

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ НА КИСЛО-СЛАДКОМ ОЗЕРЕ

*Виноградов Дмитрий Сергеевич¹, Варламов Сергей Александрович¹, Волович Надежда Михайловна¹,
Краснова Елена Дмитриевна²*

¹ – Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Физический факультет г. Москва

² – Беломорская биологическая станция им. Перцова Н.А. Биологического факультета МГУ им.

Ломоносова г. Москва

Данная работа представляет собой описание гидрологического исследования Кисло-сладкого озера, как часть комплексного исследования рельефа дна, гидрологических характеристик, спектров поглощения света воды на разной глубине, бентосных сообществ, а также экологических особенностей макробентосных и наземных организмов. Получаются и анализируются вертикальные профили цветных слоёв, освещённости, температуры, солёности, окислительно-восстановительного потенциала, кислотности и содержания кислорода в различных точках озера;

Цели:

- исследовать стратификацию водных масс Кисло-сладкого озера;
- выяснить и объяснить влияние сизигийных приливов на стратификацию озера.

Задачи:

- используя различные приборы и методы получить вертикальные профили освещённости, температуры, солёности, окислительно-восстановительного потенциала, кислотности и содержания кислорода в разных точках озера;
- выделить водные массы с контрастными характеристиками;
- сравнить распределение освещённости в море и в озере;
- собрать пробы воды с характерных глубин для изучения спектров поглощения света;
- выявить наиболее интересные горизонты для бентосных работ;
- сравнить стратификацию озера до и после сизигийного прилива.

Оборудование и методы:

- Солёность и температуру измеряли кондуктометром WTW Cond 315i.
- Кислотность и окислительно-восстановительный потенциал измеряли pH- и Eh-метром WaterLiner WMM-73 с использованием различных электродов.
- Пробы воды брали с разных глубин с помощью портативного погружного насоса Whale Premium Submersible Pump GP1352.
- Глубину измеряли эхолотом FishFinder 140 Garmin.
- Анализ содержания растворённого кислорода проводили с помощью оксиметра (Марк 302 Э) с погружаемым зондом для измерения in situ.
- Освещённость на различных глубинах измеряли модернизированным для погружения в воду прибором из бытового люксметра AR813A.

Для получения данных были выбраны гидрологические станции, представленные на рис. 1.

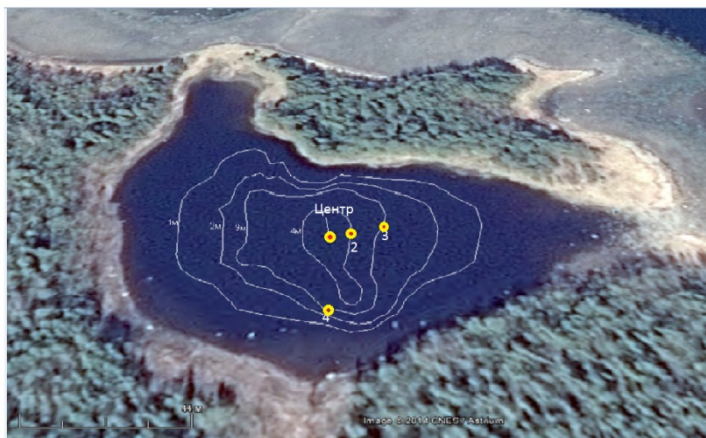


Рис. 1. Карта гидрологических станций. На карте видна форма и расположение относительно моря и суши Кисловодского озера. Белыми линиями на карте обозначены линии уровня постоянной глубины и сделаны подписи глубин. Жёлто-красными точками обозначены места гидрологических станций.

Результаты

Результаты измерений, проведённых 08.08.2014, освещённости (люксометрии), температуры, солёности, окислительно-восстановительного потенциала, кислотности и содержания кислорода и расположение цветных слоёв представлены на нормированных на 100% графиках (рис. 2). Запах сероводорода наблюдался с глубины 2,6 м. 18.10.2012 красный слой наблюдался с глубины 3,5 м до 4 м.

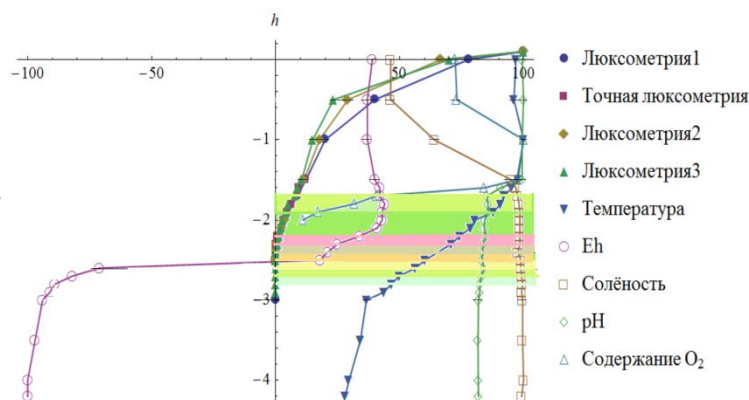


Рис.2. Нормированные на 100 % графики люксометрии, температуры, солёности, окислительно-восстановительного потенциала, кислотности и кислород содержания в озере с расположением цветных слоёв в озере. Глубина на графике измеряется в метрах. За 100 % брались максимальное значение параметра, для: люксометрии – 48000 люкс; температуры – 25,7°C; окислительно-восстановительного потенциала – 268 мВ; солёности – 26,1‰; кислотности – 8,69; содержание кислорода - 13,3 мг/л.

Гидрологические профили температуры, солёности и кислотности в разных точках озера представлены на рис. 3.

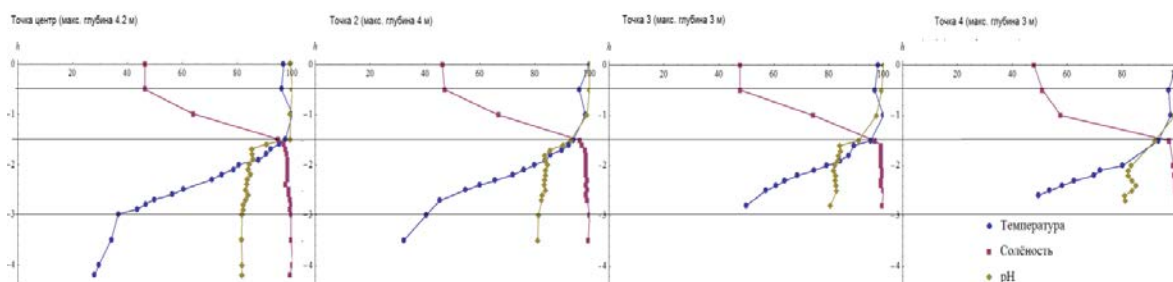


Рис. 3. Нормированные на 100% графики температуры, солёности и кислотности в различных точках озера. Глубина на графике измеряется в метрах. Над графиками написаны те точки, в которых получены данные графики. Горизонтальными линиями отделены характерные слои практически не меняющие своих расположений и параметров от точки к точке: зона ветрового перемешивания (0 – 0,5 м); Галоклин (0,5 – 1,5 м); термоклин (1,5 – 3 м).

Сравнение освещённости Кисло-сладкого озера и пролива Великая Салма представлено на рис. 3.

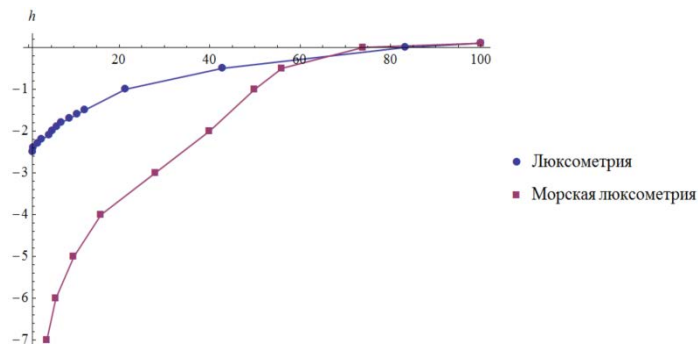


Рис. 4. Нормированные на 100% графики люксометрии в озере и в море. Глубина на графике измеряется в метрах. За 100% брались максимальное значение параметра, для: освещённости в озере – 48000 люкс; освещённости в море – 50000 люкс.

Во время сизигийного прилива 14.08.2014 в озеро поступала морская вода с температурой 15°C и солёностью 22 ‰. Во время сизигийного прилива 18.10.2012 в озеро поступала морская вода с температурой 6,5 °C и солёностью 25 ‰. После сизигийного прилива 18.10.2012 и 14.08.2014 стратификация цветных слоёв в озере не изменилась (необходимо объяснить почему).

Обсуждение

На основании анализа рис. 2 и рис. 3 столб воды в озере был разделён на слои, показанные на рис. 5.

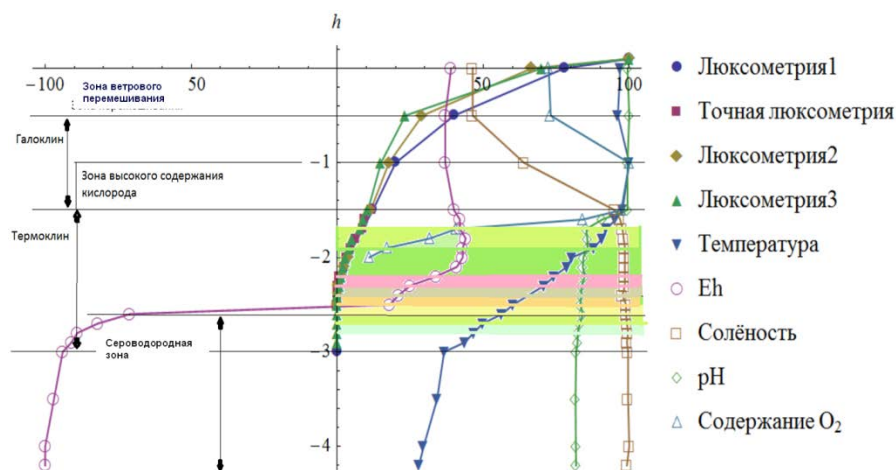


Рис. 5. Нормированные на 100% графики люксометрии, температуры, солёности, окислительно-восстановительного потенциала, кислотности и кислород содержания в озере с расположением цветных слоёв в озере. Глубина на графике измеряется в метрах. На графике горизонтальными линиями выделены: зона ветрового перемешивания (0 – 0,5 м): в этой области происходит интенсивное перемешивание водных масс ветром и температура в этой зоне сильно зависит от погоды, и как следствие там все измеренные параметры примерно одинаковы на различных глубинах; галоклин (0,5 – 1,5 м): в этой области с ростом глубины резко возрастает солёность; зона высокого содержания кислорода (1 – 1,5 м): концентрация кислорода в этой области максимальна и равна 13,3 мг/л; термоклин (1,5 – 3 м): в этой области с ростом глубины резко падает температура; сероводородная зона (2,5 м – до дна): обнаружен запах сероводорода.

На рис. 4 видно, что в Кисло-сладком озере освещённая зона заканчивается на глубине 2,6 м. Однако в море до глубины 7 м тёмная зона не обнаружена. Наличие в озере тёмной зоны связано с большим, по сравнению с морем содержанием в озере взвеси (планктонные организмы?).

Впервые авторами данной работы было сделано теоретическое объяснение изменений в Кисло-сладком озере связанных с сизигийными приливами.

Для того чтобы узнать на какую глубину поступает морская вода в озеро во время сизигийного прилива необходимо знать плотность морской воды и профиль плотности воды в озере по глубинам. Из закона Архимеда следует, что морская вода поступит на ту глубину озера, на которой плотность воды в озере будет равна плотности морской воды. Плотность воды при постоянном атмосферном давлении зависит от её температуры и солёности и выражается следующей формулой

$$\rho(T, S) = 999,842594 + 6,793952 \cdot 10^{-2}T - 9,09529 \cdot 10^{-3}T^2 + 1,001685 \cdot 10^{-4}T^3 - 1,120083 \cdot 10^{-6}T^4 + 6,536332 \cdot 10^{-9}T^5 + (0,824493 - 4,0899 \cdot 10^{-3}T + 7,6438 \cdot 10^{-5}T^2 - 8,2647 \cdot 10^{-7}T^3 + 5,3875 \cdot 10^{-9}T^4)S - (5,72466 \cdot 10^{-3} - 1,0227 \cdot 10^{-4}T + 1,6546 \cdot 10^{-6}T^2)S^{3/2} + 4,8314 \cdot 10^{-4}S^2 \quad (0.1),$$

где T – температура в °C, S – солёность в ‰, ρ – плотность в кг/м³.

Вычисленные с помощью формулы (1.1) плотности морской воды и воды в озере показывают, что морская вода во время сизигийного прилива 14.08.2014 поступала на глубину 1,55 м (рис. 6).

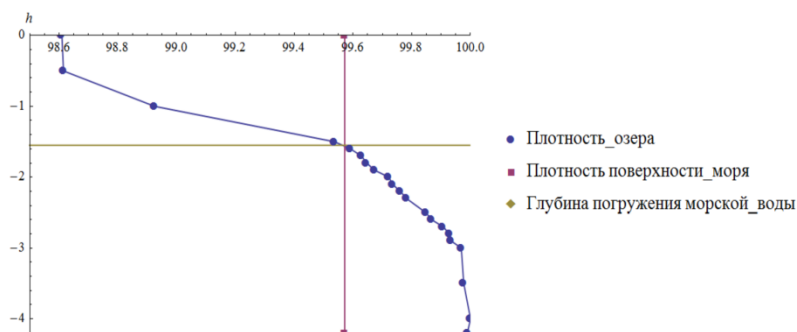


Рис. 6. Нормированный на 100% график зависимости плотности воды в озере от глубины (м). Вертикальной прямой обозначена величина плотности морской воды. Горизонтальной прямой обозначена глубина проникновения морской воды.

Это значит, что морская вода не могла перемешать цветные слои в озере, которые начинаются с глубины 1,7 м, в чём мы убедились, взяв пробы воды после прилива. Также из рис. 6 следует, что температура и солёность в озере должны измениться до глубины не более чем 2 м, что и подтверждают данные полученные после прилива (рис. 7 и рис. 8)

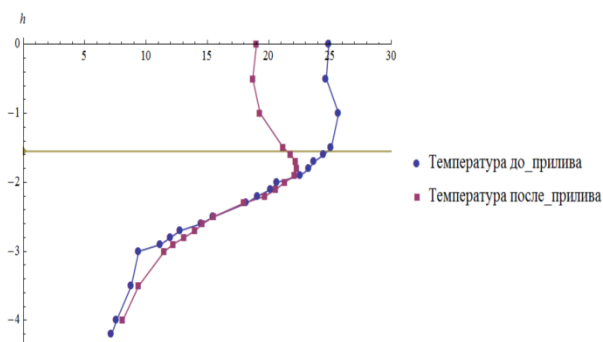


Рис. 7. Графики зависимости температуры (°C) озера до и после сизигийного прилива от глубины (м). Горизонтальной прямой обозначена глубина проникновения морской воды.

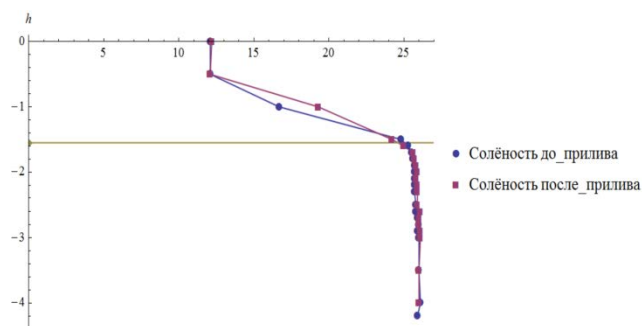


Рис. 8. Графики зависимости солёности (‰) озера до и после сизигийного прилива от глубины (м).

Аналогично, проведя вычисления плотности морской воды, поступающей во время прилива 18.10.2012, было получено, что морская вода поступала на глубину 3,45м (рис. 9), и не должна размывать красный слой (3,5 – 4 м), что подтвердилось при сборе проб воды в озере после прилива.

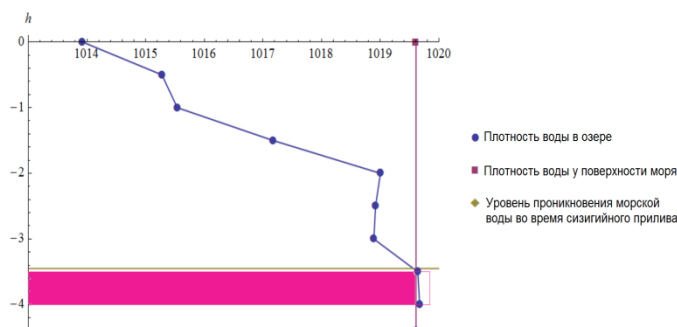


Рис. 9. График зависимости плотности (кг/м^3) воды в озере от глубины (м). Вертикальной прямой обозначена величина плотности морской воды. Горизонтальной прямой обозначена глубина проникновения морской воды. Красным выделен красный слой озера.

Выводы:

- На одних и тех же глубинах в различных точках озера измеренные параметры одинаковы.
- На основании вертикальных профилей освещённости, температуры, солёности, окислительно-восстановительного потенциала, кислотности и содержания кислорода выделено 5 вертикальных зон:
 - 0-0,5 м - зона ветрового перемешивания;
 - 0,5-1,5 м – галоклин, в нижней части галоклина на глубине 1-1,5 м находится область с высоким содержанием кислорода;
 - 1,5-3,0 м – термоклин;
 - от 2,5 м до дна – сероводородная зона.
- Освещенная зона в озере заканчивается на глубине 2,6 м; в море до глубины 7 м темная зона не обнаружена.
- Меньшая освещённость вод озера по сравнению с морем связана с большим содержанием в озере взвеси (планктонные организмы?).
- После августовского сизигийного прилива стратификация в озере не нарушилась. Морская вода поступила на глубину 1-1,6 м.
- Изменения, вызванные сизигийными приливами в августе и похолоданием происходят до глубины 1,6 м.
- Формула зависимости плотности воды от её температуры и солёности позволяет успешно предсказывать качественное влияние сизигийного прилива на стратификацию озера.

HYDROLOGICAL RESEARCH ON KISLO–SLADKOYE LAKE

Vinogradov Dmitrii Sergeevich¹, Varlamov Sergei Alexandrovich¹, Volovich Nadezda Mikhailovna¹, Krasnova Elena Dmitrievna²

¹ – *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, Moscow*

² – *Nikolai Pertsov White Sea Biological Station, Biology Department, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Moscow*

This work represents a description of hydrological research of Kislo-Sladkoye Lake as a part of complex research bottom topography, hydrological characteristics, water light absorption spectra on different depths, benthos communities and also ecological features of macrobenthos and terrestrial organisms. Vertical profiles of colored layer, illumination, temperature, salinity, redox potential, acidity and oxygen content are analyzed at different points in lake.

Aims:

- to research water stratification of Kislo-Sladkoye lake;
- find out and explain influence of spring tide on lake stratification.

Tasks:

- using different gadgets and methods get vertical profiles of illumination, temperature, salinity, redox potential, acidity and oxygen content in different points in lake;
- allocate water mass with contrast characteristics;
- compare distribution of illumination in sea and lake;
- collect probe of water from typical depths for analysis absorption spectrum of water;
- to detect more interesting horizons for benthos works;
- compare lake stratification before and after spring tide.

Supplies and methods:

- Salinity and temperature were measured by conductometer WTW Cond 315i.
- Acidity and redox potential were measured by pH- and Eh-meter WaterLiner WMM-73 with using different electrodes.
- Probes of water were taken from different depths with help of portable submersible pump Whale Premium Submersible Pump GP1352.
- Depth was measured by echo sounder FishFinder 140 Garmin.
- Analysis of containing solute oxygen were made with help of oxymeter (Mark 302 E) with submersible sonde for measuring in situ.
- Illumination on different depths was measured by advanced model of household illuminometer AR813A for submersion in water.

Discussion

According to analysis of the data column of water was divided on stratums:

- zone of wind mixing (0 – 0.5 m): In this area intensive mixing of water by wind and temperature in this zone strongly depend on weather, and consequently all the measured parameters are approximately the same at different depths;
- halocline (0.5 – 1.5 m): In this area salinity drastically increases with depth;

-area with high oxygen concentration (1 – 1.5 m): oxygen concentration in this area is at maximum and equals 13.3 mg/l;

-thermocline (1.5 – 3 m): in this area temperature decreases sharply with depth;

-hydrosulfuric zone (2.5 m – to the bottom): the layers with hydrogen sulfide smell.

For the first time ever theoretical explanation of changes in the Kislo-Sladkoye lake after spring tide was made.

In order to know what lake depth is reached by water coming from the sea during spring tide, seawater density and profile of water density in the lake is needed to know. From Archimedes' law it follows that seawater will go on the lake depth where water density will be equal to that of seawater. Water density under constant atmospheric pressure depends on temperature and salinity and is expressed by this formula

$$\rho(T, S) = 999,842594 + 6,793952 \cdot 10^{-2}T - 9,09529 \cdot 10^{-3}T^2 + 1,001685 \cdot 10^{-4}T^3 - 1,120083 \cdot 10^{-6}T^4 + 6,536332 \cdot 10^{-9}T^5 + (0,824493 - 4,0899 \cdot 10^{-3}T + 7,6438 \cdot 10^{-5}T^2 - 8,2647 \cdot 10^{-7}T^3 + 5,3875 \cdot 10^{-9}T^4)S - (5,72466 \cdot 10^{-3} - 1,0227 \cdot 10^{-4}T + 1,6546 \cdot 10^{-6}T^2)S^{3/2} + 4,8314 \cdot 10^{-4}S^2 \quad (0.2),$$

where T – temperature in °C, S – salinity in ‰, ρ – density in kg/m³.

Using formula (1.1) were calculated densities of water from sea and water in the lake and results shows that water from sea during spring tide at 14.08.2014 comes on the depth of 1.55 m.

That means that water from sea can not mix color stratum in the lake which starts at 1.7 m what we have seen, taking water probes after tide.

Similarly calculating densities of water from sea that comes in during tide at 18.10.2012 we found that water from sea came at 3.45m depth and should not be blue red stratum (3.5 – 4 m), what confirmed after taking water probes in the lake after tide.

Conclusions:

-Measured parameters are the same at different point of lake at the same depths.

-On the base of vertical profile illumination, temperature, salinity, redox potential, acidity and oxygen content 5 vertical zones were allocated:

0-0.5 m – wind mixing zone;

0.5-1.5 m – halocline, at the bottom of the halocline at a depth 1-1.5 m an area with high oxygen concentration is located;

1.5-3.0 m – thermocline;

from 2.5 m to the bottom – hydrogen sulfide zone.

-Illuminated zone in the lake ends on depth 2.6 m; in seawater before depth 7 m dark zone is not detected.

Lower illuminance of lake water relative to sea associated with more suspension in the lake (planktonic organisms?).

-After spring tide that took place in august, stratification in the lake did not break. Sea water comes at 1-1.6 m depth.

-Changes that were produced by spring tides in august and cooling took place up to 1.6 m depth.

-Formula that associate water density, temperature and salinity allow successfully forecasting qualitative influence that was made by spring tide on lake stratification.