

ПЕРВАЯ ОЦЕНКА БИОМАССЫ ВОДОРΟΣЛЕЙ В КРАСНОМ СЛОЕ РЕЛИКТОВОГО КИСЛО-СЛАДКОГО ОЗЕРА (БЕЛОЕ МОРЕ, ББС МГУ)

*Калмацкая Олеся Алексеевна¹, Лаптинский Кирилл Андреевич¹, Медвецкая Ирина Юрьевна¹,
Краснова Елена Дмитриевна²*

¹-Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва,

²-Беломорская биологическая станция им. Перцова Н.А. Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, пос. Приморский, Карелия

В беломорских реликтовых водоемах, отделяющихся от моря из-за быстрого поднятия берега и превратившихся в меромиктические с резкой и стабильной стратификацией, нередко наблюдаются слои, окрашенные в яркие цвета за счет массового развития автотрофных микроорганизмов [1]. В оз. Кисло-Сладком, расположенном в 1,5 км от Беломорской биологической станции МГУ им. М.В.Ломоносова, на границе аэробной и анаэробной зон каждое лето возникает десятисантиметровый слой красного цвета, обусловленный массовым развитием криптофитовой водоросли *Rhodomonas* sp. [2]. Задачей данной работы было определение состава и количественных характеристик этого слоя – численности и биомассы одноклеточных организмов, входящих в его состав.

Материал и методы

Работа выполнена на Беломорской биостанции МГУ в ходе студенческой практики кафедры общей физики Физического факультета МГУ и Международной молодежной школы-конференции по оптике прибрежных вод с 22 августа по 7 сентября 2014 г. В оз. Кисло-Сладком 28 августа 2014 г. был выполнен комплекс гидрологических, гидробиологических и спектрофотометрических работ для изучения особенностей этого водоема и закономерностей распределения в нем живых организмов. Погружным насосом были отобраны пробы воды с разной глубины от поверхности до дна (4,5 м) с шагом 0,5 м, а в середине глубины озера – с шагом 10 см. На глубине 2,2 м в области смены аэробных условий с положительным окислительно-восстановительным потенциалом на анаэробные с отрицательным Eh обнаружен красный слой толщиной около 10 см. Пробы воды из разных слоев просматривали под флуоресцентным микроскопом «Leica».

Результаты

До глубины 2 м вода была бесцветной, и в пробах почти не было организмов, но на глубине 2 м появился зеленоватый оттенок и обнаружено большое количество мелких кокков зеленого цвета, флуоресцирующих красным при облучении зеленой частью светового спектра. На глубине 2,2 м расположен красный слой, и к вышеупомянутым коккам добавились криптофитовые жгутиконосцы *Rhodomonas*. На 10 см ниже вода приобрела буроватый оттенок, а количество криптофитовых водорослей сильно уменьшилось, то есть максимум их численности сконцентрирован в узком 10 см слое. На глубине 2,4 м обнаружено большое количество хищных одноклеточных организмов – динофлагеллят *Oxurichis marina* и инфузорий, относящихся к нескольким видам. Большинство инфузорий имело внутри красные включения, ярко флуоресцирующие при освещении зеленым светом, что свидетельствует о том, что это – съеденные клетки *Rhodomonas*. На глубине 2,5 м вода приобрела зеленоватый оттенок, и появился запах сероводорода. Кокки зеленого цвета встречались до глубины 2,5 м, то есть область их распространения захватывает сероводородную зону. Ниже их почти не было. Начиная с 2,7 м вода стала отчетливо зеленой, и здесь в пробах были обнаружены очень мелкие бактериальные клетки.

По данным микроскопирования самая богатая микроорганизмами зона в Кисло-сладком озере находится на глубинах от 2,2 м до 2,5 м, причем наибольшее их количество сосредоточено на глубине 2,2 м в красном слое.

В красном слое воды был произведен учет биомассы двух самых массовых видов фитопланктона – криптофитовых водорослей *Rhodomonas* sp. и мелких кокков зеленого цвета, которые, возможно, относились к цианобактериям. Подсчет численности клеток выполняли в камере Ножотта объемом 0,05 см³, измерение клеток – при помощи масштабной линейки в компьютерной программе микроскопа Leica.

Длина клеток *Rhodomonas* sp. варьировала от 13 до 25 мкм, диаметр – от 9 до 19 мкм. Объем клеток, вычисленный путем аппроксимации формы клеток к эллипсоиду вращения, составлял от 593 до 3692 мкм³, средний объем клетки *Rhodomonas* – 1939 мкм³. В камере Ножотта объемом 0,05 см³ подсчитано 4904 клеток этих водорослей. При удельном весе 1,02 кг/л, равном плотности морской воды в слое обитания этих организмов с соленостью 24‰ и температуре 15°C, соответствует биомассе 0,00969 мг. В пересчете на 1 мл это соответствует 0,1938 мг, или 193,8 мг/л. Поскольку толщина красного слоя в озере составляет около 10 см, можно вычислить биомассу клеток, которая приходится на единицу площади озера. В Кисло-Сладком озере биомасса *Rhodomonas* sp. в конце августа составляла 19 г/м².

Клетки кокков существенно мельче, а их численность – многократно больше. Диаметр клеток от 1 до 4,2 мкм, объем от 0,5 до 47,7 мкм³, средний объем — 10 мкм³, средняя масса одной клетки — 10,2 х 10⁻⁹ мг. Численность этих клеток в красном слое составляет 1872 х 10⁶ кл./л и биомасса 19,3 мг/л, что на порядок меньше по сравнению с биомассой *Rhodomonas*. В 1 м² красного слоя воды в этом озере располагается 1,93 г/м.

Суммарная биомасса этих двух массовых форм в красном слое Кисло-Сладкого озера — 212 мг/л, а на 1 м² приходится 21,2 г сырого веса водорослей.

Обсуждение

Оценка биомассы клеток в слое с цветением одноклеточных водорослей, ассоциированным с редокс-зоной в водоеме, отделяющемся от Белого моря, выполнена впервые. Полученные значения биомассы необычно высокие для беломорской акватории, что может быть квалифицировано как гиперцветение (при биомассе более 100 мг/л). В сентябре 2010 г. микробиологи из института им. С.Н. Виноградского определили биомассу бактерий в красном слое воды этого озера, который в тот сезон располагался на глубине 2,9 м и в вышележащем аэробном слое. В аэробной зоне бактериальная биомасса оказалась 9-17 мг/л, а в красном слое – 26 мг/л [3]. Хотя эта величина на два порядка меньше, чем вычисленная нами биомасса водорослей, тем не менее для таких мелких организмов как бактерии она очень высокая. Нынешним летом учебной группой каф. биофизики Физического факультета МГУ, которая работала на Кисло-Сладком озере в начале августа, были определены количественные характеристики донной фауны [4]. Биомасса бентоса в мелководной части озера до глубины 1,5 м составляла 161-1016 г/м², что сопоставимо с полученной нами биомассой водорослей.

Литература

1. Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н. Кисло-сладкие озера, полные чудес. //Природа, 2013, № 2, с. 39-48.
2. Краснова Е. Д., Пантюлин А. Н., Маторин Д. Н., Тодоренко Д. А., Белевич Т. А., Милютин И. А., Воронов Д. А. Цветение криптофитовой водоросли *Rhodomonas* sp. (Cryptophyta, Pyrenomonadaceae) в редокс зоне водоемов, отделяющихся от Белого моря. — Микробиология, 2014, т. 83, №3, с. 346–354.

3. Саввичев А.С., Лунина О.Н., Русанов И.И., Захарова Е.Е., Веслополова Е.Ф., Иванов М.В. Микробиологические и изотопно-геохимические исследования озера Кисло-Сладкое – меромиктического водоема на побережье кандалакшского залива Белого моря. — Микробиология, 2014, т. 83, № 2, с. 191-203.

4. Balabin F.A., Buvaly S.E., Garmaeva S.B., Grigorieva A.A., Ichenko S.A., Izyurov I.V., Karpychev V.V., A.V.Kosenkov, Kruchinin I.V., Krylova M.A., Kuznetsov V.A., Malyshko E.V., Murtazina A.R., Nesmeyanova E.S., Varlamov S.A., Vinogradov D.S., N Volovich.M., Menshenina L.L., Mardashova M.V. Investigation of separating sea bays: an integrated approach (bathymetry, structure of the water column, benthic communities, ecology of indicator benthic and terrestrial species) on the model Kисло-Sladkoye and Lower Ershovskoye lakes. — White Sea international student workshop on optics of coastal waters, 30 August – 7 September 2014, WSBS MSU, 2014. URL: <http://www.conferences.earsel.org/system/uploads/asset/file/379/postermardasovabiophys2014.pdf>

THE FIRST ESTIMATION OF ALGAL BIOMASS IN THE RED LAYER OF THE RELICT KISLO-SLADKOE LAKE (WHITE SEA, WSBC MSU)

*Kalmatskaya Olesya Alekseevna¹, Laptinsky Cyril Andreevich¹, Medvetskaya Irina Yurevna¹,
Krasnova Elena Dmitrievna²*

¹-Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow,,

²-Nikolay Pertsov White Sea Biological Station, Biology Department Lomonosov Moscow State University, pos. Primorskiy, Karelia

In the relict lakes separating from the White Sea due to the rapid uplift coast and turned into meromictic lakes with a sharp and stable stratification colored layers are often observed caused by the mass development of autotrophic microorganisms [1]. In Kисло-Sladkoe lake located 1.5 km East from the White Sea Biological Station of Lomonosov Moscow State University, on the border of the aerobic and anaerobic zones every summer there appears 10 cm red layer due to the massive development Cryptophyta algae Rhodomonas sp. [2]. The objective of this study was to determine the composition and quantitative characteristics of this layer - the number and biomass of unicellular organisms.

Material and methods

The research was done on the White Sea Biological Station of Moscow State University during student practice of the Department of General Physics (Faculty of Physics), and the White Sea International Student Workshop on Optics of Coastal Waters (August 22 - September 7, 2014). A set of hydrological, hydro-biological and spectrophotometric work was carried out in Lake Kисло-Sladkoe on August 28, 2014 to study the characteristics of the reservoir and the patterns of distribution of living organisms in it. Submersible pump water samples were taken from different depths from the surface to the bottom (4.5 m) in increments of 0.5 m, and in the middle of the depth of the lake - in increments of 10 cm. At a depth of 2.2 m in the zone where aerobic conditions change with positive redox potential to the anaerobic with negative Eh red layer was detected. Its thickness was about 10 cm. Water samples from different layers where investigated under a fluorescent microscope “Leica”.

Results

Above a depth of 2 m the water was colorless and contained almost no organisms. At a depth of 2 m water has appeared greenish and we found a large number of small green cocci fluorescing upon green irradiation with red light. At a depth of 2.2 m red layer was situated, and cryptophytae flagellates *Rhodomonas* were added. 10 cm below the water turned brownish hue, the amount of algae cryptophytae reduced. Maximum number of them concentrated in a narrow 10 cm layer. At a depth of 2.4 m a large number of predatory single-celled organisms was found - dinoflagellates *Oxyrrhynchis marina* and several species of ciliates. Inside most of ciliates red accents appeared with bright fluorescent when exposed to green light, indicating swallowed *Rhodomonas* cells. At a depth of 2.5 m the water turned a greenish hue with smell of hydrogen sulfide. Green cocci found by the depth of 2.5 m, the area of their distribution captures hydrosulphuric zone; below they disappeared. Starting with 2.7 m water became distinctly green, and small bacterial cells appeared.

According to the microscopic organisms the most abundant level is located at a depth of 2.2 m to 2.5 m, with the greatest number of them concentrated at a depth of 2.2 m in the red layer.

Biomass account was performed in the red layer of water. Two most abundant species were studied - cryptophytae algae *Rhodomonas* sp. And green small cocci (probably cyanobacteria). Counting the number of cells was performed in a 0.05 cm³ Nozhotta chamber; measurement of cells - using a scale bar in the computer program "Leica" microscope.

Length of *Rhodomonas* sp. cells was ranged from 13 to 25 μm, width - 9-19 μm. Cell volume calculated by approximating the shape of the cells to an ellipsoid ranged from 593 to 3692 μm³, mean cell volume - 1939 μm³ or 1.939 x10⁻⁶ mm³. The 0.05 cm³ Nozhotta chamber contains 4904 cells of these algae. If density of the cell is 1.02 kg/l equal to the density of sea water in the layer inhabited by the organisms with a salinity of 24 ‰ and 15°C, biomass of the cells in the chamber is 0.00969 mg. This corresponds to 0.1938 mg/ml or 193.8 mg/l. Since the thickness of the red layer of the lake is about 10 cm, it is possible to calculate the biomass of cells, which falls on a unit area of the lake. The biomass of *Rhodomonas* sp. at the end of August was 19 g/m².

Cocci cells are significantly smaller, but their numbers - many times more. Cell diameter was 1 to 4.2 μm, volume varied between 0.5-47.7 μm³, the average volume - 10 μm³, the average weight of one cell 10.2 x 10⁻⁹ mg. The number of these cells in the red layer is 1872 x 10⁶ per L and biomass 19,3 mg/l, which is ten times less than the biomass of *Rhodomonas*. In 1 m² red layer of water in the lake is 1,93 g/m.

The total biomass of these two forms of mass in the red layer of sweet and sour lake - 212 mg/l, or 21,2 g of wet algae weight per m² of red layer.

Discussion

This is the first attempt to assess the cell biomass in the layer with the blooming of unicellular algae associated with the redox zone in the reservoir is separated from the White Sea. The values obtained for biomass are unusually high for the waters of the White Sea, which may be characterized as hyperblooming (with a biomass of more than 100 mg/l). In September 2010, microbiologists from the S.N. Winogradsky Institute of Microbiology identified biomass of bacteria in the red layer of Kislo-Sladkoe lake. At that season it was situated at a depth of 2.9 m. In the upper aerobic zone of the lake bacterial biomass was 9-17 mg/l, and 26 mg/l in the red layer [3]. Although this value is two orders of magnitude less than that we calculated for algal biomass, however for small organisms such as bacteria, it is very high. Early August in this summer, a student group of Biophysics Department (Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University) made research on Kislo-Sladkoe lake, and obtained the quantitative characteristics of the benthic fauna. [4]

Benthic biomass in the shallow part of the lake to a depth of 1.5 m was 161-1016 g/m², which is comparable with that of algal biomass.

References

1. Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н. Кисло-сладкие озера, полные чудес. //Природа, 2013, № 2, с. 39-48.
2. E Krasnova.D., Pantyulin A.N., Matorin D.N., D Todorenko. A., Belevich G.A., Milyutina I.A., and Voronov D.A.. Blooming of the Cryptomonad Alga Rhodomonas sp. (Cryptophyta, Pyrenomonadaceae) in the Redox Zone of the Basins Separating from the White Sea. - Microbiology, 2014, V. 83, N 3, pp 270-277.
3. Savvichev A.S., Lunina O.N., Rusanov I.I., Zakharova.E. E., Veslopolova E.F., Ivanov M.V. Microbiological and isotopic geochemical investigation of Lake Kislo-Sladkoe, a meromictic water body at the Kandalaksha Bay shore (White Sea). — Microbiology, 2014, т. 83, # 1-2, pp. 56-66.
4. Balabin F.A., Buvaly S.E., Garmaeva S.B., Grigorieva A.A., Ilchenko S.A., Izyurov I.V., Karpychev V.V., A.V.Kosenkov, Kruchinin I.V., Krylova M.A., Kuznetsov V.A., Malyshko E.V., Murtazina A.R., Nesmeyanova E.S., Varlamov S.A., Vinogradov D.S., N Volovich.M., Menshenina L.L., Mardashova M.V. Investigation of separating sea bays: an integrated approach (bathymetry, structure of the water column, benthic communities, ecology of indicator benthic and terrestrial species) on the model Kislo-Sladkoye and Lower Ershovskoye lakes. — White Sea international student workshop on optics of coastal waters, 30 August – 7 September 2014, WSBS MSU, 2014. URL: <http://www.conferences.earsel.org/system/uploads/asset/file/379/postermardasovabiophys2014.pdf>