

ОЦЕНКА ТЕПЛОЗАПАСОВ ВОДНОЙ МАССЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РАЗНОТИПНЫХ ОЗЕР В ПОДЛЕДНЫЙ ПЕРИОД

Кирвель П. И.¹, Курзо Б. В.², Гайдукевич О. М.²

¹*Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова Белгосуниверситета, г. Минск
e-mail: pavelkirviel@yandex.ru*

²*Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск,
e-mail: kurs2014@tut.by; olek2008@tut.by*

На примере разнотипных озер рассмотрено вертикальное распределение температуры в воде и донных отложениях в зимнее время. В глубоководном озере Глубля отмечается незначительный градиент увеличения температуры воды (+0,16°C/м), а на глубине 18 м выявлен слой с максимальной температурой 3,5°C, который находится у верхней границы гиполимниона. В мелководных озерах наблюдается постепенное увеличение температуры воды от поверхности с 0,6°C до 2,3 – 2,6°C с градиентом +0,5 – 1°C/м.

Оценен общий и приведенный теплозапасы в водной массе и донных отложениях озер. Установлено, что общий теплозапас водной массы на период исследований увеличивается от дистрофного озера (15 800 тыс. ккал.) к среднеглубокому эвтрофному (32 984 тыс. ккал.), а в мезотрофном составляет более 63 000 тыс. ккал. Общий теплозапас зимой в донных отложениях мезотрофного озера незначителен, а в мелководных озерах в сапропеля он более чем на порядок больше, чем в водной массе.

Показано, что приведенные к единому объемному показателю теплозапасы водной массы и донных отложений увеличиваются в ряду озер: мезотрофное > эвтрофное > дистрофное. В соответствии с увеличением приведенных теплозапасов водной массы уменьшается толщина льда озер.

Ключевые слова: озера; водная масса; сапропель; температура; теплозапасы.

ESTIMATION OF WATER MASS HEAT STOCKS AND BOTTOM SEDIMENTS OF DIFFERENT TYPE LAKES DURING THE ICE PERIOD

Kirvel P. I.¹, Kurzo B. V.², Hajdukiewicz O. M.²

¹*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University,
e-mail: pavelkirviel@yandex.ru*

²*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, e-mail: kurs2014@tut.by; olek2008@tut.by*

The vertical distribution of temperature in water and bottom sediments in winter is considered on the example of lakes of different types. In the deep-water lake Glublya, a slight gradient of an increase in water temperature (+ 0.16°C/m) is noted, and at a depth of 18 m, a layer with a maximum temperature of 3.5°C is revealed, which is located at the upper boundary of the hypolimnion. In shallow lakes, there is a gradual increase in water temperature from the surface from 0.6°C to 2.3 – 2.6°C with a gradient of + 0.5 – 1°C/m.

The total and reduced heat reserves in the water mass and bottom sediments of the lakes are estimated. It has been established that the total heat content of the water mass for the period of research increases from a dystrophic lake (15 800 thous. kcal.) To a medium-deep eutrophic (32 984 thous. kcal.), and in a mesotrophic lake it is more than 63 000 thous. kcal. The total heat reserve in winter in the bottom sediments of a mesotrophic lake is insignificant, and in shallow lakes in sapropel it is more than an order of magnitude higher than in the water mass.

It is shown, that the heat reserves of the water mass and bottom sediments, reduced to a single volume indicator, increase in the series of lakes: mesotrophic > eutrophic > dystrophic. In accordance with the increase in the reduced heat reserves of the water mass, the ice thickness of the lakes decreases.

Keywords: lakes; water mass; sapropel; temperature; heat reserves.

Температурный режим озер в зимнее время имеет важное значение при формировании первичной продукции и оценке экологической ситуации в этот период года. Большое внимание изучению термического режима озер уделено в работах О. Ф. Якушко [1 – 3]. Изучены теплозапасы водной массы озер [4]. В летнее время термические характеристики водной массы взаимосвязаны с морфометрическими показателями озерной котловины, что позволяет прогнозировать особенности формирования температуры малых озер с учетом морфометрических характеристик [5]. В зимнее время после установления ледостава в условиях отсутствия ветрового перемешивания, когда практически нет потока приходящей коротковолновой радиации, отсутствуют затраты тепла на испарение и турбулентный обмен с атмосферой на температурный режим водной массы озер влияют преимущественно тепловой приток из донных отложений и тепломассоперенос в верхнем слое воды на контакте со льдом.

Для оценка теплозапасов водной массы и донных отложений разнотипных озер в подледный период 22.01.2021 г. выполнен комплекс работ по измерению температуры воды и донных отложений в точках акватории с максимальными глубинами и мощностями сапропеля. Следует отметить, что сомкнутый ледовый покров на объектах исследования образовался в первой декаде января 2021 г., то есть за 2 недели до полевых работ. Объектами исследования служили малые разнотипные озера приблизительно одинаковой площади, расположенные в бассейне р. Страча на расстоянии 8 – 12 км друг от друга: мезотрофное озеро Глубля, эвтрофное Свирьнище и дистрофное Белоголовое (таблица 1). Для этих озер характерна слабая проточность из-за большого объема водной массы в оз. Глубля и слабого притока с водосбора бессточных озер Свирьнище и Белоголовое.

Площадь исследованных озер изменяется от 20 га (Белоголовое) до 47 (Глубля). Глубина воды в точке замера температуры в оз. Глубля составила 26 м при максимальной 26,8 м. В летнее время вода здесь стратифицирована – слой температурного скачка находится на глубине 15 – 18 м. В озерах Свирьнище и Белоголовое температура воды замерялась в точках ее максимальной глубины – 4,0 и 2,0 м соответственно.

Общая минерализация воды мало отличается в мезотрофном и эвтрофном озерах и составляет 270-280 мг/л, а донные отложения

представлены среднезольными сапропелями с повышенным содержанием карбонатов кальция. В дистрофном озере Белоголовое минерализация воды находится на уровне 110 мг/л, сапропель представлен высокогумусной разновидностью с очень низкой зольностью (таблица 1).

Объемы и мощности сапропеля, а также глубины и объемы воды определены на период проведения геологоразведочных работ в 1977 и 1980 годах. Мощность сапропеля в пунктах определения температуры осадков была в мезотрофном озере Глубля 3,8 м, в эвтрофном озере Свирьнице – 7 м, в дистрофном Белоголовое – 8 м. Объемная заиленность котловины осадками в мезотрофном озере составляет 14 %, эвтрофном – 66 % и дистрофном – 82 %. Глубины воды и мощности сапропеля в исследованных разнотипных озерах представлены на рисунке 1.

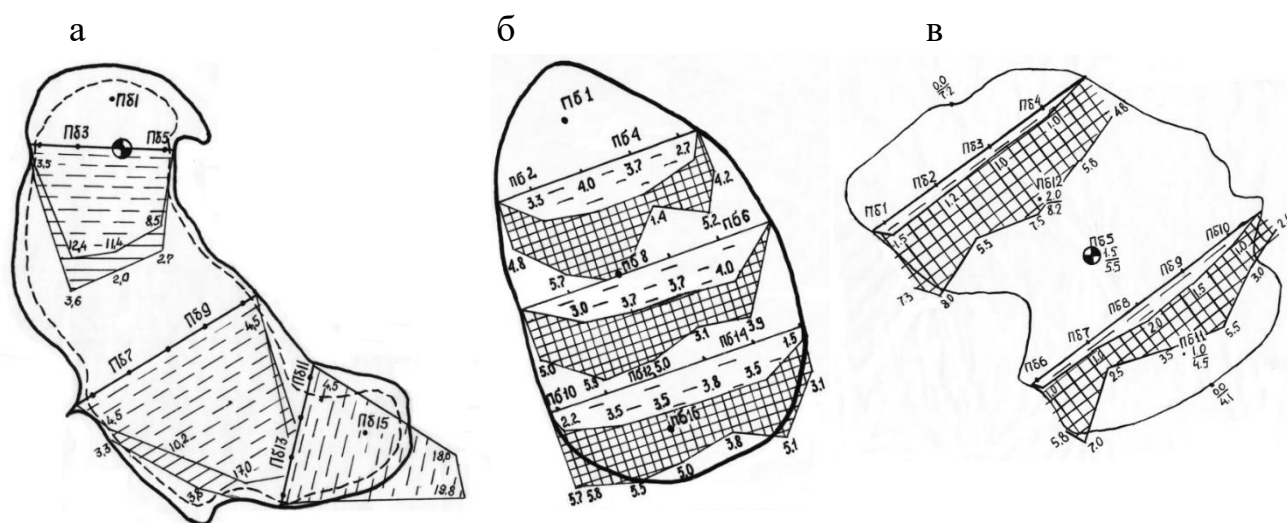


Рисунок 1 – Глубины воды и мощности сапропеля в разнотипных озерах Глубля (а), Свирьнице (б) и Белоголовое (в) по данным геологоразведочных работ

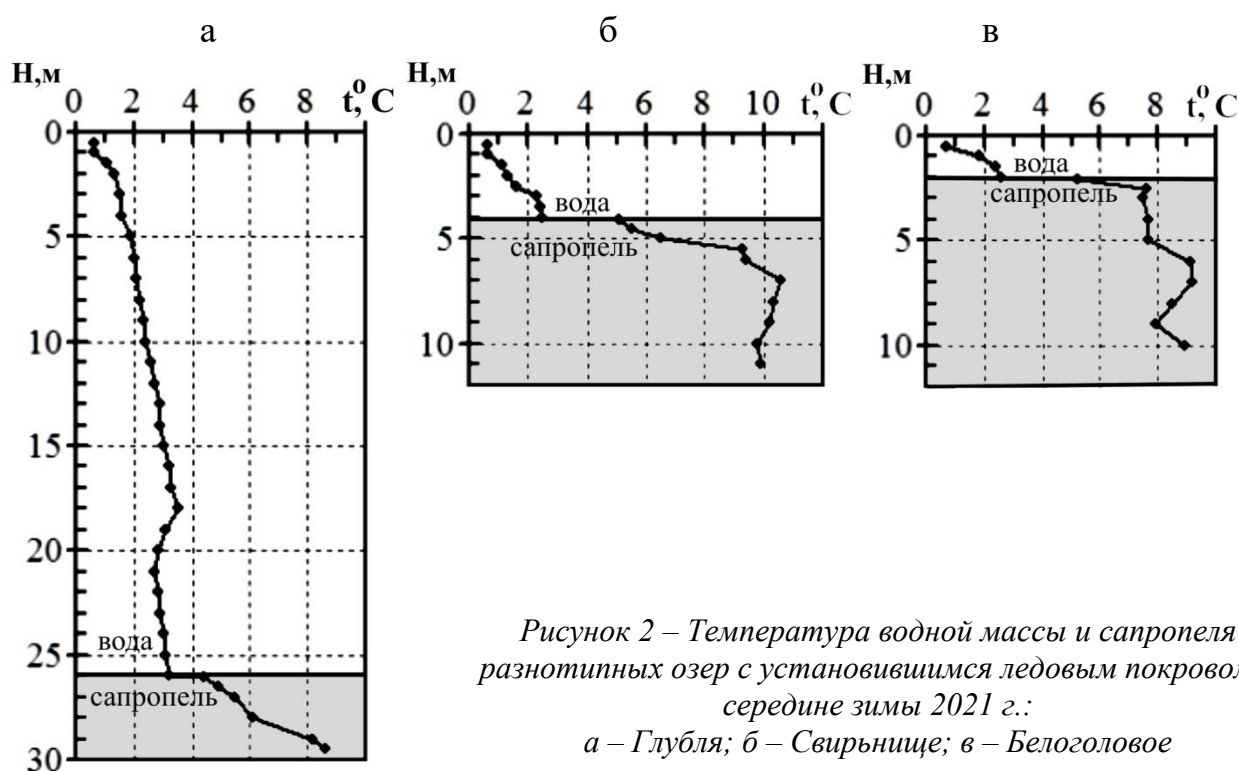
Замеры температуры воды производили через 1 метр однокамерным батометром с установленным ртутным термометром. Температура донных отложений измерялась портативным рН-метром/термометром модели НН 83141 (Германия) с интервалом 0,5 – 1 м в монолитах размером 0,25×0,25×0,5 м, извлеченных из залежи с помощью желонки на штангах.

Температурные кривые водной массы и донных отложений 22.01.2021 г. в точках с максимальными глубинами представлены на рисунке 2.

Минимальная температура воды в поверхностном слое 0,6°С в глубоководном озере Глубля и среднеглубоком озере Свирьнице зафиксирована до глубины 1 м. В мелководном дистрофном озере Белоголовое эта температура отмечена в слое до глубины 0,5 м. В глубоководном озере Глубля в день замеров до глубины 18 м происходит постепенное (градиент +0,16°С/м) увеличение температуры воды с 0,6 до 3,5°С, а затем ее температура сначала снижается до 2,7°С на глубине 21 м (градиент -0,27°С/м), а затем снова увеличивается до 3,2°С в придонном слое под влиянием теплопереноса из донных отложений. Перегиб в

показателях температуры на глубине 18 м объясняется положением в данном месте слоя температурного скачка в летнее время. Водная масса до этой отметки в течение климатического сезона претерпевает значительную температурную трансформацию, а в нижележащем слое воды отмечаются более стабильные температурные условия.

В более мелководных озерах при увеличении глубины происходит постепенное увеличение температуры воды от поверхности с $0,6^{\circ}\text{C}$ до $2,3^{\circ}\text{C}$ (Свирьнище) и $2,6^{\circ}\text{C}$ (Белоголовое) в придонных слоях. При этом градиенты возрастания температуры от поверхности ко дну составляют $0,48^{\circ}\text{C}/\text{м}$ для озера Свирьнище и $0,95^{\circ}\text{C}/\text{м}$ для озера Белоголовое.



*Рисунок 2 – Температура водной массы и сапропеля разнотипных озерах с установившимся ледовым покровом в середине зимы 2021 г.:
а – Глубля; б – Свирьнище; в – Белоголовое*

В незначительных по мощности осадках мезотрофного озера Глубля зафиксировано постепенное увеличение температуры сапропеля от поверхностных слоев ($4,4 - 4,9^{\circ}\text{C}$) до придонных на глубине 3,5 м ($8,6^{\circ}\text{C}$). В эвтрофном и дистрофном озерах с мощными залежами сапропеля температура осадкой постепенно увеличивается до определенной глубины, а затем начинает несколько снижаться или варьировать около $9 - 9,5^{\circ}\text{C}$. В зимнее время слой с постоянно возрастающей температурой осадков с $5,1^{\circ}\text{C}$ до $10,6^{\circ}\text{C}$ в эвтрофном озере Свирьнище находится на глубине 3 м (градиент $+1,83^{\circ}\text{C}/\text{м}$).

Таблица 1 – Характеристика исследованных озер

Озеро, тип, дата геологической разведки	Площадь, га озера сапропеля	Глубина воды, м <u>максим.</u> средняя	Средняя минера- лизация воды, мг/л	Мощность сапропеля, м <u>максим.</u> средняя	Объем, тыс. м ³ вода сапропель	Объемное заиление котловины, %	Средний состав сапропеля, % СВ			
							А ^с	Fe ₂ O ₃	CaO	N _{общ.}
Глубля, мезотрофное, февраль 1980 г.	<u>47</u> 45	<u>26,8</u> 10,4	280	<u>3,8</u> 1,74	<u>5000,0</u> 783,0	14	54	0,7	44,2	0,7
Свирьнище, эвтрофное, март 1977 г.	<u>37</u> 37	<u>4,0</u> 2,64	270	<u>7,2</u> 4,61	<u>980,0</u> 1706,0	66	52	2,1	32,0	1,2
Белоголовое, дистрофное, май 1980 г.	<u>20</u> 20	<u>2,0</u> 1,04	110	<u>8,2</u> 4,67	<u>208,0</u> 934,0	82	7,6	0,9	1,4	3,8

В дистрофном озере Белоголовое мощность слоя с заметным возрастанием температуры с 5,2°С до 7,6°С гораздо меньше и составляет около 0,5 м, ниже которого температура органического сапропеля варьирует от 7,5°С на глубине 1 м до 7,9-8,9°С у дна на глубине 7-8 м. Малая мощность слоя сапропеля с постоянно возрастающей температурой объясняется крайне низкой зольностью осадков, обладающих низкой теплопроводностью и незначительной конвекционной способностью из-за практического отсутствия минеральных включений.

Изученные морфометрические особенности котловин разнотипных озер, данные о характере распределения температуры в воде и сапропеле по глубине позволяют оценить общий теплозапас каждого озера, т.е. количество тепла, заключенного в его водной массе и донных отложениях в зимнее время. Определение теплозапаса в водной массе проводили по методике, изложенной в монографии О. Ф. Якушко [2, стр. 110], Для этого использовали полученные через 1 м данные по температуре воды в точке с максимальной глубиной, объемы воды, заключенные в слоях с сечением 1 м и приведенную мощность каждого слоя, которая выражалась частным от деления объема слоя на площадь озера.

Для расчета теплозапаса по слоям воды и сапропеля использовали формулу:

$$\Theta = C_p \rho T W, \quad (1)$$

где: C_p – удельная теплоемкость воды (сапропеля), ккал/кг·°С; ρ – плотность воды (сапропеля) при 0,5 – 4°С, т/м³; T – средняя температура слоя, °С; W – объем воды в слое, м³.

Теплозапас каждого слоя воды рассчитывался как произведение средней температуры слоя на его приведенную мощность. Сумма теплозапасов всех слоев воды составляет теплозапас водной массы озера. При этом, для упрощения расчетов принято, что плотность воды при 0,5 – 4°С составляет 1 т/м³, а удельная теплоемкость – 1 ккал/кг·°С.

По данной методике рассчитывался теплозапас донных отложений. Принято, что средняя плотность минерализованного сапропеля озер Глубля и Свирьнице составляет 1,1 т/м³, а органического сапропеля озера Белоголовое – 1,05 т/м³. Удельная теплоемкость минерализованного сапропеля озер Глубля и Свирьнице принята 0,8 ккал/кг·°С, а малозольного озера Белоголовое – 0,95 ккал/кг·°С.

Расчеты температуры и теплозапасов водной массы и сапропеля в разнотипных озерах системы р. Страча на 22.01.2021 г. представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Температура и теплозапасы водной массы и сапротеля в разнотипных озерах системы р. Страча на 22.01.2021 г.

Озеро	Глубина, м вода сапротель	Средняя температура и ее вариации, °С		Общий теплозапас в озере, тыс. ккал.		Приведенный теплозапас, ккал/м ³		Толщина льда, см
		вода	сапротель	вода	сапротель	вода	сапротель	
Глубля	<u>26,0</u> 3,8	<u>0,6-3,5</u> 2,5	<u>4,6-8,6</u> 6,9	63 017	8 340	12,6	10,7	22-24
Свирьнище	<u>4,0</u> 7,2	<u>0,6-2,5</u> 1,6	<u>5,5-10,6</u> 9,0	32 984	438 980	33,7	257,3	18-20
Белоголовое	<u>2,0</u> 8,2	<u>0,7-2,6</u> 1,9	<u>7,5-9,2</u> 8,2	15 800	370 000	77,5	396,1	14-15

Средняя температура водной массы увеличена в глубоком озере Глубля за счет повышенных показателей температуры в гипolimнионе, которые на глубинах более 20 м мало отличаются от летних значений [2, стр. 103, рисунок 31]. В нестратифицированных в летний период мелководных озерах Свирьнище и Белоголовое выявлено заметное охлаждающее влияние ледового покрова на снижение температуры незначительного по мощности объема водной массы.

Средняя температура донных отложений повышена в мелководных озерах, по сравнению с глубоководным. Можно предположить, что донные отложения озера Глубля в течение года имеют незначительную амплитуду изменения температуры, по сравнению с мелководными озерами, так как изолированы от вышележащих слоев воды стабильным в температурном плане слоем гипolimниона.

Общий теплозапас водной массы на период исследований увеличивается от мелководного дистрофного озера (15 800 тыс. ккал.) к среднеглубокому эвтрофному (32,98 тыс. ккал.) и в мезотрофном составляет более 63 тыс. ккал. Общий теплозапас в маломощных донных отложениях мезотрофного озера незначителен и в более чем семь раз уступает теплозапасу в водной массе. В мелководных озерах зимой теплозапас сапротеля более чем на порядок больше, чем в водной массе.

Приведенные к единому объемному показателю теплозапасы как водной массы, так и донных отложений увеличиваются в ряду озер: мезотрофное > эвтрофное > дистрофное. В соответствии с увеличением приведенных теплозапасов водной массы озер уменьшается толщина льда, образованного за первые две недели формирования ледового покрова.

Библиографические ссылки

1. Якушко, О.Ф. Озероведение: География озёр Белоруссии: Учебн. пос. для геогр. спец. вузов. / О.Ф. Якушко. – Минск: Вышэйшая школа, 1981. – 223 с.
2. Якушко, О.Ф. Белорусское Поозерье. История развития и современное состояние озер Северной Белоруссии. / О.Ф. Якушко. – Минск: Вышэйшая школа, 1971. – 335 с.

3. Лопух, П.С. Общая лимнология: Учебное пособие. // П.С. Лопух, О.Ф. Якушко. – Минск: Изд-во БГУ, 2011. 340 с.
4. Kirvel, P. Heat reserves of lakes of Belarus. / P. Kirvel // Limnological Review. Sciendo, 2020. – Vol. 3. – P. 161-171.
5. Гурьянова, Л.В. Морфометрия малых озер и их термика / Л.В. Гурьянова // Вестн. БГУ. Сер. 2: химия, биология, география, 1988. – № 2. – С. 42-45.