Семенова А.С. Планктонные и бентосные сообщества юго-восточной части Балтийского моря в летний период 2019 г. // Труды Атлант НИРО. 2021. Т. 5. №1 (11). С. 60–79.
9. Klais R., Lehtiniemi M., Rubene A., Semenova A., et al. Spatial and temporal variability of zooplankton in a temperate semi-enclosed sea: implications for monitoring design and long-term studies // J. Plankton Res. 2016. V. 38. № 3. P. 652–661.
10. Кудрявцева Е.А., Егоров А.В. Методы исследования содержания метана в зоне смешения вод реки Преголя и Балтийского моря // Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2021): Материалы XVII международной научно-технической конференции, Москва, 18-20 мая 2021 года / Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Москва: ИО РАН, 2021. С. 280–283.
11. Angelis M.A., Lee C. Methane production during zooplankton grazing on marine phytoplankton // Limnol. Oceanogr. 1994. V. 39. № 6. P. 1298–1308.

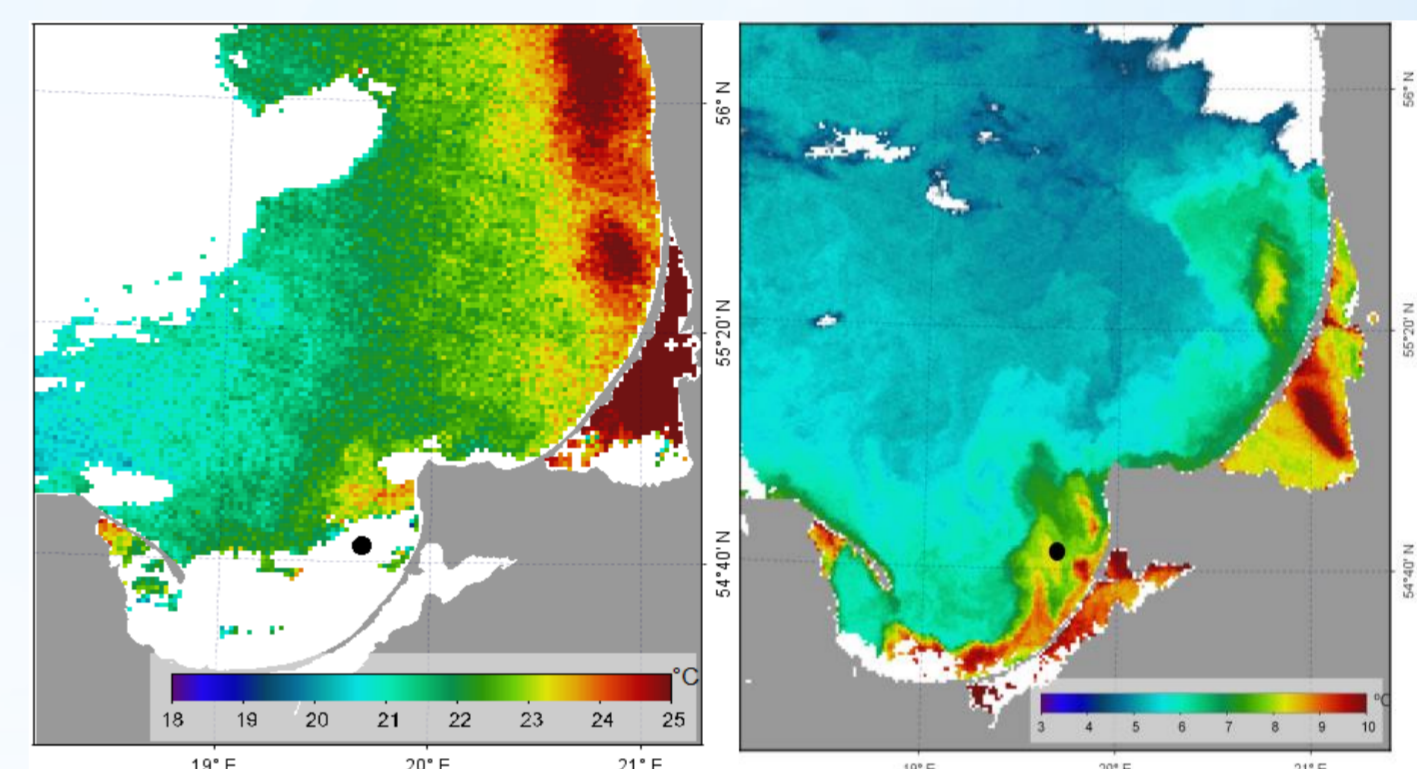


Рисунок 1. Расположение станции отбора проб в Гданьском заливе Балтийского моря весной и летом 2021 г. на фоне распределения температуры поверхности моря (°C) по данным радиометра VIIRS-SNPP от 28.04.2021 г. 11:12 UTC (а) и MODIS-Terra от 30.06.2021 г. 10:10 UTC (б) (источник: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>)

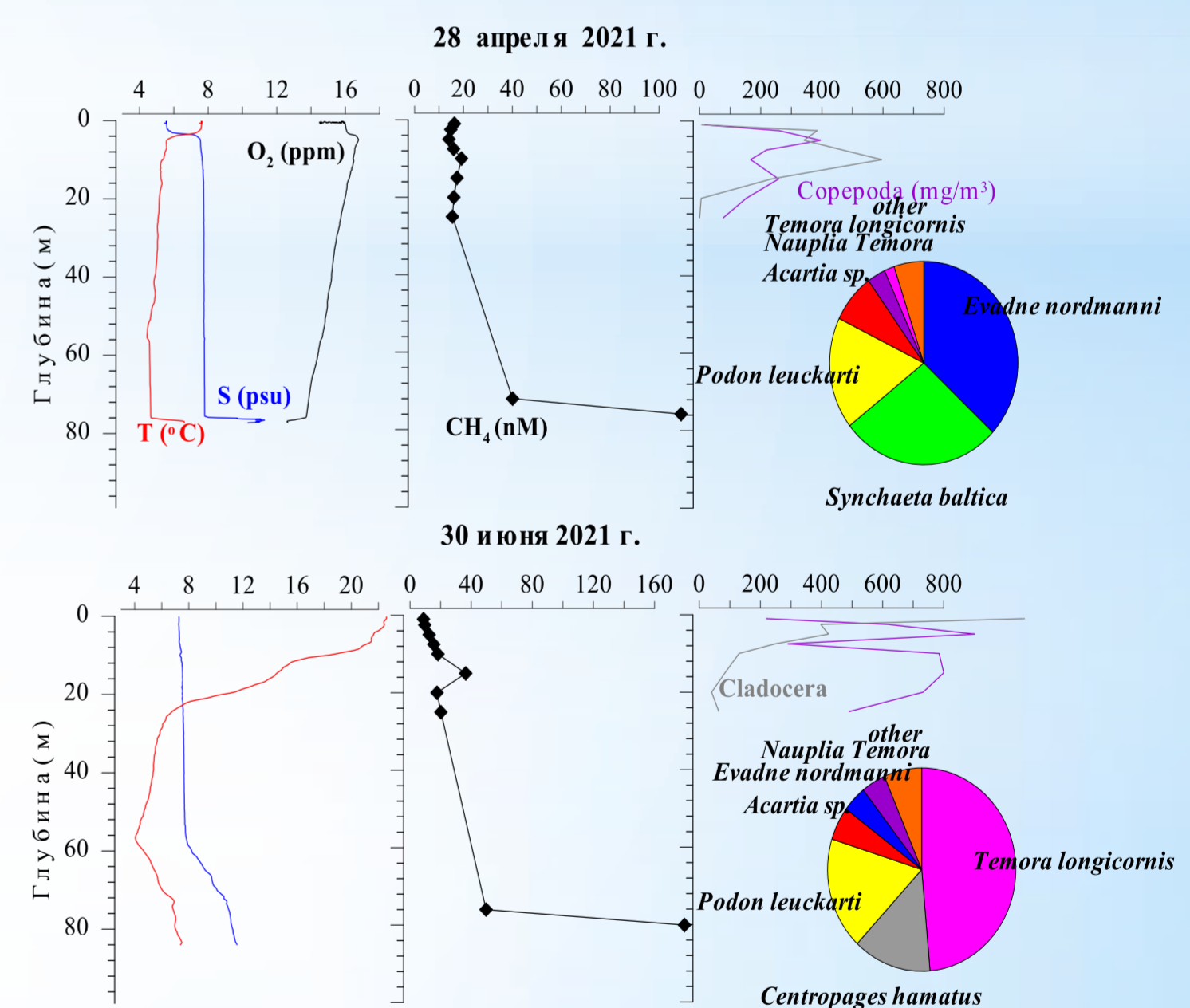


Рисунок 2. Вертикальные профили температуры (Т), солёности (S), кислорода (O<sub>2</sub>), растворенного метана (CH<sub>4</sub>) и биомассы зоопланктона в Гданьской впадине Балтийского моря. Круговая диаграмма показывает соотношение биомассы доминирующих видов зоопланктона на глубине субтермоклинного максимума метана весной и летом 2021 г.