

## **Исследование распределения желтого вещества в устьевой области реки Кереть (Белое море)**

Новоселова Елена, инженер-исследователь, студент, [novoselovaa.elena@gmail.com](mailto:novoselovaa.elena@gmail.com)

Петросян Н.В., инженер, [natpetrspbsu@yandex.ru](mailto:natpetrspbsu@yandex.ru)

Смагин Р.Е., ассистент, [rsmagin@yandex.ru](mailto:rsmagin@yandex.ru)

Маховиков А.Д., студент, [alexmakhovikov@gmail.com](mailto:alexmakhovikov@gmail.com)

Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра океанологии

В морской воде содержится огромное количество различных органических веществ. Они могут существовать в двух состояниях – взвешенном и растворённом. Большая часть всей органики, находящейся в океанической воде (в том числе и предмет нашего исследования – жёлтое вещество), относится ко второму типу.

Согласно [4], растворённое органическое вещество (РОВ) – это сумма органических соединений, проходящих через фильтры с размером пор 0,45 – 1 мкм. Таким образом, в это понятие входит не только истинно молекулярный раствор, но и мелкая взвесь. Химический состав РОВ имеет значительные вариации, однако в целом всё разнообразие можно разделить на семь основных групп: углеводы; протеины и их производные; алифатические карбоксилы; биологически активные вещества (витамины и гормоны); гумусовые кислоты (жёлтое вещество); фенолы; углеводороды [5]. Существуют и другие классификации, однако мы не будем останавливаться на этом, поскольку данный вопрос выходит за рамки нашего исследования. Наше исследование посвящено пятой группе. Эта группа веществ была открыта профессором океанографии Гамбургского университета Куртом Калле в 1938 году и названа «Gelbstoff», что в переводе означает «жёлтое вещество». Его особенность заключается в том, что оно единственное из всех групп РОВ способно поглощать излучение в видимом спектре, причём поглощение резко возрастает в сторону коротких волн, что и обуславливает его желтоватую окраску, отсюда и название – «жёлтое вещество». Образование жёлтого вещества связано с разрушением пигментов (хлорофиллов и каратиноидов) в зеленых водорослях. Хлорофилл имеет две сильные полосы поглощения света – синюю и красную. При разложении в первую очередь исчезает хлорофилл-а, с которым связана красная полоса, и остается большое «синее» поглощение, характерное для жёлтого вещества [5].

Жёлтое вещество в морской воде имеет два источника: вынос с суши преимущественно реками (аллохтонный источник) и образование непосредственно в море при разложении планктонных организмов (автохтонный источник). Для северных морей характерно преобладание жёлтого вещества аллохтонного происхождения.

Почему же важно изучать жёлтое вещество? Во-первых, оно оказывает влияние на рост фитопланктона. С одной стороны, присутствие жёлтого вещества в поверхностном слое увеличивает поглощение света, тем самым способствуя лучшему прогреву вод, что, в свою очередь, вызывает бурное развитие фитопланктона. С другой стороны, присутствие в воде жёлтого вещества может, наоборот, замедлять рост фитопланктона, особенно на глубине, за счёт уменьшения освещённости в водной толще [2]. Во-вторых, жёлтое вещество имеет большое значение при мониторинге экологического состояния вод и может рассматриваться в качестве надежного трассера для оценки трансформации речных вод в устьевых областях. Кроме того, наличие жёлтого вещества может вызывать значительные ошибки в измерениях концентрации хлорофилла в морской воде спутниковыми спектрометрами. Это связано с тем, что поглощение света происходит в схожих диапазонах, и разделение хлорофилла и жёлтого вещества в таких измерениях является непростой задачей [3].

В качестве объекта исследования было выбрано Белое море, а именно устье реки Кереть (рис. 1).

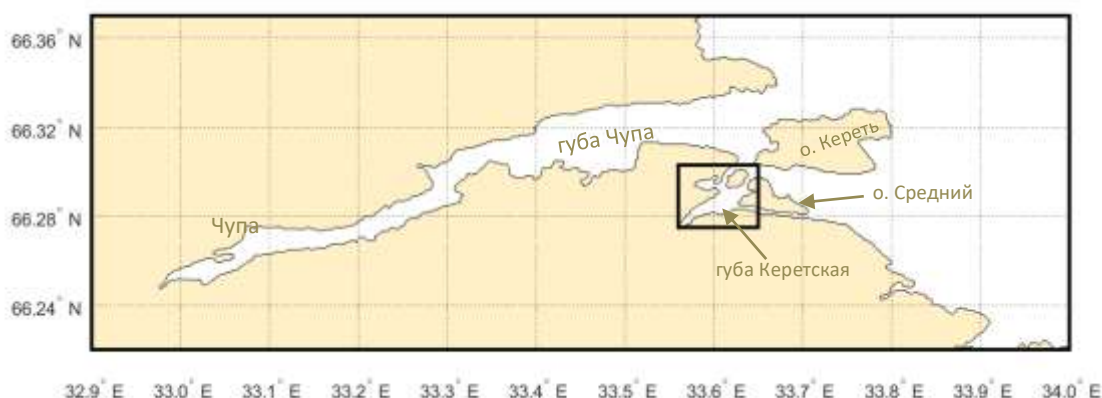


Рис. 1 – Схема береговой линии губы Чупа и местоположение исследуемого района (выделено прямоугольником)

## Методы

Отбор проб с поверхности производился на 12-ти точках (рис. 2) 1 августа 2019 года. Фаза приливного цикла во время работ – полная вода, начало сизигийного отлива. Для определения содержания жёлтого вещества в воде использовались оптические методы исследования, а именно проводились спектрофотометрические измерения на спектрофотометре UNIKO 2100. Измерения были проведены на трёх длинах волн: 355,

400 и 440 нм. Для дальнейших расчётов использовалась длина волны 355 нм. Измерения были осуществлены на базе оборудования лаборатории Отто Шмидта [6].

Для измерения температуры, солёности и концентрации хлорофилла в водной толще от поверхности до дна использовался гидрологический зонд OCEAN SEVEN 316Plus CTD. Зондирование проводилось только на основных точках 1-6.

На всех схемах-картах, представленных в настоящей работе, для построения береговой линии использовался бинарный архив данных GSHHG (A Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Geography Database) [7].

## Результаты

Полученные результаты представлены на рис. 2. В районе исследования преобладает аллохтонное жёлтое вещество, то есть его основным источником является река Кереть. Следовательно, должно наблюдаться уменьшение его содержания по направлению от устья реки к морю. Отчасти это действительно так: максимальное значение ( $20,91 \text{ м}^{-1}$ ) наблюдается в точке 1, находящейся в наиболее речной части, тогда как минимальное значение ( $18,93 \text{ м}^{-1}$ ) – в наиболее мористой зоне – в точке 6. Однако в остальном видно, что наблюдается довольно однородное распределение жёлтого вещества. Это связано с тем, что наблюдения проводились в отлив, то есть речная вода легко распространялась по поверхности большей части акватории. Также это может быть связано с обилием выпадающих осадков, в результате которых сток Керети увеличился по сравнению с исследуемым нами ранее 2016 годом [3]. Этим же можно объяснить и то, что в данном исследовании значения поглощения жёлтого вещества оказались значительно выше: в начале июля 2016 года минимальное и максимальное значения в аналогичную фазу приливного цикла (отлив) составляли всего  $14,51$  и  $15,66 \text{ м}^{-1}$  соответственно.

Удивительно, что в точках 3, 3а, 3б и в точках 4, 5 значения поглощения равны или превышают значения в точке 2а. Согласно модельным расчётам [1], в центральной части губы Кереть (станции 3-4) остаточные приливные явления образуют круговорот, который мог влиять на неоднородность распределения жёлтого вещества в данном регионе. Кроме того, согласно этой модели, на циркуляцию в центральной части губы Кереть оказывает сильное влияние поток, выходящий через пролив Подпахта. Согласно этому же исследованию, в районе точки 5 также наблюдается небольшое завихрение.

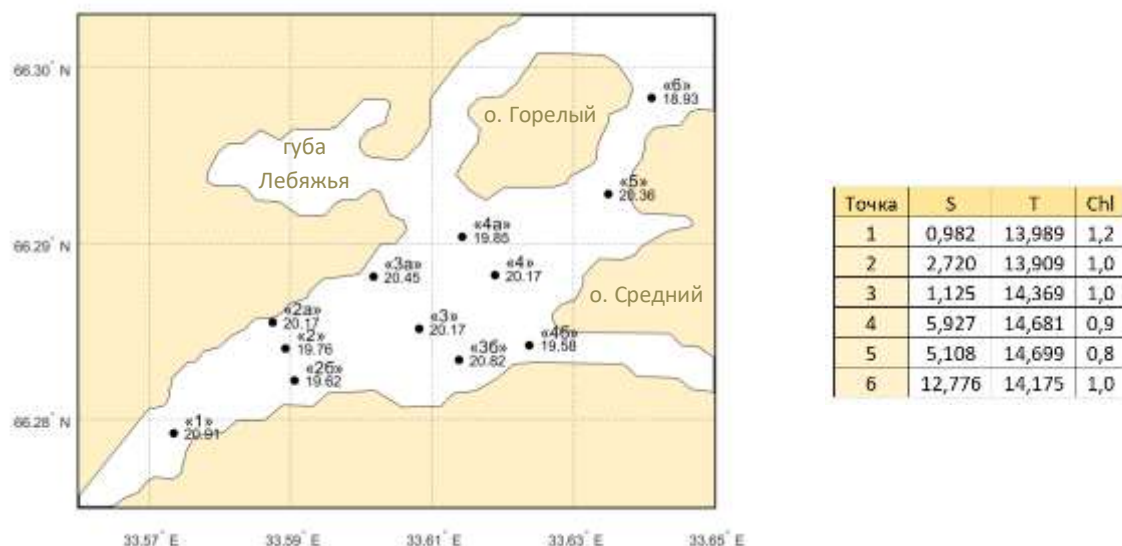


Рис. 2 – Схема распределения показателя поглощения жёлтого вещества ( $m^{-1}$ ) (слева) и значения температуры ( $^{\circ}C$ ), солёности (‰) и концентрации хлорофилла (мг/л) на поверхностном горизонте (около 10 см) в основных точках 1-6 (справа)

Известно, что концентрация жёлтого вещества и солёность находятся в обратной зависимости, что и подтверждает рис. 3. Прослеживается довольно высокая корреляция между этими показателями ( $R^2 = 0,65$ ), поэтому можно сделать вывод, что основным источником жёлтого вещества является речной сток, то есть аллохтонное жёлтое вещество преобладает над автохтонным.

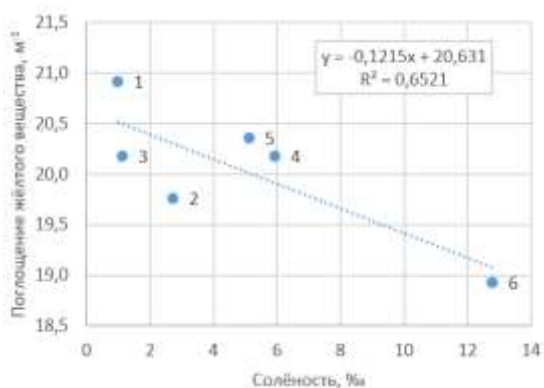


Рис. 3 – Диаграмма рассеяния показателя поглощения жёлтого вещества и солёности

## Литература

1. Ионов В.В., Май Р.И., Смагин Р.Е. Численная гидродинамическая модель приливных явлений в губе Кереть (Кандалакшский залив, Белое море). Изв. РГО. Т.147. Вып. 2. 2015. Стр. 22-37.

2. Колдунов А.В., Петросян Н.В. Измерение оптических характеристик жёлтого вещества в Белом море // Природное и культурное наследие Белого моря: перспективы сохранения и развития. Материалы III международной научно-практической конференции. 2016. Стр. 10-12.
3. Новоселова Е.В., Петросян Н.В., Колдунов А.В. Измерение оптических характеристик жёлтого вещества в устье р. Кереть // I студенческая научная сессия УНБ «Беломорская»: тезисы докладов. СПб: Изд-во СПбГУ, 2017. Стр. 57-58.
4. Романкевич Е.А. Геохимия органического вещества в океане. М.: Наука, 1977. 256 с.
5. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. Л., «Гидрометеиздат», 1983.
6. <https://www.otto-schmidt-laboratory.de/>
7. <http://www.soest.hawaii.edu/wessel/gshhg/>

**Research of the CDOM distribution  
in the estuary of the Keret River (White Sea)**

Makhovikov Alexey Dmitrievich, alexmakhovikov@gmail.com

Elena Vladimirovna Novoselova,

Kuznetsova Daria Aleksandrovna,

Smagin Roman Evgenievich,  
Petrosyan Natalia Vladislavovna,

Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University

*This is the study of yellow substance distribution in the surface layer of the estuary area of the Keret River. It was shown that in general it corresponds to a common pattern of yellow substance distribution when the maximum concentration is observed in the river part, and minimum in the sea part. However, in the central part of Keret Guba bay some local maximums are observed due to circulation caused by residual tidal phenomena.*

**Introduction**

Sea water contains an immense number of various organic substances. They can exist in two states: suspended and dissolved. A major part of the organic substance in the ocean waters (including the subject of this study – the yellow substance) belongs to the second type.

According to [4], the dissolved organic matter (DOM) is the organic matter fraction in solution that passes through a 0.45- 1  $\mu\text{m}$  filter. So, this concept includes not only the true molecular solution, but also the fine suspension. The chemical composition of DOM has significant variations, but in general they can be divided into seven main groups: carbohydrates; proteins and their derivatives; aliphatic carboxylic acids; biologically active substances (vitamins and hormones); humic acids (yellow substance); phenols; hydrocarbons [5]. There are other classifications, but we will not dwell on this issue because it lies outside the scope of our study. Our study focuses on the fifth group. This group of substances was discovered by the professor of oceanography at the Hamburg university Kurt Kalle in 1938, and was named Gelbstoff which, in translation, means “yellow substance”. Its feature is that it is the only DOM group that is able to absorb radiation in the visible spectrum, and the absorption rises sharply with decreasing wavelength, so that it has a yellowish color, hence the name – “yellow substance”. The formation of yellow substance is associated with the destruction of pigments (chlorophylls and carotenoids) in green algae. Chlorophyll has two strong light absorption bands: blue and red. During decomposition the chlorophyll a associated with the red band disappears first, and what is left is large “blue” absorption which is characteristic of the yellow substance [5].

The yellow substance in the sea water has two sources: it is either brought from land, mainly by rivers (allochthonous source), or forms immediately in the sea due to decomposition of planktonic organisms (autochthonous source). The northern seas are characterized by a dominance of the yellow substance of allochthonous origin.

Why is it important to study the yellow substance? Firstly, it influences the growth of phytoplankton. On the one hand, the presence of the yellow substance in the upper level increases the light absorption, thereby contributing to the warming of the waters which, in its turn, causes the rapid development of phytoplankton. On the other hand, the presence of the yellow substance in the water may, on the contrary, slow down the growth of phytoplankton, especially in the deep waters, due to the decrease of illumination in the water column [2]. Secondly, the yellow substance is very important in the monitoring of the ecological state of the waters and can be viewed as a reliable tracer for estimation of the transformation of the river waters in estuary areas. In addition, the presence of the yellow substance can result in substantial errors in measurements of chlorophyll concentration in the sea water by satellite spectrometers. That is associated with the fact that the light absorption occurs in a similar wavelength range, so distinguishing of chlorophyll from yellow substance in such measurements is a challenge [3].

The object of the study was the White Sea, namely the estuary of the Keret River (fig. 1).

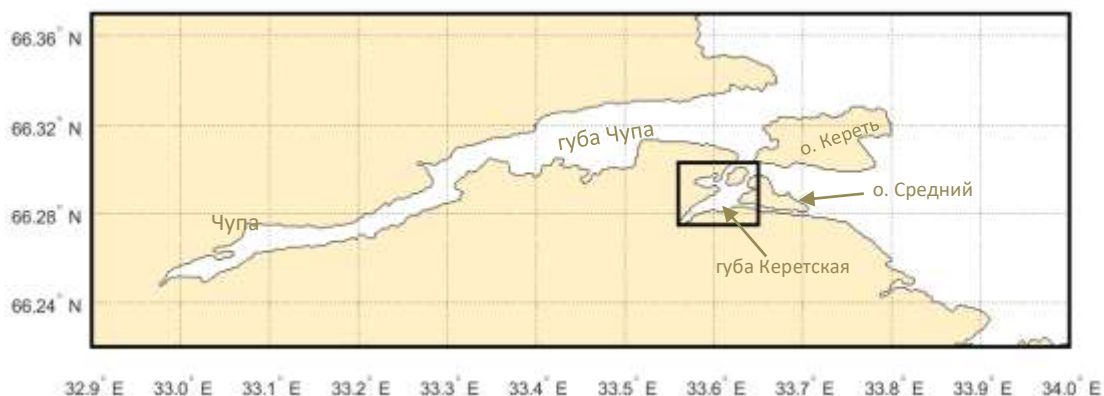


Fig. 1 – The schematic map of the shoreline of the Chupa bay and location of the study area (highlighted by a red rectangle)

### Methods

The collection of samples from the water surface was performed at 12 points (fig. 2) on August 1, 2019. The phase of the tidal cycle at the time of collection – high water, the beginning of neap tide. To determine the content of the yellow substance in the water, the optical methods were used, namely the spectrophotometric measurements performed with a spectrophotometer UNIKO 2100. The measurements were performed at the three wavelengths: 355, 400 and 440 nm. For further calculations, we used the wavelength of 355 nm. The measurements were performed on the basis of the equipment of the Otto Schmidt Laboratory [6].

The temperature, salinity and chlorophyll concentration in the water column from the surface to the bottom was measured with a hydrological probe OCEAN SEVEN 316Plus CTD. The probing was performed only at main points 1-6.

A binary data archive GSHHG (A Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Geography Database) [7] was used for delineation of the shoreline on all of the schematic maps presented in this study.

### Results

The obtained results are shown at fig. 2. The yellow substance of allochthonous origin prevails in the study area, which means that the main source of it is the Keret River. Consequently, the decrease of its content in direction from the estuary of the river to the sea is expected to be observed. Partially that is true: the maximum value ( $20.91 \text{ m}^{-1}$ ) is observed at point 1 which is

situated in the most inland area, while the minimum value ( $18.93 \text{ m}^{-1}$ ) is observed in the most seaward area, at point 6. However, apart from this, one can see that the yellow substance is distributed quite evenly. That is associated with the fact that the observations were performed at low tide, so the river water could easily spread over the surface of the major part of the water area. It also can be associated with heavy precipitation due to which the flow of the Keret River increased as compared to 2016 (see [3]). That can also explain why in this study the absorption values of the yellow substance are significantly higher: in the early July of 2016 the minimal and maximum values during the same phase of the tidal cycle (low tide) were only  $14.51$  и  $15.66 \text{ m}^{-1}$ , respectively.

It is surprising that at points 3, 3a, 3b, and at points 4, 5 the absorption values are equal to or higher than the values at 2a. According to model calculations [1], in the central part of the Keret Guba bay (stations 3-4) the residual tidal phenomena form an eddy which could affect the heterogeneity of distribution of the yellow substance in this area. In addition to that, according to this model, the circulation in the central part of the Keret Guba bay is strongly affected by a flow going out through the Podpakhta Strait. According to the same study, a small eddy is also observed in the area near point 5.

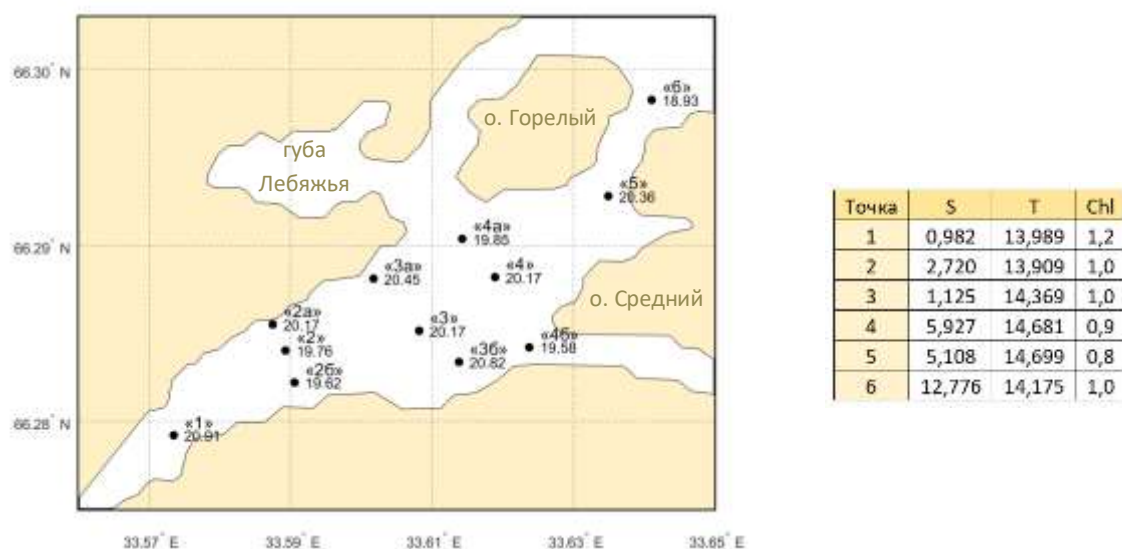


Fig.2 – The scheme of the distribution of the value of absorption of the yellow substance ( $\text{m}^{-1}$ ) (on the left) and the values of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinity ( $\%$ ) and concentration of chlorophyll ( $\text{mg/l}$ ) on the surface horizon (about 10 cm depth) at the main points 1-6 (on the right)

It is known that the concentration of the yellow substance and salinity are inversely related which is confirmed by fig. 3. A rather high correlation between these values is observed ( $R^2 = 0,65$ ), so we can conclude that the main source of the yellow substance is the river runoff, in



other words, the yellow substance of allochthonous origin prevails over that of autochthonous origin.

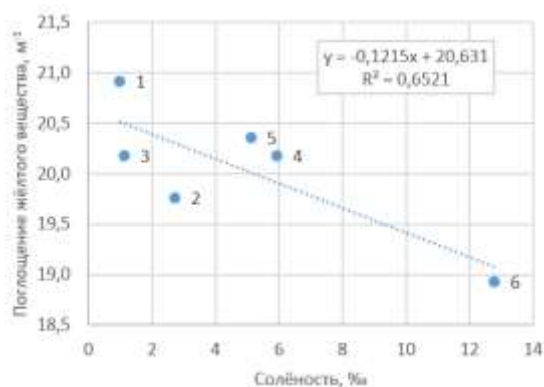


Fig. 3 – The scatter plot of absorption value of the yellow substance and salinity

#### References:

1. Ионов В.В., Май Р.И., Смагин Р.Е. Численная гидродинамическая модель приливных явлений в губе Кереть (Кандалакшский залив, Белое море). Изв. РГО. Т.147. Вып. 2. 2015. Стр. 22-37.
2. Колдунов А.В., Петросян Н.В. Измерение оптических характеристик жёлтого вещества в Белом море // Природное и культурное наследие Белого моря: перспективы сохранения и развития. Материалы III международной научно-практической конференции. 2016. Стр. 10-12.
3. Новоселова Е.В., Петросян Н.В., Колдунов А.В. Измерение оптических характеристик жёлтого вещества в устье р. Кереть // I студенческая научная сессия УНБ «Беломорская»: тезисы докладов. СПб: Изд-во СПбГУ, 2017. Стр. 57-58.
4. Романкевич Е.А. Геохимия органического вещества в океане. М.: Наука, 1977. 256 с.
5. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. Л., «Гидрометеиздат», 1983.
6. <https://www.otto-schmidt-laboratory.de/>
7. <http://www.soest.hawaii.edu/wessel/gshhg/>