

ЦЕНТРАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ЕДИНОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ СССР

БИБЛИОТЕКА
Ленинградского
Университета
Специальный фонд

3082

3082

ТРУДЫ
ЛИМНОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ
В КОСИНЕ

20

ARBEITEN DER LIMNOLOGISCHEN STATION ZU KOSSINO
DER HYDROMETEOROLOGISCHEN ADMINISTRATION DER USSR

РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ ЦУЕГМС СССР
МОСКВА — MOSKAU
1935

ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ ФОТОСИНТЕЗА И ДЫХАНИЯ ВОДНОЙ МАССЫ ОЗЕРА.

К ВОПРОСУ О БАЛАНСЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА. СООБЩЕНИЕ II.

Г. Г. Винберг и А. И. Иванова

ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Изучение динамики органического вещества водоемов является в настоящее время важнейшей задачей теоретической и прикладной лимнологии.

Несмотря на большое внимание к этой проблеме, плодотворное изучение ее тормозится как отсутствием достаточно разработанного теоретического подхода, объединяющего и осмысливающего, получаемые различными методами данные, так в особенности отсутствием практически применимого метода, позволяющего достаточно полно, однозначным образом характеризовать водоем по отношению к динамике органического вещества.

За последнее время достигнута некоторая ясность в содержании понятий, связанных с изучением так называемой, продуктивности водоемов. (А. Тиенман и М. Штрём 22, М. Штрём 21), но практическое применение теоретических положений наталкивается на отсутствие адекватного им метода.

Так Тиенман доказывая в специальной статье, что продуктивность водоема выражается не только наличием в каждый данный момент количеством органического вещества, но также и интенсивностью образования и разрушения его, приходит в конце работы к выводу о невозможности практически измерить эту динамическую сторону явления.

Аналогичным образом и Штрём во введении к своей работе дает последовательный и очень четкий анализ содержания понятия продуктивности, на основе которого приходит к выводу о принципиальной невозможности характеризовать продуктивность водоема, основываясь на результатах количественного учета населения его. Во второй конкретной части работы, за отсутствием другого удовлетворяющего теоретическим представлениям метода, он принужден основываться только на методах количественного учета бентоса и планктона, которые им же самим признаны совершенно недостаточными.

Само понятие продуктивности водоема, в различных исследованиях, в зависимости от их целей и применяемых методов, приобретает различное содержание.

В настоящей работе, являющейся попыткой применения нового метода, созидание и разрушение органического вещества в водной массе водоема рассматриваются как часть более общей лимнологической проблемы баланса органического вещества в озере (Л. Россолимо 18).

Чрезвычайно существенно, что все крайне разнообразные процессы превращения органических веществ с энергетической стороны распадаются на две резко разграниченных группы: экзотермические процессы распада и упрощения органических соединений и эндотермические процессы синтеза их.

Экзотермический распад органических веществ может происходить различными путями как при участии биологических процессов, так и чисто химическим путем

(впрочем, вероятно, что в природных условиях последний путь не имеет существенного значения).

В обоих случаях в природных условиях в итоге длинного ряда превращений, органическое вещество либо подвергается полному окислению свободным кислородом, либо частично откладывается в виде относительно стойких соединений (гумус, сапропель и проч.).

Эндотермический процесс синтеза органических соединений может совершаться только при посредстве живых организмов, причем практически единственным процессом такого рода является фотосинтез. Как уже упоминалось в другом месте (В и б е р г 23), деятельность хемосинтетических бактерий в огромном большинстве случаев построена на использовании энергии промежуточных продуктов окисления органических соединений. По отношению к балансу органического вещества в водоеме — они должны рассматриваться наряду с гетеротрофными организмами, так как в результате их деятельности так же, как и в результате деятельности гетеротрофных организмов, — происходит уменьшение общих запасов энергии, накопленной в водоеме за счет поглощения лучистой энергии при фотосинтезе или поступлений извне.

Баланс органического вещества будет охарактеризован наиболее полным образом, если каким-либо путем окажется известным не только наличное в каждый данный момент суммарное количество органических веществ (по терминологии М. Ш т р ё м а — продуктивность), но и скорость образования и скорость разрушения их и их изменения в течение годового цикла. Зная последние величины, возможно получить количественное представление об итоге этих двух противоположных процессов за определенный период времени (Продукция — по терминологии М. Ш т р ё м а).

Именно эта последняя величина представляет наибольший интерес как с точки зрения изучения процессов развития водоема (плодообразование и проч.), так и с точки зрения хозяйственного использования водоема. Вместе с тем современная лимнология не располагает разработанными и принятыми в практике методами, позволяющими получить количественное представление о «чистой продукции» в смысле М. Ш т р ё м а.

Попыткой подойти к количественному изучению этого вопроса и являются описываемые ниже наблюдения над процессами создания и распада органического вещества в водной массе, которые составляют один из главных элементов баланса озера.

МЕТОД НАБЛЮДЕНИЙ

Сущность уже описанного в предварительном сообщении метода сводится к измерению интенсивности поглощения и выделения кислорода в воде, путем помещения в озеро на сутки герметически закрытых склянок, заполненных водой, взятой с той же глубины, на которую устанавливается данная склянка. На каждую глубину с помощью описанной ниже установки укрепляются затемненные склянки (обернутые в темную клеенку) и не затемненные, обычные склянки из белого стекла. Происходящее в течение суточной экспозиции уменьшение содержания кислорода в затемненных склянках принимается за интенсивность поглощения его водой данного слоя, а разность в содержании кислорода в воде светлой и затемненной склянки после суточной экспозиции за интенсивность выделения кислорода (интенсивность фотосинтеза). Принимая, что поглощение кислорода в основном обуславливается окислением органических веществ, содержащихся в воде, легко, на основании интенсивности поглощения кислорода водой¹, судить с достаточной точностью о количестве выделяемой при этом энергии, а, следо-

¹ Как и в предыдущем сообщении, в целях краткости мы считаем возможным употреблять выражение «интенсивность дыхания» вместо «интенсивность поглощения кислорода» и «фотосинтез воды» вместо «фотосинтез водорослей, содержащихся в воде».

вательно, и об общем количестве подвергающихся за сутки полному окислению органических соединений.

Аналогичным образом, исходя из интенсивности фотосинтеза и зная, что 1 мг выделенного кислорода соответствует 3,51 кал, легко получить количество поглощаемой за сутки энергии, пропорциональное количеству вновь образованного за тот же период времени органического вещества.

Зная интенсивность разрушения и интенсивность образования органических веществ во всех слоях воды и зная объем каждого слоя, можно путем простого пересчета получить количественное представление об итоге этих двух противоположных процессов.

При этом возможны 3 случая:

1. Количество разрушенного за сутки органического вещества равно количеству синтезированного. В этом случае процессы, происходящие в водной массе водоема, не приводят к изменению запасов органического вещества в нем.

2. Количество разрушенного органического вещества меньше количества образованного. В этом случае, в результате происходящих в водной массе процессов, происходит увеличение количества органического вещества в водоеме.

3. Обратный предыдущему — случай.

Все эти три случая могут наблюдаться в том же водоеме в разные сезоны.

Зная на основании систематических периодических наблюдений типичный ход этих процессов в течение годового цикла, можно получить количественное представление об их итоге за полный годичный цикл. Здесь же следует подчеркнуть, что получаемые таким путем данные об увеличении или уменьшении количества органического вещества за сутки или за год не являются непосредственным мерилем увеличения или уменьшения запасов органических веществ в целом водоеме, так как они получены исключительно на основании наблюдения процессов, происходящих в водной массе озера, без учета тех явлений разрушения и образования, которые происходят в литорали и сублиторали благодаря деятельности высшей растительности, прибрежной и донной фауны. Помимо того, изменение запасов органических веществ в целом водоеме зависит от количества поступающих в него и удаляемых различными путями органических соединений, что также не затрагивалось в настоящей работе.

Вместе с тем очевидно, что во многих случаях именно процессы, происходящие в водной массе, определяют характер баланса органического вещества в целом водоеме. Чем крупнее и глубже озеро, тем большее относительное зна-

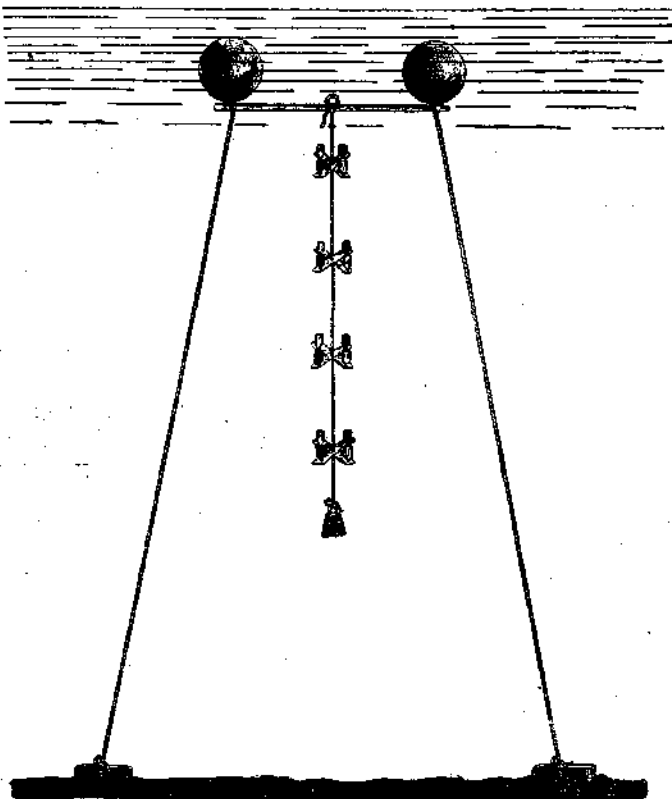


Рис. 1. Общий вид установки.
Abb. 1. Gesamtaussicht der Aufstellung.

чение в общем балансе органических веществ должны иметь процессы, происходящие в водной массе, количественное изучение которых возможно предлагаемым методом.

Приведенные ранее результаты применения метода показывают, что получаемые количественные данные по интенсивности процессов поглощения и выделения

кислорода могут и должны быть использованы двояким образом: во-первых — для количественной характеристики баланса органического вещества в водной массе водоема, определяемой суммарным результатом всех процессов образования и разрушения органических веществ и во-вторых, для изучения особенностей самих процессов дыхания и фотосинтеза и зависимости этих процессов от внешней среды в природных условиях.

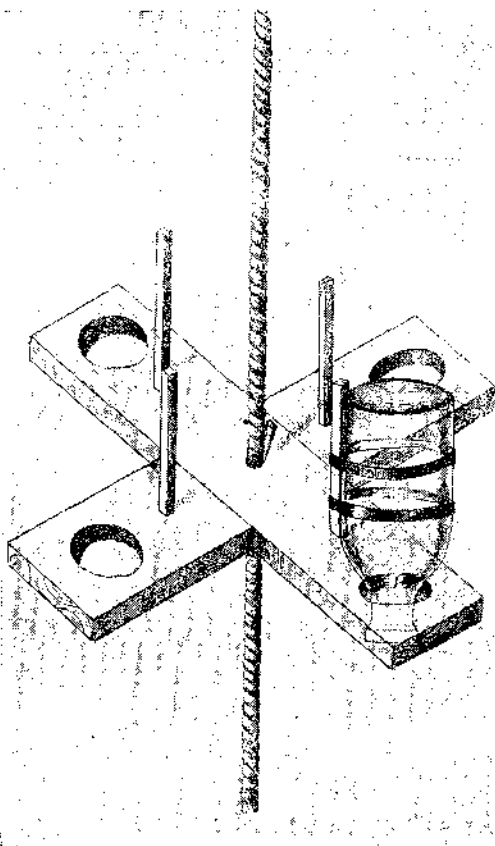


Рис. 2. Деревянная подставка для банок.
Abb. 2. Holzgestell für die Flaschen

Кроме того, была изменена сама установка, с помощью которой банки фиксировались на определенной глубине в озере. Установка состояла из деревянного бруска, удерживаемого близ поверхности двумя прикрепленными к его концам футбольными камерами неподвижно установленного на грузах в центральной части Белого озера на глубине 10 м и надевавшегося на него с помощью крючка шнур с укрепленными на деревянных подставках банками. Такое устройство позволяет укреплять склянки точно на желаемую глубину и вместе с тем не видно с поверхности, что имеет значение при работе на озерах в населенных местах. На рис. 1 изображен общий вид установки (см. рис. на стр. 7).

Рис. 2 показывает устройство деревянных подставок для склянок и способ укрепления склянок с помощью резиновых колец.

Описываемое устройство вполне оправдало себя на практике, так как, отличаясь простотой укрепления склянок, позволяет быстро устанавливать и вынимать установку, что имеет значение для точности получаемых результатов. В случае необходимости еще большего упрощения установки, например, в экспедиционных условиях, вполне возможно привязывать или укреплять на крюч-

МЕТОДИКА

В настоящем сообщении изложены результаты продолжения наблюдений на Белом озере в Косине.

В отличие от наблюдений 1932 г. (Винберг 23), охвативших только верхние слои воды, в 1933 г. наблюдения производились по всей толще воды озера с целью получить количественное представление о балансе органического вещества не только поверхностных слоев воды, но и всей водной массы в целом.

По сравнению с предыдущим годом, в 1933 г. были внесены некоторые изменения в методику, а именно: вместо склянок вместимостью около 800 см³, в озеро погружались небольшие склянки объемом в 130—150 см³, в которых и производилась после экспозиции фиксация O₂.

ах Белого озера. Все величины выражены в мг на 1 л за сутки.
 Sees im Sommer 1933. Alle Werte sind in mg pro L und 24 St. angegeben.

4 м					5 м					6 м					7 м					8 м					9 м										
t°	O ₂	A	B	A-B	t°	O ₂	A	B	A-B	t°	O ₂	A	B	A-B	t°	O ₂	A	B	A-B	t°	O ₂	A	B	A-B	t°	O ₂	A	B	A-B						
6,5	11,41	0,21	0,21	0,00																															
					11,7	10,03	0,04	0,31	-0,27						8,9	11,28	0,04	0,51	-0,47						6,8	11,09	0,00	0,46	-0,46						
					11,8	9,74	0,20	(0,27)	(-0,47)						9,9	10,20	0,01	0,35	-0,24						6,9	10,70	0,04	0,36	-0,32						
		(0,20)	(0,39)				0,13	0,31							10,4	9,90	0,04	0,51	-0,47						6,9	8,33	-0,08	0,39	-0,33						
												(0,07)	0,38)		9,9	7,61			(-0,44)						8,5	4,87			-0,36						
					12,8	8,19	0,06	0,33	-0,26								0,03	0,46	-0,41								(0,01)	(-0,41)				0,00	0,37	-0,37	
					11,1	8,69									11,4	8,33	0,02	0,17	-0,15											8,9	0,65			-0,36	
					11,3	7,84	0,00	0,35	-0,25						11,0	7,09			-0,21						10,9	7,55			-0,31						
					11,1	3,44	0,15	0,25	-0,10						10,8	1,36			-0,15						10,9	6,50			-0,17						
					11,6	3,11			-0,13						10,8	6,97			-0,12						10,8	0,71			-0,18						
		(0,15)	(0,37)				0,07	0,27														0								10,8	0,08			-0,07	
												(0,05)		(0,18)			0,00		-0,16								(0,00)		-0,18						
					11,1	0,20			-0,13																										
13,7	1,62	0,13	0,22	-0,09	11,3	0,26	0,00	0,26	-0,26																										
13,9	0,74	0,00	(0,62)	(-0,62)	12,1	0,45	0,00	(0,45)	(-0,45)																										
14,4	0,41	0,00	(0,41)	(-0,41)																															
13,9	0,56	0,00	0,56	-0,56																															
		0,03	0,39				0,00	0,26																											
15,3	0,80	0,00	0,70	-0,70	12,2	0,84	0,06	0,82	-0,76																										
15,2	0,52	0,00	0,52	-0,52						15,6	7,35	0,19	0,70	-0,51											10,2		0,10	-0,10							
16,0	8,87	0,13	0,93	-0,80	16,15	8,07	0,05	0,33	-0,28	16,1	4,37	0,06	0,37	-0,22																					
16,2	7,45	0,23	0,38	-0,13	15,7	7,00	0,03	0,23	-0,28																										
15,8	8,73	0,00	0,48	-0,48									0,12	0,48																					
		0,07	0,60				0,05	0,46									0,00	(0,29)																	
					15,7	7,39		0,33							14,4	0,50	0,00	0,50	-0,50																
					14,0	7,22		0,27	-0,30						14,0	7,17	0,00	0,31	-0,31																
										13,6	6,43	0,00	0,32	-0,32																13,4	4,98	-0,02	0,28	-0,30	
													0,03	0,43	-0,40																13,6	7,37	0,00	0,78	-0,76
										12,8	2,37	0,01	0,14	-0,15																12,7	2,26	0,10	0,26	-0,16	
		(0,08)	(0,37)				0,08	0,20					0,01	0,30				0,00	0,40														0,03	0,44	
										12,0	7,32	0,01	0,37	-0,28																11,95	7,10	-0,03	0,43	-0,48	
										9,7	0,49	0,00	0,24	-0,24																7,7	9,41	0,00	0,3	-0,27	
										7,7	8,76	0,02	0,08	-0,05																7,7	8,62	0,02	0,16	-0,14	
		(0,10)	(0,22)				0,05	0,21				0,01	0,20				(0,01)	0,26)									(0,01)	(0,22)				0,02	0,29		

Anmerkung: die Zahlen in den runden Klammern sind durch Interpolation erhalten. In den eckigen Klammern sind diejenigen Werte angegeben, welche bei der Berechnung der Mittelwerte nicht in Betracht gezogen wurden.

ках банки непосредственно к шнуру, укрепляя последний на поставленном на якорь буйке. При этом для избежания заплетания шнура с банками вокруг укрепляющей буйки веревки необходимо, чтобы длина последней была значительно больше глубины того места, на котором был опущен укрепляющий буйек якорь (рис. 3).

В настоящем как и в предыдущем сообщении интенсивность дыхания и фотосинтеза в тексте и в таблицах выражена в мг O_2 на литр за сутки.

БАЛАНС ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНОЙ МАССЕ БЕЛОГО ОЗЕРА

В течение лета и осени 1933 г. (с 7 мая по 15 октября) было проведено 30 серий определений интенсивности дыхания и фотосинтеза. Все без исключений результаты этих измерений приведены на табл. I; в табл. II собраны средние величины за каждый месяц, изображенные графически на рис. 4 (см. на стр. 10).

В 1933 г. в основных чертах повторяются результаты наблюдения 1932 г. Так же, как и в 1932 г., интенсивность дыхания очень слабо различается на различных глубинах в то время, как фотосинтез резко падает с увеличением глубины, в результате чего компенсационная точка в течение летних месяцев расположена в верхних слоях воды. Не менее ясно, чем в 1932 г. выступает зависимость положения компенсационной точки, т. е. мощности трофогенного слоя от величины прозрачности. В летние месяцы 1933 г. так же, как и в 1932 г., мощность трофогенного слоя в Белом озере колебалась в пределах 1—2 м.

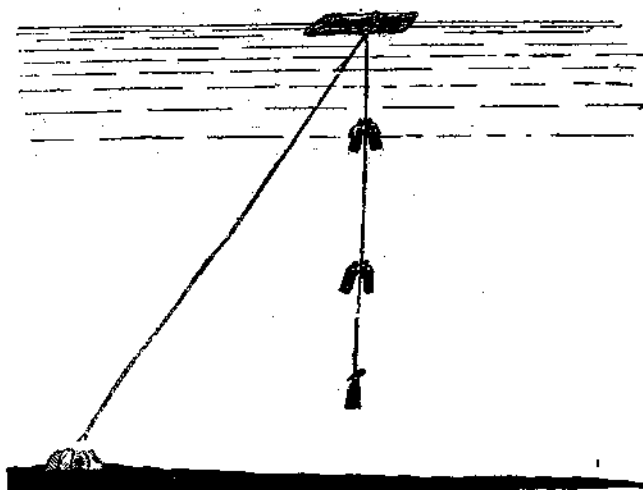


Рис. 3. Упрощенная установка.

Abb. 3. Vereinfachte Aufstellung.

Наряду со сходным общим характером кривых, выражающих зависимость фотосинтеза от глубины в 1932 и 1933 гг., легко заметить и некоторые характерные различия, значение которых будет обсуждено ниже.

Зная интенсивность дыхания и фотосинтеза на нескольких глубинах, можно получить среднюю интенсивность для каждого слоя воды, очевидно равную $\frac{a+b}{2}$, где a — интенсивность у верхней границы слоя, b — интенсивность у нижней границы. Например в случае, когда интенсивность фотосинтеза на глубине 1 м = 1,23 и на глубине 2 м = 0,63, средняя интенсивность для слоя 1—2 м будет равна $\frac{1,23 + 0,63}{2} = 0,93$.

Для того, чтобы получить представление о количестве поглощаемого и выделяемого кислорода, а, следовательно и о количестве разрушаемого и образуемого органического вещества по отношению ко всей водной массе водоема в целом, необходимо знать количество поглощаемого и выделяемого кислорода в каждом слое воды, которое легко получить умножением средней интенсивности дыхания

Таблица II

Tabelle II

Средние величины интенсивности дыхания (B) и разности между фотосинтезом и дыханием ($A-B$) по слоям Белого озера в 1933 г.

Mittelwerte der Atmungsintensität B und Differenz Zwischen Photosynthese und Atmung ($A-B$) in einzelnen Schichten des Beloje Sees im 1933.

Глубина в м Tiefe in m	Май—Mai		Июнь—Juni		Июль—Juli		Август—August		Сентябрь— September		Октябрь— Oktober	
	B	$A-B$	B	$A-B$	B	$A-B$	B	$A-B$	B	$A-B$	B	$A-B$
0,0	0,39	+0,51	0,66	+0,85	0,98	+1,28	1,19	+3,44	0,44	+1,65	0,25	+0,63
0,5	—	—	—	—	—	—	1,06	+2,38	0,45	+1,69	0,26	+0,61
1	0,45	+0,33	0,74	+0,79	1,18	+0,38	1,13	+1,01	0,47	+0,64	0,27	+0,46
2	0,47	-0,09	0,67	-0,01	1,08	-0,45	1,24	-0,85	0,44	-0,13	0,30	+0,02
3	0,45	-0,17	0,47	-0,25	0,60	-0,41	0,87	-0,76	0,44	-0,34	0,24	-0,10
4	—	—	—	—	0,39	-0,36	0,60	-0,53	—	—	—	—
5	0,31	-0,19	0,27	-0,20	0,26	-0,26	0,46	-0,41	0,30	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—	0,48	-0,36	0,30	-0,29	0,20	-0,19
7	0,46	-0,43	(0,16)	-0,16	—	—	—	—	0,40	-0,40	—	—
8	—	—	—	—	—	—	0,10	0,10	—	—	—	—
9	0,27	-0,37	(0,18)	-0,18	—	—	—	—	0,44	-0,41	0,29	-0,27

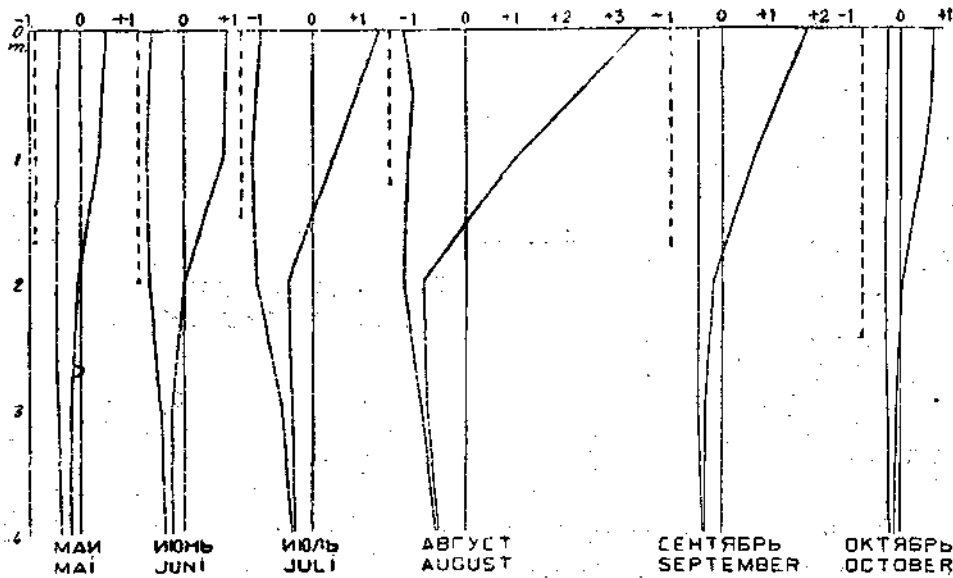


Рис. 4. Средние месячные интенсивности фотосинтеза и дыхания на разных глубинах. Кривые показывают изменение в содержании O_2 в склянках за время суточной экспозиции. Левая кривая—затемненные, правая—незатемненные, склянки. Пунктирная линия слева от кривых показывает удвоенную прозрачность по Секки. За 0 (вертикальная линия) принято содержание кислорода в соответствующем слое во время наполнения.

Abb. 4. Monatsdurchschnittswerte der Intensität der Photosynthese und der Atmung auf verschiedene Tiefe des Beloje Sees. Die Kurven zeigen Änderungen des O_2 -Gehalts während der 24-stündigen Exposition (die linke Kurve in verdunkelten, die rechte in hellen Flaschen). Als 0 (senkrechte Linie) ist der Gehalt zur Zeit der Auffüllung der Flaschen angenommen. Die Punktierlinie links von den Kurven gibt die mittlere Durchsichtigkeit für jeden Monat nach Secchi an (verdoppelt).

и фотосинтеза в каждом слое воды на объем его. Результаты подобных пересчетов для Белого озера приведены в табл. III.¹

Мощность трофогенного слоя, как показано выше, может быть весьма незначительной, что и имеет место в Белом озере. Падение дна в литорали в разных озерах может быть очень различно, а этим определяются соотношения объемов верхних слоев воды. Это обстоятельство при незначительной мощности трофогенного слоя, быть может, чрезвычайно сильно отражается на характере баланса органического вещества.

Суммируя приведенные в табл. III количества выделяемого кислорода в каждом слое воды, получаем общее количество кислорода выделяемого за сутки всей водной массой озера. Совершенно аналогичный расчет дает общее количество поглощенного за сутки кислорода. Соответствующие цифры приведены на табл. III.

Наиболее существенным выводом, вытекающим из приведенных цифр, следует считать то, что по отношению ко всей водной массе на протяжении всего периода наблюдений выделение

кислорода превалировало над поглощением его, следовательно, скорость образования органических веществ была больше скорости разрушения их.

Очевидно, что при таком соотношении скоростей этих двух противоположных процессов может происходить накопление органических веществ в водоеме, конечно, при условии, что синтезированные в водной массе органические вещества не полностью разрушаются в других частях водоема (ил) и не удаляются из водоема каким-либо путем (вылет насекомых, вылов рыбы и проч.).

Далее следует отметить, что избыток количества образованного органического вещества над количеством разрушенного закономерным образом менялся в течение времени наблюдения (рис. 5 и табл. IV). Характер этого изменения, а именно нарастание величин, выражающих продукцию органического вещества водной массы в первую половину лета, максимум в августе и падение в осенние месяцы, как нельзя лучше гармонирует со всей совокупностью сведений о жизни водоемов.

Общая продукция органического вещества водной массы за весь период наблюдений равна 28 637 кг O₂, что соответствует 100 230 000 большим калориям или 26 850 кг глюкозы. Пересчет на поверхность озера дает 0,106 кг O₂, или 100 г глюкозы на м².

Следует подчеркнуть, что приведенные цифры не дают прямого представления об итоге полного годового цикла, для суждения о котором необходимо в первую очередь знать количество окисляющегося за зиму органического вещества.

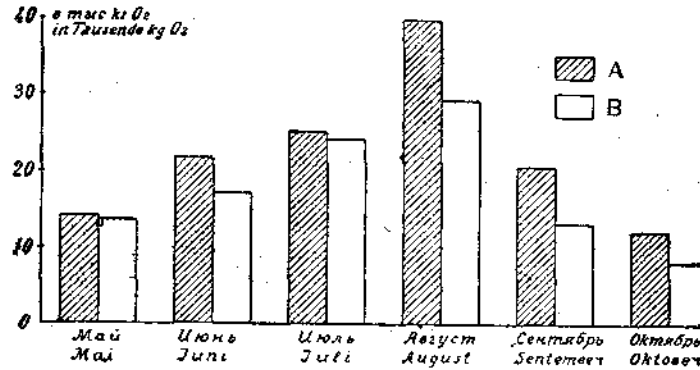


Рис. 5. Суммарное количество выделенного (А) и поглощенного (В) кислорода за каждый месяц наблюдения. На ординате количество O₂ в 1000 кг

Abb. 5. Gesamtmenge des ausgeschiedenen (A) und absorbierten (B) O₂ pro Monat. Auf der Ordinate ist die O₂ Menge in 1000 kg angegeben

¹ Объемы слоев Белого озера взяты из работы по морфометрии Белого озера Л. Л. Россолимо (14).

Таблица III

Tabelle III

Количество выделяемого и поглощаемого кислорода на слоях воды Белого озера за сутки в 1933 г.
Die Menge des ausgeschiedenen und absorbierten O_2 in einzelnen Schichten des Beloje Sees während 24 St. 1933.

Слой в м Schichte	Объем в м ³ Volumen m ³	Май — Mai				Июнь — Juni				Июль — Juli				Август — August				Сентябрь — September				Октябрь — Oktober			
		Фотосинтез Photosynthese		Дыхание Atmung		Фотосинтез Photosynthese		Дыхание Atmung		Фотосинтез Photosynthese		Дыхание Atmung		Фотосинтез Photosynthese		Дыхание Atmung		Фотосинтез Photosynthese		Дыхание Atmung		Фотосинтез Photosynthese		Дыхание Atmung	
		M_A	$V.M_A$	M_B	$V.M_B$	M_A	$V.M_A$	M_B	$V.M_B$	M_A	$V.M_A$	M_B	$V.M_B$	M_A	$V.M_A$	M_B	$V.M_B$	M_A	$V.M_A$	M_B	$V.M_B$	M_A	$V.M_A$	M_B	$V.M_B$
0—1	251200	0,84	211,01	0,42	105,51	1,533	384,34	0,700	173,94	1,91	479,72	1,08	268,78	3,55	891,76	1,145	287,02	1,87	469,74	0,45	113,04	0,81	203,47	0,26	65,31
1—2	221000	0,58	128,18	0,46	101,66	1,105	244,21	0,705	155,81	1,095	240,89	1,13	249,73	1,425	314,92	1,26	278,46	0,71	156,91	0,45	97,24	0,525	116,03	0,285	62,99
2—3	192200	0,33	83,43	0,46	88,41	0,44	84,57	0,57	109,55	0,41	78,80	0,84	161,45	0,25	48,05	1,055	202,77	0,30	38,44	0,44	44,57	0,23	44,21	0,27	51,89
3—4	145400	0,24	34,90	0,415	59,34	0,185	25,90	0,42	60,07	0,11	15,99	0,345	79,34	0,09	13,09	0,735	103,87	0,08	11,73	0,44	58,16	0,12	17,45	0,23	33,44
4—5	94500	0,16	15,12	0,345	32,69	0,11	10,39	0,32	30,24	0,015	1,42	0,27	25,99	0,06	5,67	0,53	50,09	0,04	3,78	0,34	32,13	0,075	7,09	0,115	20,32
5—6	62000	0,055	5,89	0,345	21,39	0,06	3,72	0,155	10,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	2,43	0,115	7,13	0,00	0,00	0,30	18,60	0,03	1,36	0,205	12,71
6—7	43000	0,056	2,15	0,42	18,08	0,02	0,86	0,145	6,23	—	—	—	—	0,03	1,39	0,190	8,17	0,00	0,00	0,35	15,05	0,005	0,22	0,23	9,80
7—8	32150	0,02	0,64	0,42	13,44	0,00	0,00	0,165	5,28	—	—	—	—	0,00	0,00	0,10	3,21	0,00	0,00	0,41	13,18	0,005	0,16	0,245	7,88
8—9	23000	0,00	0,00	0,39	8,97	0,00	0,00	0,175	4,03	—	—	—	—	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	9,89	0,005	0,12	0,26	5,93
0—9	1064450	461,32		449,83		753,99		567,28		816,82		785,19		1277,26		944,32		680,60		431,86		390,61		270,40	
Разность Differenz		+ 11,94				+ 196,71				+ 31,63				+ 332,94				+ 248,74				+ 120,21			

M_A — средняя интенсивность фотосинтеза в мг/л за сутки — Durchschnittswerte der Intensität der Photosynthese (O_2 mg/l pro 24 St.).

M_B — средняя интенсивность дыхания в мг/л за сутки — Durchschnittswerte der Intensität der Atmung (O_2 mg/l pro 24 St.).

V — объем слоя воды.

$V.M_A$, $V.M_B$ — количество выделяемого ($V.M_A$) и поглощенного за сутки в соответствующем слое воды O_2 в кг — Die Menge des ausgeschiedenen ($V.M_A$) und absorbierten O_2 in einzelnen Schichten in kg O_2 pro 24 St.

Таблица IV

Tabelle IV

Количество поглощенного и выделенного кислорода водной массой Белого озера в месяц (в кг O₂).
Die Menge des von dem Seewasser ausgeschiedenen und absorbierten O₂ pro Monat in kg O₂.

Месяцы — Monate	Фотосинтез Photosynthese	Дыхание Atmung	Разность Differenz
Май — Mai	14300	13934	+ 366
Июнь — Juni	22620	16719	+ 5901
Июль — Juli	25321	24341	+ 980
Август — August	39596	29273	+10323
Сентябрь — September	20413	12957	+ 7456
Октябрь — Oktober	11718	8112	+ 3606
1 мая — 1 ноября	133973	105336	+28637
1 Mai. — 1. November			

Примечание: эти же величины могут быть выражены в больших калориях, для чего их следует умножить на 3500, или в кг глюкозы при умножении на 0,9375.
Anmerkung: Diese Werte Können in Grosse Kalorien ausgedrückt werden durch Multiplikation auf 3500, oder in kg Glukose durch Multiplikation auf 0,9375.

Поскольку для Белого озера можно считать исключенной возможность образования в течение зимы сколь-нибудь заметного количества органических веществ путем фотосинтеза, что подтверждается приведенными ниже (стр. 21) данными, для суждения о количестве разрушаемого за зиму органического вещества достаточно знать количество поглощенного за зиму кислорода, которое легко получить, зная насыщение воды кислородом в начале образования обратной стратификации и в момент вскрытия озера. Приняв содержание кислорода во время осенней циркуляции 1932 г. равным 13 мг/л, или 13 г/м³ и объем озера — 1 095 200 м³, получаем запас растворенного в воде кислорода во всем озере 14 237 кг. Очевидно, что это количество и определяет максимум возможного окисления за зимний период, в течение которого практически не происходит пополнения кислородом воды озера. Следовательно, даже при условии полного использования кислорода на окисление органических веществ за зимний период в условиях Белого озера может быть окислена только часть образованного в водной массе органического вещества. Если взять для грубого ориентировочного подсчета вышеназведенное количество образованного органического вещества, выраженного в килограммах O₂ (табл. IV), получим $\frac{14237 \cdot 100}{28640} \approx 50\%$, т. е. в данном случае за зимний период в водоеме может быть подвергнуто полному окислению не более 50% образованного водной массой органического вещества.

В действительности окисляется значительно меньшая часть, так как полное исчезновение кислорода за зимний период в Белом озере наблюдается только в исключительных случаях, обычно же до весны остается значительный процент его (Россолимо 31). Тем количеством кислорода которое идет на отчисление в гипolimнионе в течении летнего периода возможно при ориентировочных расчетах пренебречь, вследствие относительно небольшого объема гипolimниона белого озера (10% от эпимлиниона).

Таким образом для Белого озера в годовом цикле мы установили накопление автохтонного органического вещества, что соответствует выдвигаемому Л. Россом (18) положению о том, что для озер характерным является положительный баланс, выражающий общее накопление вещества и энергии.

Вследствие неполноты имеющегося в нашем распоряжении материала, приведенные расчеты не могут претендовать на точное количественное отображение протекающих в озере процессов, что, однако, не уменьшает их значения, так как современная лимнология не располагает методом, могущим дать лучшие результаты.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕЗА

Уже первая попытка применения описываемых методов, сделанная в 1932 г., позволила выявить некоторые новые закономерности в процессе превращения органических веществ в озере. Наблюдения 1933 г. полностью подтвердили все намечавшиеся в 1932 г. выводы. В частности, в предыдущей работе уже указывалось на неожиданный факт несоответствия величин интенсивности фотосинтеза с количественным развитием водорослей. Это несоответствие еще раз демонстрируется при сравнении данных 1932 и 1933 гг.:

	1932 г.	1933 г.
Максимальное количество водорослей в 1 см ³	8500	1300
Максимальная интенсивность фотосинтеза	6,0	4,6

Следовательно, несмотря на то, что в 1933 г. максимальное количество водорослей было в несколько раз меньше, чем в 1932 г., интенсивность фотосинтеза была только незначительно меньше. Следует заметить, что в данном случае цифры количества водорослей выражают вполне сравнимые величины, так как качественный состав водорослей в основном не изменился, а наннопланктон как в 1932, так и в 1933 г. летом в период цветения практически отсутствовал. Наблюдавшееся летом 1932 г. несоответствие хода сезонных изменений интенсивности фотосинтеза и количественного развития фитофлоры в основных чертах подтвердилось в 1933 г., хотя и было выражено менее ярко.

Из рис. 6 ясно, что, как и в 1932 г., максимум фотосинтеза не совпадает с максимумом водорослей, и падение интенсивности фотосинтеза начинается раньше уменьшения числа водорослей. Но в первой половине лета нельзя заметить столь резкого несоответствия между возрастанием количества водорослей и интенсивностью фотосинтеза как в 1932 г. Эта разница находит себе полное объяснение в различии условий двух рассматриваемых лет, а именно: в 1932 г. фитофлора была развита настолько сильнее и цветение началось настолько раньше, что уже 28 июня (первый подсчет водорослей в 1932 г.) количество водорослей было в 2 раза больше максимального за 1933 г. Этот же факт объясняет различный характер кривых, выражающих зависимость интенсивности фотосинтеза от глубины в 1932 и 1933 гг. В 1932 г., несмотря на крайне низкую прозрачность, фотосинтез на глубине 0,5 м и даже несколько большей, шел с той же интенсивностью, что и в поверхностных слоях воды, в то время как в 1933 г., несмотря на большую прозрачность воды, интенсивность фотосинтеза уже на глубине в 0,5 м систематически была значительно меньше, чем на поверхности. Отсюда непосредственно следует, что в 1932 г. в поверхностных слоях воды свет не являлся ограничивающим фотосинтез фактором, как в 1933 г.

Это может быть объяснено только тем, что в 1932 г. бурное развитие водорослей привело к тому, что какой-то другой необходимый для фотосинтеза фактор оказался в резком минимуме. Эти соображения подкрепляются тем, что активная реакция поверхностных слоев воды Белого озера летом 1932 г. была исключительно щелочна (в июле и первой половине августа рН выше 10.5) в то время,

Таблица V

Tabelle V

Количественный состав фитопланктона в поверхностных слоях воды Белого озера в 1933 г.
Quantitative Zusammensetzung des Phytoplanktons in der Oberflächenschichten des Beloje Sees im 1933.

	14/IV	29/IV	1/V	1/VI	15/VI	1/VII	15/VII	1/VIII	15/VIII	1/IX	16/IX	2/X	15/X
<i>Tabellaria</i> sp.	131	402	38	32	20	1	2	—	—	—	—	—	—
<i>Microcystis</i> sp.	—	—	—	1	22	31	68	136	136	238	151	70	67
<i>Anabaena</i>	—	—	—	2,5	6,4	339	237	543	512	1050	302	12	1,5
Прочие (<i>Ceratium Scenedesmus Pediastrum</i>)	—	—	—	34	25	35	46	53	47	35	46	26	17
Общее количество без <i>Tabellaria</i> Gesamtzahl ohne <i>Tabellaria</i>	—	—	—	37	111	405	351	732	695	1323	499	108	85
Средние за месяц Mittelwerte f. 1 Monat	—	—	—	75	(82%)	376		715	(79%)	910	(100%)	95	(11%)

Примечание: количество водорослей приведено в тысячах на 1 см³ воды.
Anmerkung: Die Anzahl der Algen ist in Tausende pro 1 cm³ angegeben.

как летом 1933 г. максимальные величины рН не превышали 8,6—8,8¹. Приводя эти цифры, мы ни в какой мере не отрицаем, что резко щелочная активная реакция сама по себе и являлась в 1932 г. ограничивающим фотосинтез фактором. Более того, производившиеся нами летом 1933 г. ориентировочные эксперименты с искусственным подщелачиванием с помощью NaOH воды Белого озера от рН 8,7 до рН=10,3, показали, что подщелачивание до этой реакции приводило к увеличению интенсивности дыхания в то время, как интенсивность фотосинтеза оставалась неизменной.

Многочисленные ориентировочные эксперименты по зависимости фотосинтеза от количества водорослей, активной реакции и других факторов, показали нам всю сложность вопроса о факторах, определяющих величину фотосинтеза в природных условиях. Так например, искусственное увеличение количества водорослей в воде в начале августа 1932 г. неожиданно для нас совершенно не приводило к увеличению интенсивности фотосинтеза в то время, как осенью того же года после

утверждаем, что резко щелочная активная

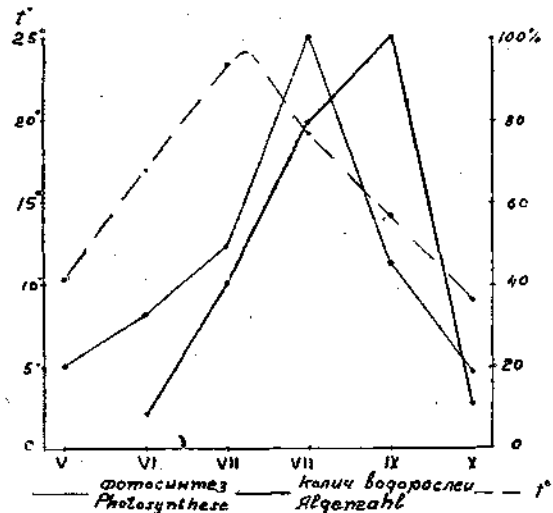


Рис. 6. Относительная скорость изменения числа водорослей и интенсивности фотосинтеза в Белом озере.

Abb. 6. Relative Geschwindigkeit der Veränderung der Algenzahl und der Photosynthese-Intensität im Beloje See.

¹ По систематическим наблюдениям, производившимся на Лимнологической Станции в течение 1933 г. 2 раза в месяц.

начавшегося падения интенсивности фотосинтеза при несколько менее щелочной реакции воды так же, как и летом 1933 г. — подробное же увеличение количества фитопланктона неизбежно приводило к увеличению интенсивности фотосинтеза.

Эти данные хорошо соответствуют приведенным выше наблюдениям в озере. Создается впечатление, что в 1932 г. был быстро достигнут максимальный определяемый физико-химическими свойствами воды и другими условиями в озере уровень фотосинтеза. В этом случае независимость интенсивности фотосинтеза от условий освещения и количества водорослей также являются следствием того, что какой-то третий определяющий интенсивность фотосинтеза фактор находился в резком минимуме¹. В этих условиях дальнейшее увеличение количества водорослей необходимым образом сопровождалось, а, быть может, и оказывалось возможным только вследствие изменения под влиянием среды их физиологических свойств.

В 1933 г. с целью установить суточный ход фотосинтеза были проведены 4 серии наблюдений, результаты которых приведены на табл. VI, а средние результаты изображены на рис. 7. Для наблюдения за суточным ходом фотосинтеза в поверх-

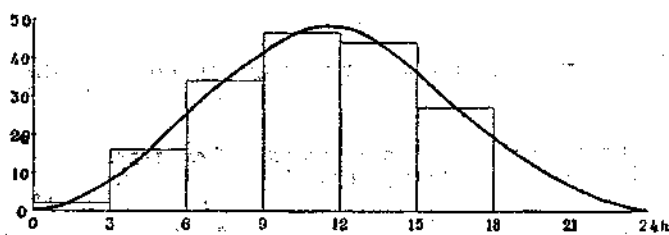


Рис. 7. Суточный ход фотосинтеза. На абсциссе часы от начала экспозиции, на ординате скорость в условных единицах (см. табл. VI).

Abb. 7. Tagesverlauf der Photosynthese. Abszisse Stunden vom Anfang der Exposition. Ordinate Geschwindigkeit der Photosynthese (siehe Tab. VI).

ностном слое воды ночью (24 час.) укреплялся ряд светлых и затемненных склянок. Затем через каждые 3 часа вынимались 2 светлых и 2 затемненных склянки и определялось содержание кислорода.

На рисунке отчетливо видно, что общий ход суточных изменений фотосинтеза следует за изменением освещения. Этот результат хорошо соответствует наблюдениям Костычева

(11) за суточным ходом фотосинтеза *Cladophora*, *Spirogyra* и других водорослей. К сожалению, в 1932 г. подобных наблюдений произведено не было, но на основании другого характера зависимости фотосинтеза от глубины в этом году, следует полагать что и суточный ход фотосинтеза не находился в такой ясной зависимости от освещения как в 1933 г.

Выяснение конкретных факторов, ограничивающих фотосинтез в природных условиях, возможно только на основании специального экспериментального изучения этого сложного вопроса.

Во всяком случае все наблюдения 1933 г. и, главным образом, тот факт, что максимальная величина фотосинтеза в 1933 г. не сильно отличалась от максимальной величины интенсивности фотосинтеза в 1932 г. в то время, как фитопланктон был в количественном отношении значительно слабее развит, полностью согласуются с выставленным в первом сообщении положением, что интенсивность фотосинтеза, а, следовательно, и скорость образования органического вещества в водоеме, определяется в основном не особенностями биологического населения водоема, а закономерным образом зависит от совокупности физико-химических свойств воды и других условий. Поэтому величины, выражающие интенсивность фотосинтеза, должны быть значительно

¹ В этой связи интересно привести данные Кузнецова (30), показавшего, что в 1932 году нитратный азот в воде Белого озера был исчерпан уже в мае месяце, в то время как в 1933 году присутствовал в измеримых количествах вплоть до августа. Повидимому в 1932 году в противоположность 1933 году фитопланктон находился в условиях азотного голодания.

Таблица VI

Tabelle VI

Суточный ход фотосинтеза в Белом озере (1933).
Tagesverlauf der Photosynthese im Beloje See (1933).

Время измерения в часах Zeit der Messungen in St.	19.VII		20.VII		25.VII		28.VII		Среднее	
	Абсолютная величина в мг O ₂ Absolute Werte	B ‰	Абсолютная величина в мг O ₂ Absolute Werte	B ‰	Абсолютная величина в мг O ₂ Absolute Werte	B ‰	Абсолютная величина в мг O ₂ Absolute Werte	B ‰	Среднее в ‰ Mittel- wert	Интенсивность фо- тосинтеза за 3 ч. в ‰ Photosynthese intensität für 3 St. in ‰
3	0,08	1,9	—	—	—	—	—	—	(1,9)	(1,9)
6	0,17	18,3	—	—	—	—	—	—	(18,3)	(18,4)
9	0,87	53,5	—	—	0,82	59,0	0,69	46,0	52,8	34,5
12	1,57	100,0	1,81	100	1,89	100	1,50	100	100,0	47,2
15	2,26	143,9	2,46	130,4	2,13	153,3	2,24	149,3	144,3	44,2
18	2,25	143,3	3,19	176,6	2,54	182,1	2,74	182,7	171,2	27,0
21	—	—	3,52	190,5	2,90	208,6	—	—	199,5	(23,3)

более постоянны, лучше и глубже характеризовать данный водоем, чем количественный и качественный состав планктона, могущий в различных условиях иметь совершенно различное значение.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЫХАНИЯ

Результаты измерений поглощения кислорода обнаруживают бóльшие незакономерные колебания, чем величины, выражающие интенсивность фотосинтеза. Но все же для каждого определенного периода наблюдения возможно установить достаточно определенные пределы, внутри которых колеблются величины, выражающие интенсивность дыхания. Поэтому, повышенная интенсивность дыхания, наблюдавшаяся в некоторые дни, требует специального объяснения.

Так например, подобное усиленное поглощение кислорода в склянках наблюдалось 15 июля (см. табл. I), когда интенсивность дыхания на поверхности была 2,24, на глубине в 1 м = 2,19; 2 м = 2,19, 3 м = 1,36. Обычные величины за этот же период для поверхностных слоев не превышали 1,00. Весьма существенно, что в подобные дни с усиленным дыханием интенсивность фотосинтеза остается совершенно неизменной, в результате чего получается резкое преобладание поглощения кислорода над его выделением. Этот факт наглядно выражается графически как смещение кривых влево (рис. 8).

На рис. 8 изображена серия измерений 15 июля, когда наблюдалось особенно сильное поглощение кислорода и для сравнения «нормальный» день того же

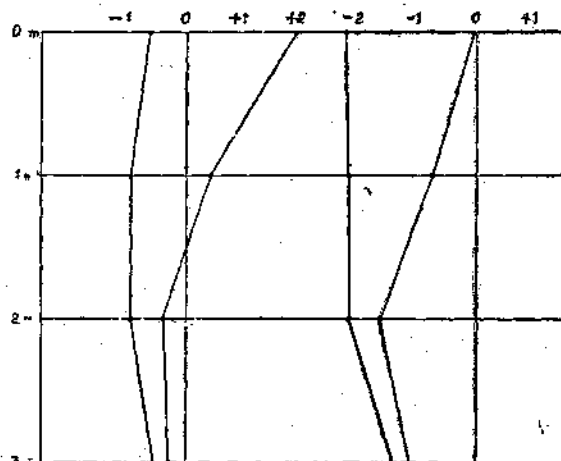


Рис. 8. Пример влияния грозы на поглощение O₂, слева — 8/VII — «нормальные» кривые, справа — 15/VII — повышенное поглощение O₂.
Abb. 8. Einfluss des Gewitters auf die O₂-Absorption. Links — 8/VII — «normale» Kurven; Rechts — 15/VII — erhöhte O₂-Absorption.

периода — 8 июля. Подобное же резко усиленное дыхание наблюдалось 21 июля и 21 мая и в менее резкой форме в другие дни, например, 15 мая, 2 июля и 14 сентября. Подобный же случай был отмечен 20 июля 1932 г. и тогда же, как это отмечено в первом сообщении, было обращено внимание на то, что во время экспозиции склянок прошла сильная гроза. Возникшая на основе этого единичного наблюдения мысль полностью подтвердилась во время наблюдений 1933 г., так как все без исключения случаи повышенного поглощения кислорода совпали с грозовой погодой. К тому же выводу приводят наши наблюдения на Глубоком озере (Винберг 24)¹.

Не имея возможности дать объяснение зависимости интенсивности поглощения кислорода в закрытых склянках, погруженных в озеро от грозы, мы считаем самый факт прочно установленным².

Специальное изучение этих вопросов представляет огромный интерес и, в частности, необходимо для дальнейшего изучения баланса органических веществ нашим методом.

Несмотря на обусловленные различными причинами колебания интенсивности дыхания, уже на основании наблюдений 1932 г. удалось установить отсутствие явной зависимости интенсивности дыхания воды от количественного развития фитопланктона и наличие закономерной зависимости от температуры. Неожиданно оказалось, что увеличение интенсивности поглощения кислорода с температурой, независимо от содержания планктона, соответствует тому увеличению скорости, которое следует ожидать только в результате увеличения температуры в случае, когда количество подвергающегося окислению органического вещества остается постоянным.

Этот вывод уже был сделан на основании наблюдений 1932 г. В предыдущем сообщении приведен график, показывающий прямолинейную зависимость логарифма интенсивности поглощения O_2 от температуры и температурный коэффициент (Q_{10}), оказавшийся равным 2,6. Наблюдения 1933 г. не только подтвердили наличие прямолинейной зависимости логарифма интенсивности дыхания и температуры (рис. 9), но и дали совершенно ту же величину температурного коэффициента. И в 1933 г. $Q_{10} = 2,6$. Это замечательное совпадение трудно рассматривать как случайное, тем более, что абсолютная величина $Q_{10} = 2,6$ соответствует хорошо изученным обычным величинам Q_{10} , выражающим зависимость от температуры скорости окисления некоторого постоянного количества окисляющегося вещества.

Наличие подобной закономерной связи суммарного итога всех разнообразнейших процессов окисления с температурой, независимо от резкого изменения состава и количества планктона, кажется нам крайне интересным фактом. Это указывает на то, что интенсивность окисления в воде не является простой суммой дыхания зоо- и фитопланктона, бактерий, химического окисления и других подобных кажущихся независимыми друг от друга процессов, а является выражением

¹ Здесь уместно указать на существующее среди рыболовов мнение, что при грозовой погоде содержание кислорода в прудах может настолько снизиться, что это даже вредно отражается на рыбах. Так проф. Арнольд пишет «Самыми критическими моментами для рыб в интенсивно удобренных прудах являются грозы.... Наблюдаемое в эти моменты сильное понижение нормы растворенного в пруде кислорода...» (Справ. Рыбного Хоз. Малых Водоемов Сельхозгиз 1934 г. 244 стр.). Аналогичные указания имеются и в книге Гримма «Рыбоводство» Сельхозгиз 1931 стр. 41.

² Именно эти соображения заставили нас при вычислении средних величин интенсивности дыхания за каждый период исключить те серии измерений, которые показывали особенно резкое увеличение интенсивности дыхания, а именно 21 мая и 15 и 21 июня. Допуская эту несколько субъективную выборку, мы руководствовались тем, что лучше с помощью несколько субъективного приема получить верно отражающие объективные соотношения величины, чем с помощью чисто объективной статистической обработки получить искажающий действительность результат.

Несомненно, что грозы, особенно частые в июле 1933 г., сказались на усилении интенсивности дыхания и в другие дни июля. Вероятно, это обстоятельство повлияло на результат вычисления соотношения процессов поглощения и выделения кислорода за июль в сторону уменьшения избытка фотосинтеза над дыханием (табл. IV).

особенностей сложной системы процессов, в которой отдельные формы окисления занимают подчиненное положение. Только специальные исследования помогут понять, как конкретно осуществляется эта зависимость.

Предварительно подобный характер зависимости скорости окисления от температуры может быть объяснен, если принять, что общее количество органического вещества в воде не менялось или по меньшей мере колебалось в узких пределах за весь период наблюдения. Поскольку за это время очевидным образом изменялось соотношение отдельных форм его (летнее развитие планктона) следует принять, что в этом случае окисления различных форм его (растворенные органические вещества, коллоидные и молекулярнодисперсные, живая масса в разных формах) протекает, примерно, с той же скоростью. Здесь интересно напомнить, что по исследованию Крота (12) и американских авторов (1) качественный состав в отношении белков, жиров и углеводов, различных фракций растворенных в пресной воде органических веществ, примерно, соответствует среднему составу живых организмов.

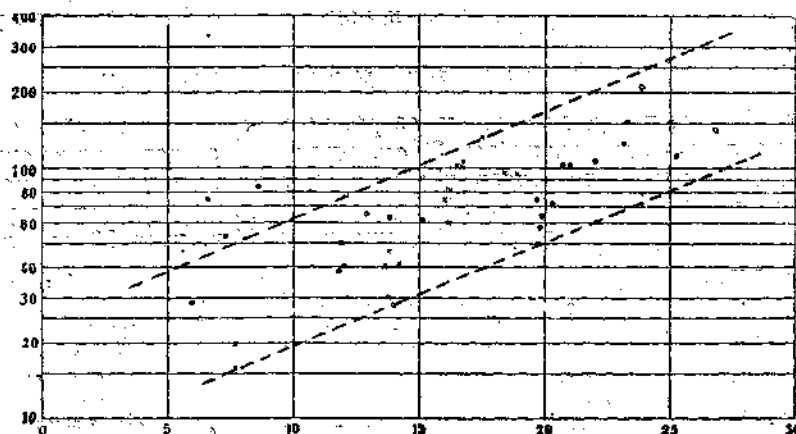


Рис. 9. Зависимость поглощения O_2 в поверхностных слоях воды Белого озера в 1933 году от температуры.

Abb. 9. Abhängigkeit der Sauerstoffabsorption in den Oberflächenschichten des Beloje Sees von der Wassertemperatur.

Эти предположения могут быть доказаны непосредственными анализами органического вещества в воде. К сожалению, во время наблюдений мы не располагали методом, достаточно полно учитывающим суммарное количество органического вещества, так как разработка подобного метода шла параллельно с настоящей работой. В течение лета 1932 г. велись систематические определения общего количества органического вещества в воде путем окисления его двуххромовокислым калием в 50% серной кислоте, т. е. в условиях, близких к описанным Фелленбергом. Дальнейшая разработка методики показала, что в этих условиях окисляется только, примерно, 50% органического вещества. Следовательно, полученные в 1932 г. данные имеют только относительное значение. Все же следует отметить, что за весь период наблюдения (с июля по октябрь 1932 г.), несмотря на резкие изменения в общем количестве планктона, количество кислорода, необходимое для окисления, оставалось практически неизменным и равнялось 35—40 мг на 1 л. Этот результат хорошо согласуется с предположением об относительном постоянстве общего количества органического вещества в воде Белого озера.

Метод окисления органических веществ в той его модификации, при которой достигается окисление 90% общего количества органических веществ, был при-

менее нами для анализа воды Белого озера только один раз (13 августа 1933 г.)¹.

Среднее из 4-х параллельных определений дало 63,6 мг O₂ на 1 л (окисляемость тех же проб воды по Кубелю равнялась 13,34 мг O₂). Приняв, что окислению было подвергнуто 90% общего количества органических веществ, получаем, что в августе 1933 г. для полного окисления органических веществ, содержащихся в литре поверхностной воды Белого озера, необходимо около 70 мг O₂. В это время интенсивность дыхания была примерно, равна 1,2, т. е., за сутки окислению подвергалось около 2% общего количества органического вещества.

Если высказанные здесь положения верны, что смогут доказать только дальнейшие исследования, то средняя интенсивность поглощения кислорода водой озера является характерной для данного водоема величиной, которая при изучении водоема и в особенности процессов, связанных с балансом органических веществ, должна в первую очередь приниматься во внимание. Необходимо помнить, что все сказанное относится не к значительно изменчивой интенсивности поглощения O₂ единичными пробами воды, а к средней интенсивности поглощения O₂, полученной на основании ряда измерений в природных условиях.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЗИМНИЙ И ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

В апреле 1933 г. перед вскрытием озера, когда поверхность льда очистилась от снега и толщина льда равнялась 30 см, были произведены измерения интенсивности дыхания и фотосинтеза в воде под льдом, показавшие неожиданно высокую интенсивность фотосинтеза. Приводим в табл. VII результаты установки, находившейся в озере с 10 ч. утра 11 апреля по 11 ч. утра 13 апреля 1933 г.

Таблица VII

Tabelle VII

Весенний фотосинтез под льдом (1933)
Photosynthese im Frühling bei noch eingefrorenen See (1933)

Глубина в м Tiefe in m	11.IV—10 час.		13.IV—11 час.					Фотосинтез за сутки Photosynthese 24 St.
	t°	O ₂ мг/л	t°	O ₂ мг/л	A—B	B	A	
1	3,1	3,53	3,7	12,02	+1,77	-0,77	+2,54	1,27
2	3,0	3,09	3,20	9,16	+1,35	-0,38	+1,63	0,82
3	3,0	3,88	3,20	6,82	+0,14	-0,34	+0,48	0,24
4	3,0	2,64	3,15	3,76	-0,30	-0,45	+0,15	0,07

Неожиданно высокая интенсивность фотосинтеза тем более интересна, что в это время фитопланктон подледного слоя был представлен только *Tabellaria* в количестве 131 экз. на 1 см³ и мелкими жгутиковыми (*Trachelomonas*, *Chlamydomonas*), которые не были учтены количественно.

Вследствие значительной прозрачности воды убывание фотосинтеза с глубиной в данном случае, по всей вероятности, объясняется резкой вертикальной стратификацией наннопланктона, успевшего развиться только в верхних слоях, что в свою очередь объясняется возникающей в это время резкой стратификацией температуры в подледных слоях воды с максимумом на глубине менее 1 м (Л. Россолимо).

¹ Ход анализа сводился к выпариванию на водяной бане в фарфоровых чашках 100 см³ нефильтрированной озерной воды и последующего окисления, непосредственно в тех же чашках, сухого остатка с помощью 10 см³ раствора CrO₃ в концентрированной серной кислоте, при нагревании на водяной бане в течение 2 ч. 15 мин.

После охлаждения и разбавления дистиллированной водой, избыток CrO₃ оттитровывался солью Мора с индикатором дифениламин (Вяберг, Ивлев Платова и Россолимо 25).

В полном соответствии с обнаружившейся высокой интенсивностью — фотосинтеза находится одновременно наблюдавшееся значительное подщелочение верхних слоев воды (рН = 8,5).

Приведенное наблюдение показывает, что происходящее перед вскрытием озера повышение содержания кислорода в воде, по меньшей мере, частично, объясняется фотосинтезом: фитопланктона, успевающего развиться в верхних слоях воды после освобождения льда от покрывающего его слоя снега.

Во время зимнего периода, когда поверхность озера покрыта снегом, фотосинтез даже в верхних слоях воды практически прекращается, как это показали проводившиеся зимой измерения. Так, например, 16 февраля при толщине льда в 62 см и глубине снега в 30 см были установлены склянки на глубину 1 и 2 м (от поверхности льда); через 10 суток — 26 февраля склянки были вынуты и дали следующие результаты:

Таблица VIII.

Tabelle VIII

Глубина	16/II — 11 час 00 м.		26/II — 11 час. 30 м.			
	t°	O ₂	t°	A—B	B	A
1 м	0,8	7,79	0,7	— 0,08 — 0,04	— 0,06	0,00
2 м	1,6	7,61	1,7	— 0,39 — 0,45	— 0,49 — 0,39	0,00

Таким образом в течение 10-дневной экспозиции не наблюдалось даже слабого выделения кислорода. Ставившиеся установки с более кратким сроком экспозиции давали совершенно такой же результат. На основании этих данных следует считать, что в зимний период, когда озеро покрыто льдом и снегом, продуцирование органического вещества в Белом озере не происходит.

Весенний период фотосинтеза под льдом вследствие своей краткости, повидному, не может в количественном отношении играть заметной роли в общем балансе органического вещества в водоеме.

ЛИТЕРАТУРНЫЕ ДАННЫЕ

Предлагаемый нами метод изучения баланса органических веществ в водоеме базируется на измерении количества растворенного кислорода до и после экспозиции в герметически закрытых склянках. Сама методика измерения интенсивности дыхания и фотосинтеза ни в какой мере не является новой и широко применяется при исследовании физиологии водных растений.

В некоторых случаях для изучения зависимости фотосинтеза от глубины [Ruttner (19) в пресных водах; Ehrke (2) в море], или же для изучения проникновения света в воде [(Marshall and Orr (9) и Jenkin (7)] закупоренные склянки с водорослями или с культурой укреплялись на разных глубинах в водоеме. Но во всех этих случаях основной целью исследователей было изучение вопросов, не связанных непосредственно с балансом органических веществ в самом водоеме.

Измерение интенсивности фотосинтеза образцов воды в целях количественной характеристики процессов образования органического вещества было использовано в 1924 г. Пюттером (13), который на основании определения изменения содержания кислорода в стоявших на окне лаборатории белых и затемненных склянках, наполненных водой из Кильской бухты, получил интенсивность фотосинтеза для воды Кильской бухты $2,43 \pm 0,07$ O₂ на 1 м за сутки.

В работах скандинавских авторов [Grap (5, 6), Gaarder (4)] мы находим еще более ранние (с 1916 г.) попытки определения интенсивности фотосинтеза и ды-

хания воды, причем в условиях самого водоема, для чего склянки погружались на довольно значительные сроки (до 30 суток) на различные глубины в море. Немногочисленные цифры, приводимые этими авторами для Балтийского моря и Oslo-Fjord, значительно ниже даваемых Пюттером для Кильской бухты и не превышают 0,4 мг O₂ на 1 л в сутки. Различие условий и, в особенности, сроков экспозиции, скудость и случайность материала не дают, впрочем, возможности сравнивать эти данные.

В недавнее время Гардер (3) опубликовал работу, в которой он пытается применить этот же метод для исследования прикладного вопроса о факторах, обуславливающих продуктивность устричных банок. В этой работе затемненные и белые склянки, наполненные профильтрованной через газ с отверстиями в 0,06 мм водой, помещались на несколько суток (от 3 до 13) на различные глубины. Для изучения роли и значения отдельных физико-химических факторов в продуктивности воды устричных банок — в воде прибавлялись различные соли (Fe, Cu, Mn), изменялась ее активная реакция и т. д.

В работе показано резко стимулирующее фотосинтез влияние минерального удобрения солями NO₃ и PO₄, прибавление которых увеличивает интенсивность фотосинтеза воды во много раз. Несмотря на эти абсолютные величины интенсивности фотосинтеза, даже в случае прибавления удобряющих солей, — не превышали 1,5 мг O₂ на 1 л за сутки. Весьма интересно, что приведенные в работе кривые изменения фотосинтеза с глубиной показывают отчетливый максимум на глубине 0,5—1 м и компенсационную точку на глубине около 2 м для неудобренных образцов воды, а для удобренных на 3 м.

Во всех приведенных работах если, даже, измерения интенсивности фотосинтеза и служат для заключений о продуктивности водоема, то это не является единственной, а в большинстве случаев даже и не основной целью работы.

В противоположность этому в 1923 г. Мауха (10) не только предлагал характеризовать продуктивность водоема по интенсивности фотосинтеза воды, но и сделал попытку предложить определенную единицу для количественной характеристики продуктивности водоемов, которую он предлагал назвать «Винклер». Основываясь на экспериментальном изучении зависимости интенсивности фотосинтеза воды от условий освещения и температуры, Мауха считает, что оптимальной температурой для фотосинтеза является 27,71°, при которой он и предлагает проводить экспозицию образцов воды для определения интенсивности фотосинтеза. За единицу интенсивности фотосинтеза Мауха предлагает принять интенсивность, соответствующую выделению в одну минуту молекулярного объема O₂, выраженного в 0,01 мм³, т. е. 22 420 · 10⁻³ см³ O₂ в минуту на 1 л, что соответствует 0,04608 мг O₂ на 1 л за сутки.

Совершенно очевидно, что независимо от недостаточной обоснованности предлагаемых условий попытка считать определенную температуру оптимальной, вне зависимости от условий, принципиально не приемлема, так как несомненно, что температурный оптимум будет иметь различное значение в зависимости от состава фитоценоза и других условий фотосинтеза.

В работе Мауха приведены результаты измерения «продуктивности» нескольких водоемов его методом. После приведения к принятому нами способу выражения интенсивности фотосинтеза, получаем следующие цифры:

	мл	мл	мл
Оз. Балатон	— 5,76	мл O ₂	на 1 л в сутки
Оз. Тата	— 5,85	»	»
Пруд Хортобаг I	— 17,69	»	»
— » — II	— 3,94	»	»
Пруд Лагманнос	— 3,06	»	»

В противоположность мнению Мауха все эти величины не дают никакого представления о продуктивности соответствующих водоемов и являются только выражением интенсивности фотосинтеза образцов воды.

Рассматривая их только с этой стороны, видим полное соответствие в порядке величин с наблюдавшимися нами. Наиболее высокие из приводимых Мауха цифр, только в 3 раза превышают максимальную интенсивность фотосинтеза в Белом озере в 1934 г., причем следует помнить, что наблюдения были сделаны в лабораторных условиях при непрерывном освещении и 27,7° и не на воде озера, а пруда, в которой и следует ждать высокую интенсивность фотосинтеза.

Обзор литературы показывает, что настоящая работа является первой систематической попыткой получить количественную характеристику баланса органических веществ в водной массе водоема в целом.

После окончания настоящей работы вышли из печати несколько сделанных независимо друг от друга исследований, которые по своим задачам и методике весьма близко подошли к разрабатываемой нами проблеме. В особенности сходную постановку вопроса находим в работе Гейнриха (28), который в целях изучения превращений органических веществ (Gesamtumsatz) в воде озер, устанавливал в озере затемненные склянки и регистрировал уменьшение содержания кислорода за время экспозиции. К сожалению Гейнрих ограничился только зимним периодом, в результате чего, естественно, не мог измерить интенсивность фотосинтеза. Сравнивая скорость поглощения кислорода в склянках (0,04—0,09 мг на л за сутки) с несколько меньшим уменьшением содержания его в соответствующем слое озера и принимая, что различие этих величин зависит исключительно от фотосинтеза, он приходит к выводу, что интенсивность фотосинтеза зимой равняется 0,03 мг. Пользуясь этой величиной и целым рядом совершенно произвольных предположений, Гейнрих считает возможным вычислить величину фотосинтеза летом, которая по его мнению равна 1,3. Не приходится указывать, что значение полученной столь странным путем величины совершенно неясно. К обсуждению других данных этой содержательной работы мы еще вернемся в другом месте.

Из предварительного сообщения 1934 года (Shomer 32) и вышедшей летом 1935 года работы (Judaу и Shomer 29) стало известно, что летом 1932 года, одновременно с началом нашей работы, американскими исследователями на Висконсинских озерах была начата серия работ, посвященная изучению условий фотосинтеза планктонных водорослей в озере. К сожалению эти исследователи, пользующиеся наиболее совершенной методикой измерения проникновения света в воду, устанавливали в озере склянки, заполненные культурой водорослей (*Chlorella*, *Coccomyxa*), а не непосредственно водой данного озера, что сильно ограничивает возможность использования их результатов для суждения о происходящих в естественных условиях процессах, хотя и придает им большую четкость по отношению к некоторым специальным выводам физиологического характера. Все же эта работа содержит ряд весьма существенных данных относительно глубины распространения фотосинтеза, коэффициента использования энергии, зависимости фотосинтеза от света и пр. Так в наиболее прозрачном из 3 изучавшихся озер Crystal-lake (прозрачность по Секки 13,5 м) максимум фотосинтеза наблюдается на глубине 5—6 м, в наименее прозрачном Helmet-lake (проз. 0,8—1,5 м) на глубине 0,25 м. Зависимость интенсивности фотосинтеза от силы света по данным этих авторов имеет очень сложный характер. В частности в разных озерах максимальный фотосинтез той же водоросли достигается при разной силе света.

С помощью принципиально сходной методики Кларк и Остер (27) изучали проникновение света, интенсивность фотосинтеза и дыхания культуры диатомей, устанавливая в море поблизости от Вудс-Гола светлые и затемненные склянки. По материалу этих авторов легко вычислить, что в слое, где расположена компенсационная точка фотосинтеза, освещенность составляет 2—3% от освещенности поверхности. Они установили проникновение фотосинтеза в случае большой прозрачности до глубины 40 м.

Продолжением упомянутого выше исследования Гарднера (3) является работа

Alvik (26), который с помощью относительного (фотографического) метода изучал проникновение света в воду тех же устричных банок, на которых работал и Гардер. Кроме того изучался фотосинтез путем установки на разные глубины склянок, заполненных культурами, выделенными из того же водоема и описанных автором, новых видов нанноплактических водорослей. Полученные данные подвергнуты обсуждению, главным образом, по отношению выявившихся между отдельными видами физиологическим различиям. Автор различает стено- и эврифотные формы, отличающиеся положением верхней границы зоны максимального фотосинтеза при неизменной нижней.

ГРАНИЦЫ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА

Несмотря на то, что все авторы, определявшие интенсивность фотосинтеза и дыхания по разности содержания кислорода до и после экспозиции в закрытых склянках, даже в случаях экспозиций, продолжавшихся в течение многих дней, не высказывают никаких сомнений в правильности получаемых таким путем результатов, мы считаем необходимым остановиться на обсуждении вопроса о том, в какой мере интенсивность процессов, происходящих в закрытых склянках,

соответствует интенсивности тех же процессов в свободной воде озера.

Как уже указывалось в сообщении I, эксперименты при постоянном искусственном освещении показывают, что даже при достижении в склянке в результате беспрерывно протекающего фотосинтеза таких высоких концентраций кислорода, которые далеко превышают максимальные наблюдавшиеся при суточной экспозиции в озере, фотосинтез продолжается с той же интенсивностью. Рис. 10 иллюстрирует это утверждение.

Этот факт полностью устраняет опасения, что то незначительное превышение парциального давления кислорода в закрытых склянках и пропорциональные ему изменения других факторов по сравнению с свободной водой, которые наблюдаются при экспозиции в озере, могут заметно повлиять на интенсивность фотосинтеза. К тому же выводу приводит рассмотрение приведенного выше (рис. 7) наблюдения за суточным ходом фотосинтеза, которое показывает, что во время

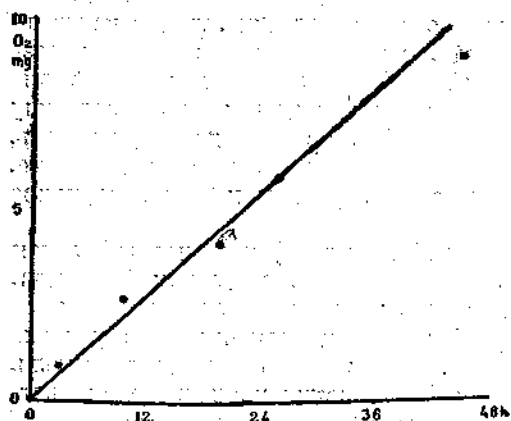


Рис. 10. Скорость фотосинтеза в условиях искусственного непрерывного освещения. Опыт 16-18/VIII-33 г.; температура вначале 15°, за время опыта поднялась до 22,2°; pH вначале 8,4, в конце 9,0. На ординате время с начала экспозиции, на абсциссе избыток O_2 в мг.

Abb. 10. Photosynthesegeschwindigkeit bei künstlicher ununterbrochener Beleuchtung. Versuch 16-18/VIII-33; ϑ am Anfang des Versuches — 15°, am Ende — 22,2°; pH am Anfang des Versuches — 8,4, am Ende 9,0°. Ordinate: Zeit vom Anfang der Exposition, Abszisse: O_2 Überschuss in mg.

экспозиции в озере нарастание кислорода в склянках, поставленных ночью, происходит в течение всего дня до вечера, причем скорость нарастания изменяется параллельно с изменением условий освещения.

Вся совокупность наблюдений убеждает нас в том, что измерение интенсивности фотосинтеза воды предлагаемым нами методом дает результаты достаточно точно отражающие происходящий в озере процесс.

Это заключение, однако, не следует распространять на все возможные случаи применения предлагаемой нами методики. Возможно, что в некоторых случаях применение метода в описанной выше форме окажется непригодным для количественного изучения интенсивности фотосинтеза в водоеме. Так например,

весьма вероятно, что в водоеме с очень сильным цветением и небольшим содержанием карбонатов, фотосинтез поверхностных слоев воды в заметной мере идет за счет проникающей из атмосферы CO_2 . Естественно, что в этом случае для поверхностных слоев при суточной экспозиции склянок будут получаться преуменьшенные против истинных результаты, что будет иметь особенно большое значение при вычислении общего баланса органических веществ в мелких водоемах (пруды).

Поэтому применение предлагаемого метода в новых условиях должно сопровождаться специальными наблюдениями, доказывающими его пригодность в каждом конкретном случае.

Значительно сложнее решить, насколько получаемые нашим методом данные по интенсивности поглощения кислорода соответствуют скорости процессов окисления в свободной воде озера. Решение вопроса прежде всего затрудняется тем, что величины, выражающие поглощение кислорода, значительно более колеблются как по отношению к параллельным определениям, так и по отношению к двум последовательным определениям, по сравнению с величинами, выражающими интенсивность фотосинтеза. Вместе с тем нет оснований предполагать, что заключение воды в закрытые склянки может существенно повлиять на скорость процессов окисления. Происходящее во время экспозиции незначительное понижение парциального давления кислорода и связанное с ним изменение других факторов не может иметь значения, так как известно, что биологические процессы окисления в широких пределах независимы от парциального давления кислорода.

Возможное влияние затемнения на интенсивность окисления в воде не поддается прямой проверке, однако косвенные соображения заставляют признать, что если такое влияние и имеется, то оно не может быть значительно, так как известно, что условия освещения не оказывают заметного влияния на скорость биологического окисления.

Показать насколько точно интенсивность окисления в закрытых склянках при суточной экспозиции соответствует интенсивности окисления в свободной воде, — остается задачей будущих исследований, которые вместе с тем должны будут выяснить, в каких условиях применение предлагаемого метода дает верное количественное отображение процессов окисления, протекающих в свободной воде озера. Сейчас может быть выдвинуто только общее положение, что по интенсивности поглощения O_2 в склянках возможно судить об интенсивности поглощения O_2 в свободной воде озера только в том случае, когда возможно пренебречь тем количеством окисляющихся веществ, которое за время экспозиции поступает в воду данного места извне. Окисление в закрытой склянке ограничено тем запасом окисляющихся веществ, которые находились в воде в момент начала экспозиции, в то время как поглощение кислорода в свободной воде идет также и за счет беспрерывно поступающих извне соединений.

Повидимому такой случай наблюдался в начале лета 1933 г. в гипolimнионе Белого озера. В Белом озере после установления летней стратификации наступает период быстрого уменьшения содержания кислорода в гипolimнионе. Наблюдения над содержанием кислорода на разных глубинах показывают, что это уменьшение совершается с постоянной скоростью, которая легко может быть выражена в форме поглощения O_2 в мг на 1 л за сутки. В 1933 г. в начале июня после установления типичной стратификации произошло вторичное перемешивание воды, что дало возможность дважды наблюдать ход уменьшения содержания кислорода в гипolimнионе (рис. 11).

Все наблюдения на глубинах 5,7 и 9 м как в мае, так и в июне показали очень близкие цифры поглощения O_2 за сутки, а именно 0,5 — 0,6 мг на 1 л. Ставившиеся в это время склянки давали значительно меньшее поглощение кислорода за сутки: 0,15 — 0,43 мг на 1 л.

Совершенно аналогичная картина наблюдается зимой. Так, например, склянки, установленные на 10 дней (с 16/II по 26/II) на 1 м глубины от поверхности льда

показали интенсивность поглощения O_2 — 0,06, на 2 м — 0,17 при фотосинтезе, равном 0,00. В этот же период в озере происходило значительно более быстрое уменьшение количества кислорода. Так, за время с 29 января по 16 февраля на глубине 1 м произошло уменьшение кислорода на 1,40 мг, а на глубине 2 м — 1,38 мг.

Мы считаем весьма вероятным, что эти различия обуславливаются потреблением кислорода на окисление непрерывно притекающих со дна газов. Наличие интенсивного отделения газов иловыми отложениями Белого озера доказано в ряде работ (Л. Россолимо и др.). Показано, что растворенный в воде кислород частично идет на окисление поднимающихся со дна газов, чем и оказывается возможным объяснить характерное для озер с интенсивным газоотделением распределение кислорода в зимний период.

Из этих данных следует заключить, что в данных условиях время экспозиции было слишком большим, и если наше представление о значении для возникновения

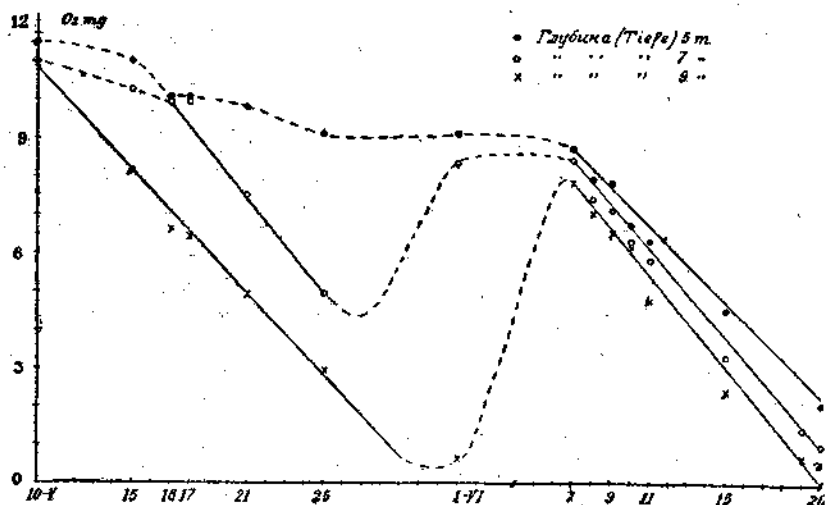


Рис. 11. Изменения содержания O_2 в гипolimнионе Белого озера в начале лета 1933 г.
Abb. 11. Änderungen im O_2 -Gehalt im Hypolimnion des Beloje Sees am Anfang des Sommers 1933.

этого различия поднимающихся со дна газов правильно, — более короткое время экспозиции должно было бы дать более близкие цифры.

Все эти наблюдения показывают, что при некоторых специальных условиях нет точного совпадения интенсивности поглощения O_2 в склянках и в свободной воде озера¹.

Эти наблюдения, ограничивающие применение метода, ни в какой мере не лишают его значения, так как по отношению к интенсивно протекающим процессам в верхних слоях воды в течение летнего периода, определяющих в основном баланс органического вещества, нет никаких оснований принимать, что в этих условиях процессы в склянках существенно отличаются от тех же явлений в свободной воде озера.

Остается безусловным, что даже в том случае, если будущие исследования покажут, что в некоторых условиях получаемые нашим методом величины не вполне соответствуют истинным, различие не будет настолько велико, чтобы лишить даваемые им результаты относительного значения.

¹ Укажем, что подобные наблюдения могут быть использованы для изучения и количественной характеристики значения в жизни водоема газоотделения и других процессов.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА

Независимо от дальнейшего улучшения и уточнения метода применение его в описанном виде позволяет несколько по-новому подойти к изучению ряда проблем теоретической и прикладной лимнологии. Уже на основании первой попытки приложения его оказывается возможным не только количественно измерить основные моменты баланса органических веществ в водной массе, но и выдвинуть ряд новых вопросов, требующих специального изучения как соотношение количества планктона и интенсивности фотосинтеза и дыхания, зависимость интенсивности поглощения O_2 от температуры и гроз, подледовой фотосинтез, и несколько по-новому осветить многие стороны жизни водоема, как соотношение скоростей поглощения и выделения O_2 в разных слоях воды, мощность трофического слоя и зависимость ее от прозрачности, особенности вертикального распределения кислорода, в частности, металимниальный минимум.

В дальнейшем применение метода может и должно идти в двух направлениях: во-первых, в направлении детального изучения закономерностей баланса органического вещества и связанных с ним явлений и, во-вторых, в направлении сравнительного изучения водоемов¹.

Работы первого типа возможно проводить в стационарных условиях на одном или немногих водоемах. При этом уже изучение выдвинутых, но неразрешенных в настоящей работе вопросов, потребует систематического проведения ряда измерений и, в первую очередь, количественного определения суммарного количества органического вещества в воде, точного учета планктона, карбонатного равновесия и проч., а также и использования результатов специально поставленных экспериментов. В особенности необходимы экспериментальные исследования для выяснения зависимости интенсивности фотосинтеза от физико-химических условий. Для того, чтобы получить пригодные для перенесения в природные условия результаты, постановка этих экспериментов должна быть принципиально отлична от принятых в физиологии растений. Необходимо стремиться изучить не фотосинтез определенного неизменяющегося во время опыта произвольно-выбранного количества одной определенной водоросли, а интенсивность фотосинтеза природных сообществ организмов (животных и растений), которые в течение опыта по возможности осуществляют присущие им жизненные функции (рост, размножение, взаимное истребление и проч.). Очевидно, что характер зависимости от условий среды такого сообщества, состоящего из форм, имеющих совершенно различные физиологические свойства, должен резко отличаться от реакций каждого из входящих в него членов.

При использовании результатов подобных исследований в лимнологических целях необходимо помнить, что в свою очередь закономерности, выражающие зависимость фотосинтеза и дыхания природного сообщества организмов от условий, в частности, от физико-химических свойств воды, имеют по отношению к процессам, происходящим в целом водоеме, только подчиненное значение.

Баланс органических веществ и в частности продуктивность водоема определяются не одним каким-либо фактором, например, химическим составом воды, как это принимают некоторые авторы, или каким-либо другим условием, а общей совокупностью характеризующих данный водоем особенностей, среди которых значительную роль играют морфологические признаки водоема. Даже степень количественного развития фотопланктона в озере зависит не только от физико-химических свойств воды, как это часто принимается в литературе, но также

¹ Помимо изучения вопросов, связанных с превращением органических веществ, предлагаемая методика может быть использована при изучении ряда других вопросов, например для вычисления обмена между водоемом и атмосферой кислорода и углекислоты. Помимо того, по нашему мнению, применение метода должно быть плодотворным при решении некоторых вопросов, имеющих практическое значение, и в первую очередь при изучении повышения продуктивности аграрного хозяйства путем внесения минеральных удобрений.

и от мощности эпилимниона, которая на первый взгляд не имеет никакого отношения к этому вопросу. Действительно, в двух водоемах, отличающихся только мощностью эпилимниона в случае положения компенсационной точки в верхних слоях воды, условия для развития фотопланктона будут различны. В этом случае в водоеме с мощным эпилимнионом в каждый данный момент значительная часть водорослей находится в неблагоприятных для развития условиях преобладания дыхания над фотосинтезом. Вследствие перемешивания каждая отдельная водоросль значительную часть времени находится в неблагоприятных условиях. В результате прирост фотопланктона при прочих равных условиях (прозрачность, физико-химические свойства воды, температуры, качественный состав фотопланктона и пр.) в водоеме с мощным эпилимнионом будет протекать значительно медленнее, чем в водоеме с менее мощным эпилимнионом, в котором большая часть или даже все водоросли постоянно находятся в условиях, обеспечивающих преобладание фотосинтеза над дыханием. Следовательно, при тех же физико-химических свойствах воды фотопланктон в крупных озерах не может достичь такого количественного развития, как в водоеме меньшего размера с менее мощным эпилимнионом.

Взаимная обусловленность всех факторов, определяющих «продуктивность» водоема, не менее ясно обнаруживается при рассмотрении значения величины прозрачности в свете приведенных выше данных. Совершенно очевидно, что в каждом данном водоеме некоторая минимальная мощность трофогенного слоя, определяемая величиной прозрачности, является необходимым условием преобладания процессов образования органических веществ над процессами разрушения. Поскольку положительный баланс определяется соотношением трофогенной и трофолитических зон водной массы, ясно, что в различных водоемах минимальная мощность трофогенного слоя, достаточная для положительного баланса, будет различна. Следовательно, при прочих равных условиях в мелких водоемах, преобладание процессов образования над процессами разрушения может наблюдаться при такой величине прозрачности, которая для более крупного водоема совершенно недостаточна.

Аналогичным образом и значение любого другого фактора меняется при изменении прочих условий. Это обстоятельство показывает принципиальную безнадежность попыток выделить какое-либо одно из условий, например, количественное развитие планктона, рН, солевой состав воды и т. п. в качестве показателя, «индикатора» и по величине его судить о степени «продуктивности» водоема.

Необходимо, не ограничиваясь подобными косвенными, недостаточно обоснованными и, как мы старались показать, по существу неверными сопоставлениями, — непосредственно изучать количественную сторону самих процессов превращения органических веществ в озере и зависимость их от условий.

По отношению ко второму возможному направлению работ — сравнительному изучению водоемов, предлагаемый метод имеет ряд особенностей, позволяющих надеяться на возможность успешного применения его и в этом направлении.

Огромным преимуществом его является то, что результаты приложения его в изучении водоемов с совершенно различным биологическим населением выражаются в непосредственно сравнимых величинах, дающих к тому же количественное выражение двум основным процессам баланса органического вещества в водоеме.

Уже на основании двухгодичных наблюдений на Белом и Святом озерах в Косине и на Глубоком озере, можно с уверенностью утверждать, что для каждого водоема и периода характерны определенные величины интенсивностей дыхания и фотосинтеза и определенное распределение их по вертикали. Устойчивость и единообразие получаемых результатов являются характерными особенностями нашего метода.

Поэтому уже единичная серия, проведенная в благоприятный период (июль — август), дает вполне отчетливое представление об интенсивности фотосинтеза

и дыхания в данном водоеме, мощности трофогенного слоя и других величинах, могущих служить характеристикой его. Это делает метод вполне применимым в экспедиционных условиях.

Несмотря на то, что применявшийся нами метод позволяет изучать не весь баланс органического вещества водоема в целом, а только один из важнейших его компонентов, а именно баланс органических веществ в водной массе, все же возможно на основании приведенных наблюдений и общих соображений попытаться предугадать некоторые результаты, которые по нашему мнению могут быть получены при сравнительном изучении водоемов различных типов.

Единственный детально изученный в отношении фотосинтеза и дыхания водной массы водоем — Белое озеро — несомненно имеет положительный баланс органического вещества, т. е. в результате годового цикла общее количество находящегося в озере органического вещества увеличивается. По всей вероятности, это является общим правилом для водоемов подобного типа. Однако можно допустить и существование водоемов, обладающих отрицательным балансом органического вещества в водной массе. В подобных водоемах общее количество разрушенного в течение годового цикла вещества больше синтезированного за тот же период.

Подобный отрицательный баланс, естественно, может длительно существовать только при наличии постоянного притока в озеро готовых органических соединений, что может наблюдаться в водоемах со значительным поступлением органических веществ аллохтонного происхождения. В этом случае водная масса является ареной минерализации органических соединений и с физико-химической стороны должна характеризоваться сравнительно низким содержанием кислорода и высоким содержанием свободной углекислоты. Биологически подобные водоемы должны характеризоваться преобладанием зоопланктона.

К таким водоемам по всем данным принадлежат вторичные озера на торфяных массивах типа Петровских озер Калининской области (Скадовский, 20).

Следует подчеркнуть, что отрицательный баланс органического вещества в водной массе не доказывает наличия отрицательного баланса водоема в целом. В подобных водоемах возможны годовые отложения органического вещества за счет избытка поступающих в водоем органических веществ аллохтонного происхождения.

Это обстоятельство не уменьшает отличия подобных водоемов от водоемов, в которых образование преобладает над разрушением. В последнем случае и при полном отсутствии поступления аллохтонных органических веществ, в результате годового цикла, количество органических отложений должно увеличиваться.

Наконец, теоретически возможен третий случай, когда процессы разрушения и образования компенсируют друг друга.

Только наблюдения смогут показать, можно ли в действительности наблюдать все три случая и насколько разделение водоемов по такому принципу совпадает с основными требованиями принятыми, в современной лимнологии типами водоемов. Нам кажется, что в общем следует ожидать подобного совпадения. По всей вероятности, типично дистрофные водоемы будут характеризоваться отрицательным балансом, эутрофные — положительным и олиготрофные — нулевыми. Если подобное совпадение будет установлено, оно будет служить лишь доказательством того, что принятое разделение водоемов на три типа правильно отражает существенное различие их.

Помимо общего итога процессов превращения органических веществ, водоемы должны отличаться друг от друга абсолютной величиной интенсивности дыхания и фотосинтеза, что в пределах каждого типа создает возможность большого разнообразия отдельных случаев.

ВЫВОДЫ

1. В водной массе Белого озера в течение всего периода наблюдений (с мая по ноябрь) выделение кислорода превалирует над поглощением, что указывает на преобладание процессов образования органических веществ над процессами разрушения их. Как интенсивность выделения и поглощения кислорода, так и разность двух процессов достигает максимума в августе. За зимний период в Белом озере может окислиться не более 50% от накопленного водной массой в течение лета органического вещества. Продукция органического вещества водной массы за весь летний период на 1 м² поверхности эквивалентна 100 г глюкозы.

2. Интенсивность фотосинтеза определяется не только количественным развитием фитопланктона, а закономерным образом зависит от физико-химических свойств воды и других условий водоема. Поэтому величины, выражающие интенсивность фотосинтеза, значительно более постоянны,лучше и глубже характеризуют данный водоем, чем состав фитопланктона.

3. Интенсивность поглощения кислорода водой Белого оз. находится в закономерной зависимости от температуры, причем температурный коэффициент (Q_{10}) = 2,6, несмотря на то, что наблюдения при разных температурах были сделаны в разное время при совершенно различном составе планктона. Это показывает, что интенсивность окисления органических веществ в воде не является простой суммой дыхания зоо — и фитопланктона, бактерий, химического окисления и проч., а является выражением особенностей сложной системы процессов, в которых отдельные формы окисления имеют подчиненное значение. Интенсивность поглощения O₂ водой в естественных условиях должна рассматриваться как характерная для данного водоема величина, закономерно зависящая от особенностей его.

4. Весной, когда лед освобождается от снега, в верхних слоях воды под льдом начинается фотосинтез, интенсивность которого 18 апреля 1933 г. была 1,27. Весенний подледовый фотосинтез объясняет наблюдающееся в это время обогащение верхних слоев воды кислородом и подщелачивание их. Зимой, когда лед покрыт снегом, фотосинтез прекращается (табл. VIII).

5. Наблюдения 1933 г. полностью подтвердили все сделанные в сообщении I предварительные заключения относительно незначительной мощности трофогенного слоя (в Белом оз. 1 — 2 м), зависимости расположения компенсационной точки от прозрачности, общего характера кривых фотосинтеза, дыхания и пр.

6. Использование применявшегося в настоящей работе метода позволяет по-новому подойти к изучению многих вопросов баланса органических веществ в озере и в частности должно быть плодотворным при сравнительном изучении водоемов.

ЛИТЕРАТУРА — LITERATUR

1. Birge E. a. Juday Ch., The organic content of lake water, Proc. Nat. Acad. of Sciences 12, 1926.
2. Ehrke, G., Über die Wirkung der Temperatur und des Lichtes auf die Atmung und Assimilation einiger Meeres- und Süßwasseralg. Planta 13, 221, 1931.
3. Gaarder, T., Untersuchungen über Productions- und Lebensbedingungen in norwegischen Austernpollen. Bergens Museums Arbor 1932. 2 H. Natur. Rekke № 3, 1 — 64, Bergen, 1933.
4. Gaarder, T. a. Gran H., Investigation of the production of plancton in the Oslo-fiord, Cons. perm. intern-expl. de la mér, Rapports et proc. verb. Copenhagen, 1927.
5. Gran H., The spring growth of the Plankton at More. Skr. N. Vidensk.—Akad.-Oslo, I Mat.-Nat. Kl. 5 1 — 75, 1930.
6. Gran H. u. Birgithе., Untersuchungen über die im Meerwasser gelöste organischen Stoffe und ihr Verhältnis zur Pflanzenproduction, Avh. utg. av det Norske Urden — Akad. Oslo. I Mat.-Nat. Kl., 6, 1926.
7. Jenkin, P., A preliminary limnological survey of Loch Ayr. Sat. Rev. of Hydrob., 24, 1—2, 24—47, 1930.
8. Loose L., Pearsall D., and Willis F. Carbon assimilation by chlorella in Windermere, Fr. Leeds. phil. Soc, S. S. VII, XI, 519, 1934.
9. Marshall S., a. Orr A., Photosynthesis of diatom cultures in the Sea. Jour. Mar. Biol. Ass. N. S. 15, 321—360, 1928.
10. Mancha R., Upon the influence of temperature and intensity of light on the photosynthetic production of Nannoplankton, Verh. Int. ver f. Limnol., 2, 381, 1924.
11. Kostyischev S., u. Soldatenkov S., Der tägliche Verlauf und die spezifische Intensität der Photosynthese bei Wasserpflanzen, Planta 2,

1, 1926. 12. Krogh, A. a. Lange E. Quantitative Untersuchungen über Plankton, Kolloide und Gelöste organische und anorganische Substanzen in Turesee, Int. Rev. gesamte Hydrob., 26, 20, 1931. 13. Pütter, A., Der Umfang der Kohlensäurereduktion durch die Planktonalgen., Pfluger's Arch., 205, 293, 1924. 14. Россолимо Л. Л., Морфометрия Косинских озер, Труды Косинской Биол. Ст., вып. 10, 1929. 15. Россолимо Л. Л., Термика Косинских озер, Тр. Косинской Биол. Ст., вып. 10, 1929. 16. Россолимо Л., Явления газоотделения на Белом озере в Косине. Тр. Лимнол. Ст. в Косине, т. 15, 1932. 17. Rossolimo L. L., Ueber die Gasausscheidung im Beloje-See zu Kossino. Arb. Limn. St. zu Kossino 15, 1932. 18. Россолимо Л. Л. и Кузнецова З., Долгое газоотделение как фактор кислородного режима озер. Тр. Лимнол. Ст. в Косине 17, 1934. 19. Rossolimo L. und Kusnetzowa, Die Boden-Gasausscheidung als Faktor des Sauerstoffhaushaltes, Arb. Limn. St. zu Kossino, 17, 1934. 20. Россолимо Л. Л., Задачи и установки лимнологии, как науки, Тр. Лимнол. Ст. в Косине 17, 1934. 21. Ruttner F., Ueber den Gaswechsel von Elodea-Sprossen von verschiedene Tiefstandorte u. s. w., Planta 2, 588, 1926. 22. Скадовский С. Н. и др. Биология планктона и физикохимический режим Петровских озер Оршанского торфяника Московской области. Зоол. журн. т. 12, № 3, 1933. 23. Skadowsky S. und Mitarbeiter, Die Biologie des Planktons und die physikalisch-chemische Verhältnisse in den Petrowski-Seen des Torfmassivs Orscha im Moskauer Gebiet. Zool. Zts. 12, 3, 1933. 24. Strom, M., Tyrifjord, a limnological study. Skrifter utg. Norske Vidensk. Akad. Oslo, I Math.-Nat. Kl. № 3, 1932. 25. Thieme mann A., Productionsbegriff in der Biologie. Arch. f. Hydrob., 22, 616, 1931. 26. Винберг Г. Г., Опыт изучения фотосинтеза и дыхания в водной массе озера. Сообщение I, Тр. Лимнол. Ст. в Косине, 18, 1934. 27. Winberg G. G., Versuch zum Studium der Photosynthese und der Atmung des Seewassers. Mitteilung I, Arb. Limnol. St. zu Kossino, 18, 1934. 28. Винберг Г. Г., К вопросу о металиминальном мнимуме кислорода, Тр. Лимнол. Ст. в Косине, 18, 1934. 29. Винберг Г., Ивлев В., Платова Т. и Россолимо Л., Методика определения органического вещества и опыт калорической оценки кормовых запасов водоема. Тр. Лимнол. Ст. в Косине, 18, 1934. 30. Winberg G., Ivlev W., Platowa T., Rossolimo L., Methodik der Bestimmung des organischen Stoffes und ein Versuch der kalorischen Schätzung der Nahrungsvorräte eines Beckens. Arb. Limnol. St. zu Kossino, 18, 1934.

Дополнительный список ¹

26. Alvik G., Planktonalgen norwegischer Austernpollen. I. Systematik und Vorkommen der Arten. II. Licht und Assimilation in verschiedenen Tiefen. Bergens Mus. Årbok., Naturw. Rokke № 6, 1—47, № 10, 1—90, 1934. 27. Clarke G. u Oster R., The penetration of the blue and red components of daylight into atlantic coastal waters and its relation to phytoplankton metabolism. Bioll. Bull., 67, 59—75, 1934. 28. Heinrich K., Atmung und Assimilation im freien Wasser. Int. Revue. ges. Hydrob., 30, 5—6, 387—410, 1934. 29. Juday C. u Schomer H., The utilization of solar radiation by algae at different depths in lakes. Biol. Bull. 69, 1, 75—81, 1935. 30. Кузнецов С. И. Сравнительное изучение азотного, фосфорного и кислородного режима Глубокого и Белого озер. Тр. Лимнол. Ст. в Косине. 17, 49—67, 1934. 31. Kusnetzow S. Zum Studium des Stickstoff-, Phosphor- und Sauerstoff-Haushaltes des Beloje und des Glubokoje-Sees. Arb. Limnol. St. zu Kossino. 17, 49—67, 1934. 32. Rossolimo L., Die Boden-Gasausscheidung und das Sauerstoffregime der Seen. Verh. Int. Ver. Limnol. 7, 1936 (в печати). 33. Schomer, H. Photosynthesis of water plants at various depths in lakes of northeastern Wisconsin. Ecology, 15, 2, 217—218, 1934.

¹ Добавлено при корректуре.

К МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ ВОДНОГО БАЛАНСА ОЗЕР

Б. А. Аполлов и В. Р. Вютрих

Водному балансу озер до самого последнего времени не уделено достаточного внимания, несмотря на то, что от соотношения элементов его составляющих зависит жизнь и смерть озера. Отставание балансовых исследований объясняется трудностью постановки работ в этом направлении, и только катастрофически падающий уровень Каспия, использование вод озера Севан и других озер, заставляли решать вопросы их водного баланса. Однако эти решения не носили строго научного характера и целый ряд допущений обесценивал эти работы.

Надо иметь в виду, что знание элементов, составляющих водный баланс, дает ответ на ряд вопросов, имеющих с точки зрения режима озер большое значение. Усиленное грунтовое питание засоляет озеро, особенно, если испарение с озера велико. Грунтовое и поверхностное питание дает разные условия термического режима озера, создает различные ледовые условия и т. д.

Наша работа имеет целью указать общий, идейно верный путь к разрешению задачи подсчета водного баланса озер.

Рассмотрим общий наиболее сложный случай проточного озера. Составляя уравнение общего баланса этого озера по приходу, будем иметь:

- q — приток поверхностных вод,
- q' — приток грунтовых вод,
- q'' — приток атмосферных осадков,
- q''' — приход конденсационных вод.

Расход воды из озера будет состоять из:

- r — оттока поверхностных вод,
- r' — оттока грунтовых вод,
- z — испарения с поверхности озера.

Если бы приход воды в озеро равнялся бы расходу воды из озера, то очевидно:

$$q + q' + q'' + q''' = r + r' + z. \quad (1)$$

В этом случае уровень озера со временем не изменялся бы, однако, этого нет и мы знаем, что уровень наших озер со временем изменяется и при накоплении влаги происходит повышение их уровня, а при убыли — понижение. Обозначая член, характеризующий накопление и убыль через $\pm \Delta u$, мы получим общее идейно верное уравнение водного баланса озер:

$$q + q' + q'' + q''' = r + r' + z \pm \Delta u. \quad (2)$$

В таком виде уравнение баланса озер весьма сложно и элементы его не могут быть определены достаточно точно.

Разберем отдельные слагающие этого общего уравнения:

q — сток реке и отток, может быть определен при современных гидрометрических знаниях с точностью до 3—5%, особенно, если это небольшие реки

и измерения их расходов производятся водосливами Чипшолеги с лимнографическими установками;

q' — приток грунтовых вод и их отток r' до самого последнего времени путем наблюдений почти не определялся, вычисления же его по формулам носили очень грубый ориентировочный характер;

q'' — приход от атмосферных осадков определялся путем использования данных наблюдений над береговыми осадками, что недостаточно точно и есть основания думать, что осадки на поверхности озер, особенно больших, меньше, чем на береговых станциях¹;

q''' — роль конденсационных вод до настоящего времени совершенно не изучена и она учитывается суммарно в испарении, где под испарением за сутки понимают испарение также и конденсационных вод;

z — испарение с поверхности озера представляет: испарение с его водной поверхности, с поверхности его льда и снега; эта величина является весьма существенной в балансе озер, но ее величина определяется обычно по формулам, заимствованным из американской практики, что достаточно произвольно;

$\pm \Delta u$ — накопление или убыль воды в озере получается путем водомерных наблюдений над уровнем воды в озере.

Этот краткий обзор уже ясно показывает трудность получения истинной величины всех элементов, входящих в уравнение водного баланса. Обычный научный прием в изучении режима комплекса элементов состоит в том, что сначала берется более простой случай, где исключен ряд элементов. Такой способ обычно применяется и в лабораториях, где, оставляя например ряд элементов постоянными, меняют в опытах только некоторые. Затем для уточнения изучения хода явления и влияния на него отдельных факторов укорачивают промежутки между наблюдениями, что позволяет считать эти явления в промежутках постоянными.

Такой же путь возможен и в природных условиях при изучении водного баланса озер.

Во-первых, можно взять озеро только с поверхностным притоком, причем можно взять это озеро в такой период года, когда приток поверхностных вод равен нулю.

Затем можно взять озеро, которое имеет в его районе уровень грунтовых вод везде выше уровня зеркала озера, т. е. в озеро будет только приход грунтовых вод q' и расход грунтовых вод $r' = 0$.

В этих условиях водный баланс озера за некоторый период без атмосферных осадков будет выражен чрезвычайно простым уравнением:

$$q' + q''' = z \pm \Delta u, \quad (3)$$

причем, если пренебречь конденсацией q''' , учтя ее в испарении, то уравнение примет очень простой вид:

$$q' = z \pm \Delta u. \quad (4)$$

Зная, что грунтовые воды имеют большую инерцию, можно допустить, особенно ведя за ними наблюдения, что для короткого промежутка времени (1—3 дня) $q' = \text{const}$, тогда, имея ряд наблюдений над изменениями уровня воды в озере, основными метфакторами, влияющими на испарение: t° воздуха, ветром W , влажностью, можно сделать попытку определить вид формулы для испарения с водной поверхности рассматриваемого озера.

¹ Б. Д. Зайков, Гидрологический очерк бассейна озера Севан, ч. I, вых. 3, стр. 7. Затем работы автора (Б. А.) установили, что на Каспии осадки на его акваторию \sim на 14% меньше, чем на береговых станциях.

Допустим, что мы произвели ряд наблюдений, предполагая, что величина испарения с водной поверхности подчиняется какому-нибудь закону, например:

$$Z = A(E - e)(1 + Bw)^1 \quad (5)$$

или, обозначая $E - e$ дефицит влажности через d и раскрывая скобки, получим:

$$Z = Ad + Cdw, \quad (6)$$

где $C = A \cdot B$

тогда уравнение (4) может быть представлено в виде:

$$q' = Ad + Cdw \pm \Delta u. \quad (7)$$

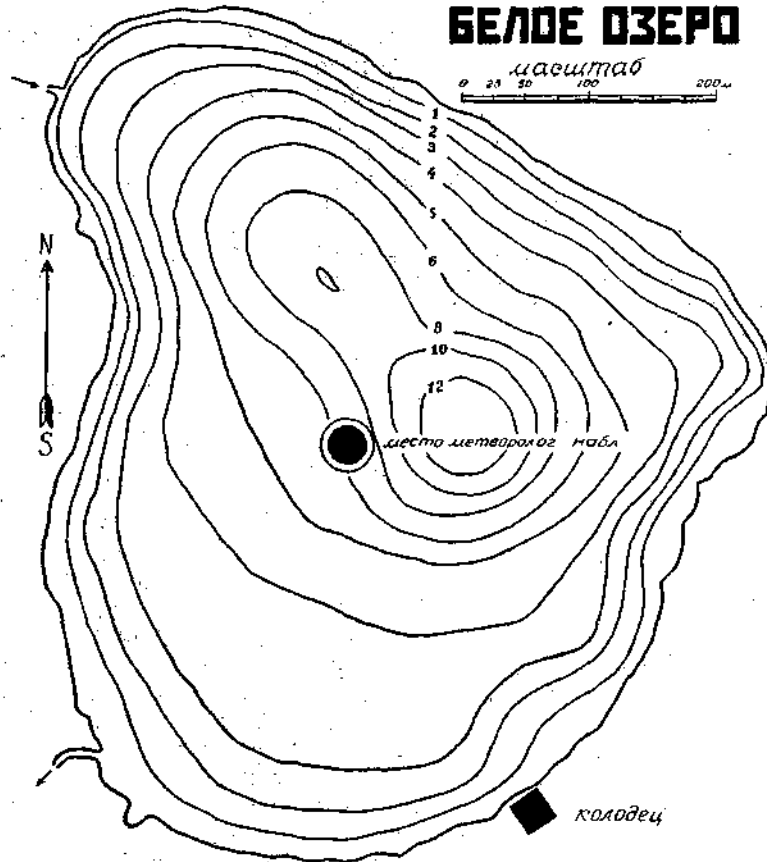


Рис. 1. План озера с обозначением мест наблюдений.

Имея несколько подобных уравнений для ряда наблюдений:

$$\left. \begin{aligned} q' &= Ad_1 + Cd_1w_1 \pm \Delta u_1 \\ q' &= Ad_2 + Cd_2w_2 \pm \Delta u_2 \\ q' &= Ad_3 + Cd_3w_3 \pm \Delta u_3 \\ &\dots \dots \dots \\ q' &= Ad_n + Cd_nw_n \pm \Delta u_n \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

¹ Можно, конечно, взять и уравнение другого вида, причем обычно уравнение испарения с водной поверхности имеют 1—2 константы: например $z = Adw$ и др.

Прибор устанавливался в специальном колоде — успокоителе, который через трубу сообщался с водой озера, как это показано на рис. 3. Прибор привинчивался к свае на такой высоте, чтобы мениск стоял примерно на верхней четверти пластинки. Затем трубка А прибора, через которую ящик сообщался с водой озера, закрывалась и производилась тарировка прибора. Путем приливания или отливания определенного количества воды изменялся уровень ее в ящичке на определенную величину, делались отсчеты по пластинке до и после изменения уровня, рассчитывалась цена деления пластинки.

Предположим, в начальный момент мы имели отсчеты по пластинкам: по 1-й — 220 делений, по 2-й — 212 делений. Доливая воды 15,5 см мы имеем отсчеты: По 1-й — 253 деления, по 2-й — 232 деления.

Так как сечения ящичка 310×50 мм, не включая в расчеты для простоты примера объема, занимаемые пластинками, то высота столба влитой в прибор воды составит $15,5 : 310 \times 50 = 1,0$ мм; по первой рейке отсчет изменился на 33 деления, а второй — на 20 делений, следовательно, цена деления по первой рейке составит $1 : 33 = 0,03$ мм, а второй 0,05 мм.

Примерно такую точность удалось получить при отсчете уровня Белого озера.

Для наблюдения за метфакторами, имеющими влияние на водный баланс озера, были установлены специальные наблюдения.

Наблюдения над температурой и влажностью воздуха, температурой воды, скоростью и направлением ветра, производились с лодки на середине озера три раза в сутки: в 7 час., 13 час. и 21 час. Одновременно производились наблюдения над изменениями уровня.

Влажность и температура воздуха определялись по психрометру Ассмана на высоте 0,1 м и 2,0 м над поверхностью воды. Скорость ветра определялась по анемометру Фусса на 0,5 и 2,0 м над поверхностью воды. Температура воды измерялась преимущественно на 0,01 м и 0,5 м от поверхности воды, обычным термометром в деревянной оправе и опрокидывающимся термометром Рихтера. Осадки определялись по обычному дождемеру, установленному близ озера, один раз в сутки в 7 час. утра.

Наблюдения были начаты с 5/VIII 1934 г. и продолжались по 13/IX 1934 г. Сводка их приведена в табл. I и рис. 4 и 5.

Кроме этого, с 7 час. 27/VIII до 7 час. 29/VIII наблюдения велись круглые сутки через 2 часа; данные этих наблюдений приведены в табл. II и рис. 6. В табл. III приведены данные этих наблюдений, приведенные в 4-часовым промежуткам.

В дальнейших работах выяснилось, что на изменения уровня воды может влиять при той точности отсчетов, которая была принята, расширение воды от изменения ее температуры. В этом отношении была составлена табл. IV, устанавливающая по изменениям температуры поверхностного слоя озера, изменения высоты уровня в озере. Эта таблица составлена в 5-ти предположениях, что температура воды изменяется в слое 0—1 м, 0—2, 0—3, 0—4 и 0—5 м, причем оказалось, что эти поправки имеют существенное значение, как это и видно из таблицы IV. Конечно от этих поправок можно избавиться, беря моменты сравнения с равной температурой воды или близкой к равной.

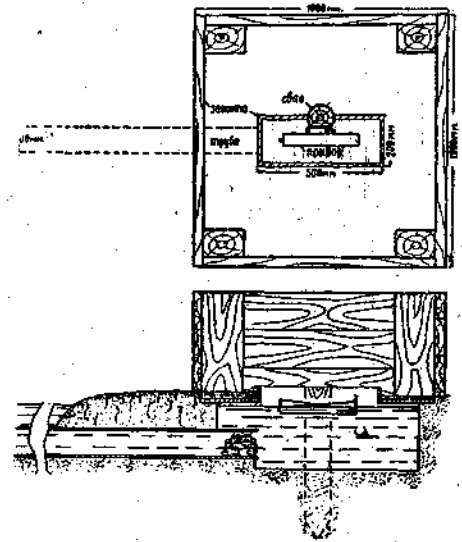


Рис. 3. Схема установки прибора в колоде успокоителе.

Беря уравнение испарения с поверхности воды по типу, предложенному В. В. Шулейкиным¹:

$$Z = Adw, \quad (10)$$

и производя корреляционные вычисления по данным табл. III, мы получаем ряд уравнений, сводка которых приведена в табл. V.

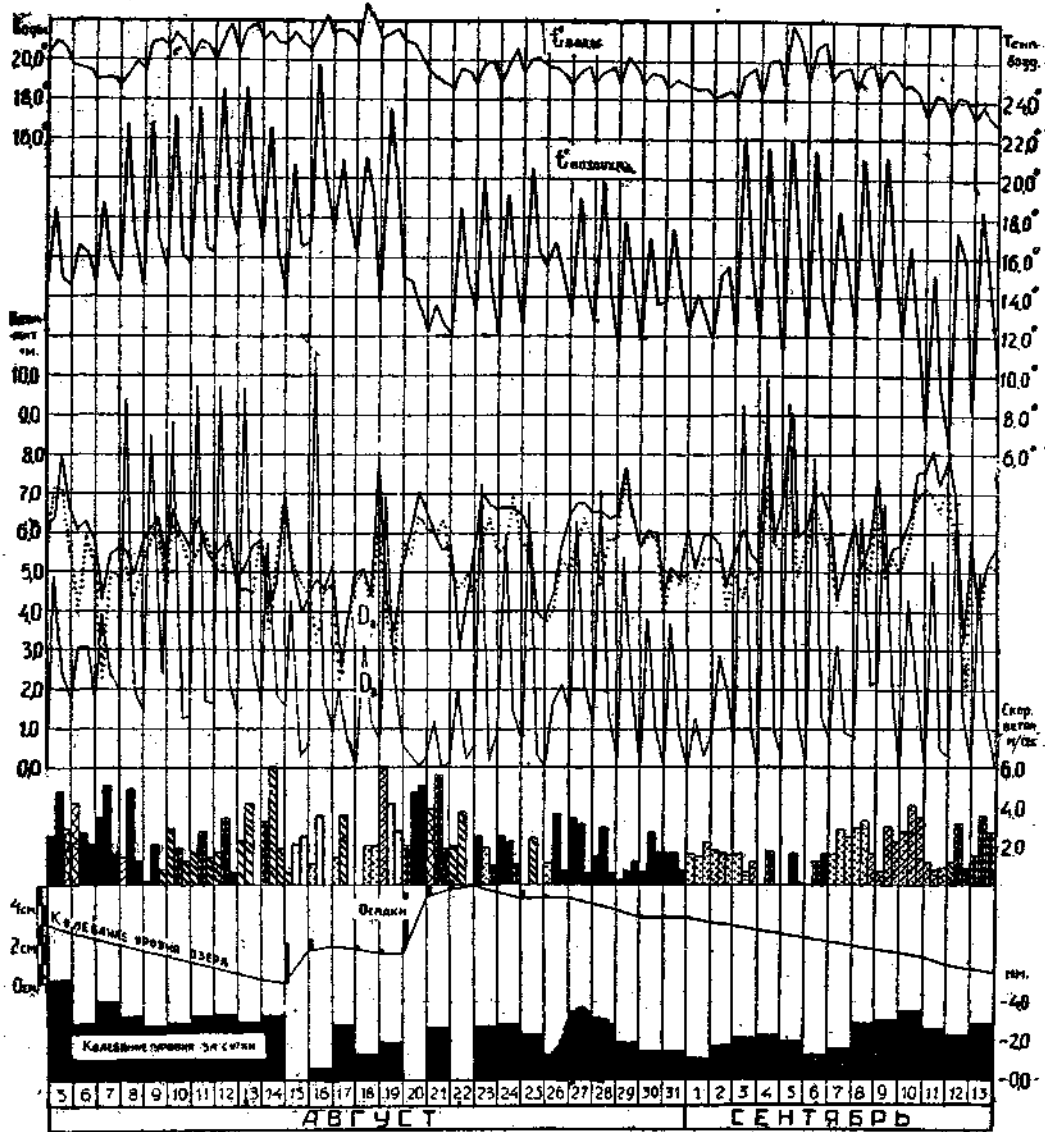


Рис. 4. Ход гидрометеорологических элементов за период с 5/VIII по 13/IX — 1934 г. D_1 — дефицит влажности на 2 м над поверхностью озера по t° воды, D_2 — дефицит влажности на 0,1 м над поверхностью озера по t° воды, D_3 — дефицит влажности на 2 м над поверхностью озера по t° воздуха. Масштаб осадков равен масштабу колебаний уровня.

Здесь в сущности были нами приняты два типа уравнений, одно

$$Z = Ad\sqrt{w}, \quad (11)$$

а другое типа (10).

¹ Мы взяли для данного случая наиболее простое уравнение.

И в том и в другом уравнениях дефицит влажности вычисляем в отношении температуры воды, причем наблюдения над влажностью воздуха брались на высоте 2 м над водой. Поправки на изменения уровня Δh за счет изменения объема воды озера брались в различных предположениях.

Кроме этого, в таблице также произведен подсчет для наблюдений 3—16 сентября случай 5.

Рассматривая данные этой таблицы, мы видим, во-первых, что испарение в озере не равно нулю, когда $d=0$ и $w=0$, а что в этих условиях происходит падение уровня в озере (см. уравнения, где везде есть свободный член). Это падение происходит не за счет испарения, а за счет грунтового оттока вод, причем этот грунтовой отток имеет в уравнениях 1—3 весьма устойчивое значение от 1,68 до 1,96 мм в сутки, таким образом для рассмотренного нами периода 2 суток мы имеем вычисленную величину грунтового питания, в данном случае оттока. Надо иметь в виду, что это падение уровня за счет грунтового оттока в Белом озере равно в сущности разнице между $r'-q'$.

Уравнение (5) имеет несколько иной вид, так как оно, во-первых, составлено на основании наблюдений только три раза в сутки, а во-вторых, грунтовое питание здесь было уже другое. Причем уменьшение его с августа на сентябрь вполне увязывается с наблюдениями над уровнем Белого озера.

В табл. VI приведен пример подсчета одного из уравнений по способу корреляции.

Наносим вычисленные и измеренные величины испарения по данным этой таблицы, получим на графике (рис. 7) ход изменения уровня в озере по наблюдениям и по вычислениям. Мы видим, что характер хода этих величин подобен, и грунтовой сток const для данного двухсуточного периода.

На графике вполне ясно видно, что в ночные часы испарение достигает своего минимума.

Таким образом уравнение испарения с поверхности Белого озера можно было бы принять при наблюдениях через 2—4 часа типа:

$$Z = 0,159 d \sqrt{w}, \quad (12)$$

или при наблюдениях три раза в сутки

$$Z = 0,195 d \sqrt{w}, \quad (13)$$

причем в первом дефицит влажности берется по данным наблюдений на высоте 2 м над озером, рассчитанный по t° поверхности озера, и поправки на изменение объема воды от нагрева и охлаждения для слоя озера

0—1 м	при ветре	0,5 м/сек
0—2 »	»	» 0,5—2 м/сек
0—3 »	»	» 2—4 м/сек.

Во втором — наблюдения над влажностью взяты на 0,10 м над поверхностью озера, но дефицит попрежнему взят в отношении воды, причем всегда допускалось, что t° воды озера до 5 м глубины следуют за температурой поверхностного слоя. Введенные нами поправки за счет изменения объемов воды к наблюдаемым колебаниям уровня вычислены по изменениям t° воды лишь на поверхности,

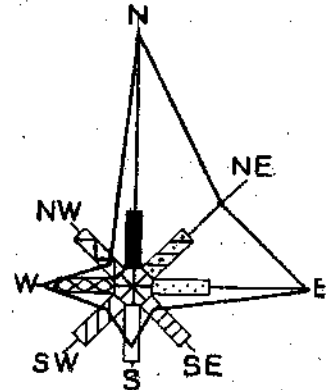


Рис. 5. Роза ветров за период с 5/VIII — по 13/IX 1934 г.

являются приближенными, что заставляет считать выведенные уравнения не окончательными, но для данного периода достаточно точными.

Произведенные работы являются первым этапом в изучении баланса озера. Они имели целью подойти к нахождению значений наиболее трудно поддающихся учету элементов его баланса, грунтового питания и испарения и можно думать, что дуть этот должен привести к весьма ценным результатам.

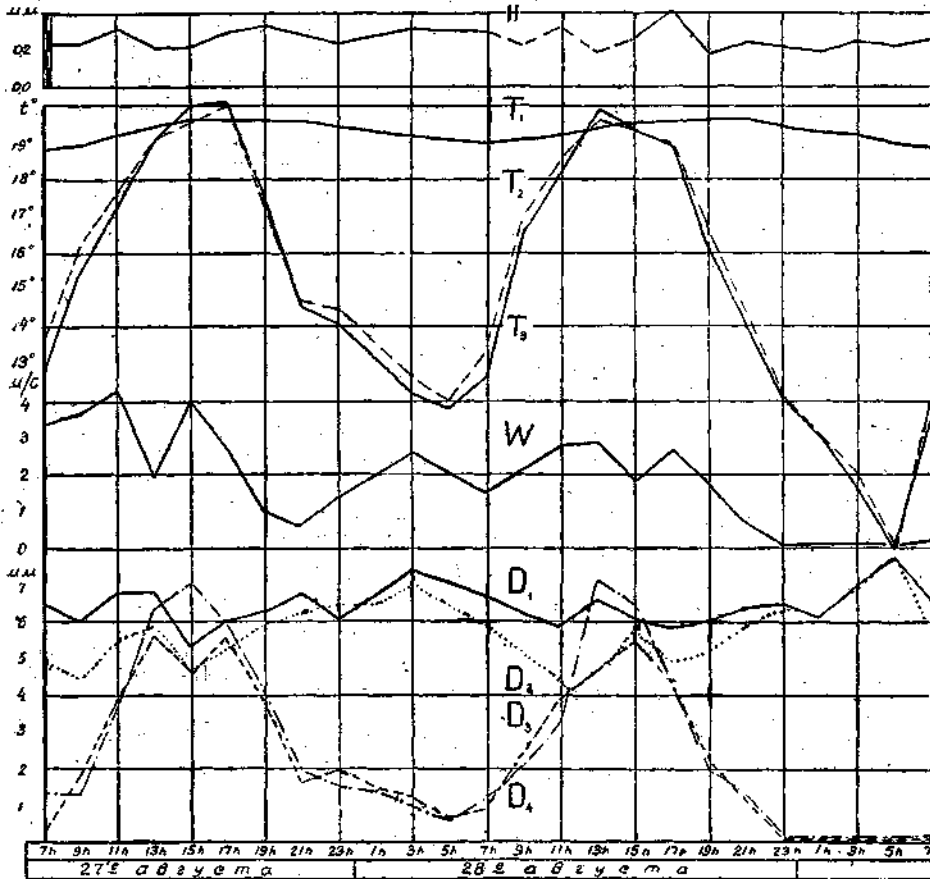


Рис. 6. Ход гидрометеорологических элементов за период с 7 час. 27/VIII по 7 час. 29/VIII—1934 г., где: H — наблюдаемые колебания уровня; T_1 — температура воды на 0,01 м; T_2 — температура воздуха на 0,1 м над поверхностью озера; T_3 — температура воздуха на 2 м над поверхностью озера; w — скорость ветра; D_1 — дефицит влажности на 2 м над поверхностью озера по температуре воды; D_2 — дефицит влажности на 0,1 м над поверхностью озера по температуре воды; D_3 — дефицит влажности на 2 м над поверхностью озера по температуре воздуха; D_4 — дефицит влажности на 0,1 м над поверхностью озера по температуре воздуха.

В дальнейших работах необходимо будет расширить наблюдения, во-первых, по линии организации метеостанции в районе озера, во-вторых, в постановке на самом озере ряда приборов, например: дождемер, пловучий испаритель, флюгер Вильда, причем желательна установка самописцев, позволяющих детальнее изучать ход явлений; затем необходимо усилить наблюдения над термическим режимом озера и соответствующим ходом его уровня в зависимости от температурных воздействий.

Кроме этого, надо организовать планомерные наблюдения над уровнем грунтовых вод и стоком поверхностных вод в озеро.

Постановка этих наблюдений и установка 2—3 приборов, позволяющих на-

блюдать микроколебания уровня озера, несомненно, дадут ценнейший, а может быть и единственный материал по изучению не только водного баланса озера в целом, но и хода во времени отдельных элементов, входящих в его водный баланс, причем мы полагаем, что удастся решить не только сложные вопросы получения истинной величины испарения с поверхности озер, но и разрешить более трудные вопросы, как например конденсация и осадки на поверхности озера.

В отношении испарения с поверхности озер, получаемого путем различных испарителей, надо иметь в виду, что они всегда его искажают, — в открытых водоемах помимо испарения как физического процесса происходит отрыв частиц ветром от гребней волн, при их разбивании, в испарителях этот процесс, конечно, не может развиваться нормально.

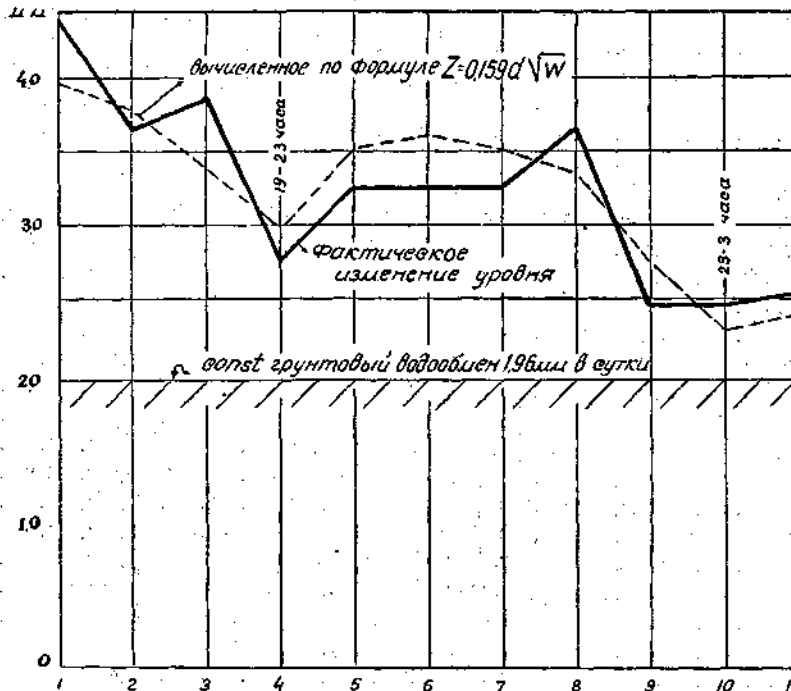


Рис. 7. Сопоставление кривых фактического хода уровня и вычисленного по формуле.

Указанный метод нахождения элементов водного баланса озер может быть применен и к изучению фильтрации через плотины искусственных озер — водохранилищ, что является интересным вопросом не только для гидротехников, но и для лимнологов.

Метод его получения заключался бы в следующем. Предположим, мы имеем пруд с плотиной без поверхностного притока. Требуется определить его грунтовое питание, испарение и фильтрацию. Допуская попрежнему, что в течение короткого срока грунтовый приток в водохранилище q' и отток — фильтрация через водохранилище — $r' = \text{const}$, мы могли бы получить для испарения и потерь на фильтрацию уравнение вида:

$$\Delta H = Z + dh, \quad (14)$$

где ΔH — общее падение уровня в озере за время T , Z — испарение за тот же период и dh — падение уровня, вследствие преобладания фильтрации r' над грунтовым притоком q' .

Таблица I

Гидрометеорологические элементы за

Месяц и число	Температура воздуха						Температура воды						Дефицит влажности воздуха											
	на 2 м над поверхностью			на 0,1 м над поверхностью			на 0,5 м			на 0,01 м			на 2 м над поверхностью озера			на 0,1 м над поверхностью озера								
	по температуре воздуха			по температуре воды			по температуре воздуха			по температуре воды			по температуре воздуха			по температуре воды								
	7 час.	13 час.	21 час.	7 час.	13 час.	21 час.	7 час.	13 час.	21 час.	7 час.	13 час.	21 час.	7 час.	13 час.	21 час.	7 час.	13 час.	21 час.						
УШ-5	14,6	18,6	14,9	15,1	19,3	15,3	20,6	21,1	20,7	20,5	21,0	20,7	0,58	4,87	2,31	6,18	6,45	7,91	0,57	5,29	1,84	5,78	7,15	7,11
» 6	14,6	16,6	16,3	15,2	16,9	16,5	19,8	19,7	19,8	19,9	19,7	19,8	1,78	3,07	3,0	6,62	6,11	6,30	1,15	1,24	2,88	5,52	4,01	5,90
» 7	14,7	18,6	15,8	15,3	19,1	15,9	19,2	19,4	19,1	19,1	19,2	19,2	1,74	3,87	2,26	5,78	4,28	5,48	1,64	2,78	1,76	5,18	2,88	4,98
» 8	14,9	22,7	17,1	15,3	22,5	17,5	18,9	19,9	20,0	18,9	19,3	20,0	2,01	3,39	2,02	5,57	5,49	4,84	1,64	8,14	1,70	4,87	5,13	4,24
» 9	14,6	22,9	17,1	15,1	22,5	17,1	19,4	20,8	21,0	19,3	20,9	21,0	1,48	8,54	2,42	5,79	6,14	6,45	1,27	7,61	2,32	5,19	5,72	6,35
» 10	15,6	23,2	16,1	16,3	23,2	16,6	19,8	21,4	20,9	19,8	21,4	20,9	1,19	8,82	1,22	5,22	6,61	6,04	1,20	8,32	1,37	4,62	6,11	5,74
» 11	15,6	23,6	16,5	16,2	23,2	16,7	20,1	21,0	20,8	20,1	20,9	20,8	1,29	9,74	1,68	5,64	6,44	6,02	1,31	8,32	1,86	5,14	5,65	6,02
» 12	16,3	24,5	18,6	16,6	24,1	17,6	20,2	21,0	21,9	20,1	21,2	21,9	1,60	9,70	2,17	5,34	5,58	5,81	1,67	8,61	1,29	5,14	4,98	5,91
» 13	17,1	24,6	19,1	17,3	24,3	19,1	20,8	21,6	21,9	20,4	21,6	21,8	1,42	9,00	2,68	4,77	5,15	5,69	0,91	7,83	2,88	4,52	4,55	5,42
» 14	16,8	22,6	16,1	17,1	22,4	15,3	21,0	21,3	21,1	21,0	21,4	20,8	1,55	5,69	0,00	5,85	4,11	4,72	1,32	4,82	0,00	5,96	3,50	5,65
» 15	14,1	20,7	16,5	14,4	21,3	16,6	20,7	21,4	21,0	20,8	21,4	20,9	0,56	4,31	0,28	6,92	5,11	3,95	0,70	4,98	0,17	6,71	5,21	4,76
» 16	16,8	25,8	19,8	17,0	25,4	20,0	20,6	21,5	22,1	20,6	21,5	22,2	0,55	10,51	1,82	4,40	4,83	4,57	0,63	8,23	2,34	4,37	3,18	4,61
» 17	17,3	21,0	18,4	17,8	21,2	18,3	21,4	21,5	21,4	21,4	21,5	21,3	0,91	1,95	0,67	5,21	2,53	3,80	0,88	1,78	0,27	4,71	2,23	3,61
» 18	16,2	21,1	19,4	16,5	21,2	19,6	21,0	22,6	22,2	21,0	22,7	22,2	0,11	3,16	1,19	4,95	5,09	4,37	0,1	3,18	0,90	4,76	4,97	3,87
» 19	13,6	23,6	23,6	14,1	23,3	20,3	20,9	21,3	21,5	21,1	21,4	21,6	0,68	6,94	2,30	7,76	4,21	3,45	0,46	6,15	1,26	7,16	3,81	2,73
» 20	15,1	14,8	12,6	15,3	15,4	12,7	21,0	20,8	20,4	21,0	20,8	20,3	0,47	0,32	0,14	5,25	6,12	7,05	0,14	0,12	0,49	5,75	5,42	6,37
» 21	12,2	13,6	12,7	12,7	14,2	13,1	19,5	19,3	18,9	19,5	19,2	18,9	0,26	0,08	0,21	6,60	6,08	5,57	0,11	1,34	1,20	6,10	5,88	6,27
» 22	12,0	18,6	15,1	12,6	19,1	16,6	18,6	19,6	19,4	18,6	19,6	19,4	0,12	1,97	0,17	5,67	3,00	4,29	0,00	6,08	2,17	5,17	4,60	4,89
» 23	13,3	20,0	14,5	14,3	19,1	15,1	18,8	18,8	20,1	18,8	19,8	20,0	0,55	7,24	1,68	5,37	7,02	6,84	0,32	4,98	1,67	4,37	6,72	6,34
» 24	12,1	19,1	15,1	12,7	18,7	14,4	18,9	19,8	20,3	18,8	19,8	20,5	0,99	5,98	1,37	6,67	6,72	6,58	0,21	4,58	1,10	5,47	5,72	6,88
» 25	12,5	20,6	16,3	13,1	20,6	16,3	19,3	20,1	20,0	19,3	20,0	20,0	0,64	6,80	0,30	6,49	6,14	3,94	0,30	6,00	0,30	5,79	5,34	3,94
» 26	15,8	19,8	15,5	16,1	17,1	15,5	19,8	19,7	19,5	19,8	19,7	19,4	0,00	1,65	2,00	3,82	4,51	5,69	0,00	1,40	1,60	3,62	4,01	5,30
» 27	13,0	19,0	14,6	13,6	19,1	14,7	18,8	19,4	19,7	18,8	19,1	19,7	1,43	6,38	2,06	6,47	6,79	6,81	0,38	5,58	1,74	4,97	5,89	6,41
» 28	12,7	19,9	14,1	13,3	19,4	14,3	19,0	19,4	19,6	18,9	19,4	19,6	1,21	7,13	1,36	6,57	6,59	6,40	0,95	4,69	0,92	5,87	4,69	5,80
» 29	11,3	17,9	14,6	11,9	18,1	15,1	18,9	19,4	19,8	18,8	20,2	19,7	0,24	5,36	2,06	6,47	7,75	6,81	0,00	5,28	2,07	5,87	7,45	6,42
» 30	12,0	17,1	13,7	12,2	17,5	13,6	18,8	19,4	19,4	18,7	19,4	19,3	0,12	3,82	0,96	5,77	6,08	5,99	0,16	4,10	0,68	5,67	5,99	5,78
» 31	13,8	17,5	14,6	14,2	18,0	14,6	18,7	18,6	18,9	18,7	19,0	18,9	0,00	3,70	0,86	4,37	5,18	4,77	0,00	3,68	0,88	4,07	4,88	4,77
IX-1	12,7	14,2	13,1	12,8	14,7	13,1	18,7	18,6	18,5	18,6	18,6	18,5	0,00	1,24	0,30	3,07	5,07	5,97	0,00	1,14	0,70	4,97	4,57	5,37
» 2	12,0	15,1	15,6	12,7	15,5	15,7	18,1	18,3	18,6	18,1	18,2	18,4	0,92	2,87	1,99	5,98	5,67	4,57	0,81	2,80	1,48	5,38	5,27	3,97
» 3	12,3	22,1	14,8	12,7	21,1	14,6	18,0	18,9	19,6	18,0	19,3	19,6	0,66	9,25	1,02	5,48	6,09	5,50	0,51	6,35	0,46	4,98	4,39	5,10
» 4	12,3	21,7	15,1	13,2	21,1	15,1	18,5	19,9	20,0	18,5	20,0	20,1	0,00	9,97	0,97	5,27	9,04	5,74	0,00	8,66	0,97	4,57	7,44	5,74
» 5	11,5	22,1	16,1	12,5	22,1	17,1	18,9	20,5	20,8	18,9	21,9	20,7	0,28	9,35	1,32	6,57	9,11	5,91	0,00	7,35	1,22	5,47	7,11	4,91
» 6	12,0	21,6	15,1	13,0	21,6	16,1	19,0	19,6	20,7	18,9	20,7	21,0	0,22	7,96	1,27	6,07	6,91	7,05	0,53	7,65	1,22	5,67	6,61	6,15
» 7	12,3	18,4	15,7	13,3	18,4	16,4	19,1	19,6	19,8	19,0	19,6	19,6	0,73	3,17	0,88	6,49	4,30	5,50	0,55	3,07	0,79	5,58	4,20	3,90
» 8	12,1	21,9	16,3	13,0	20,4	16,7	18,8	19,7	19,7	19,6	19,7	19,9	0,79	6,44	2,11	6,27	5,11	5,73	0,83	5,57	2,19	5,68	4,81	5,33
» 9	13,0	21,2	15,3	12,7	21,0	15,6	18,9	19,6	19,6	18,8	19,6	19,4	2,23	6,78	1,74	7,27	5,00	5,59	1,31	6,45	1,79	6,57	4,90	5,39
» 10	12,0	16,7	12,1	13,0	16,7	12,6	18,8	18,8	18,4	18,7	18,8	18,4	0,00	4,36	2,29	5,67	6,37	7,57	0,00	3,76	1,94	4,97	5,77	6,87
» 11	7,5	15,3	9,5	8,1	15,6	10,1	17,8	18,4	18,4	17,7	18,3	18,2	0,18	5,34	0,50	7,59	8,07	7,27	0,10	4,49	0,87	7,19	6,97	6,87
» 12	6,5	17,5	16,1	7,4	17,6	17,0	17,5	18,3	18,2	17,4	18,3	18,1	0,38	6,30	1,32	7,90	7,07	3,18	0,00	4,89	0,83	7,20	5,57	1,88
» 13	8,3	18,5	16,1	9,3	18,3	15,1	17,3	17,7	17,5	17,1	17,7	17,4	0,21	4,97	3,27	5,2	4,19	5,30	0,21	4,37	3,07	5,13	3,9	5,20

Т а б л и ц а I

период с 5/VIII по 13/IX 1934 г.

В е т е р									Осадки в мм	Изменения уровня, наблюдаемое по прибору в мм			Наблюдение изменения уровня за сутки в мм	Наблюдение изменения температуры воды за сутки	Поправка на изменение объема воды для слоя 0,5 м	Изменение уровня, исправленное на изменение объема
Скорость в м										7-13 ч.	13-21 ч.	21-7 ч.				
На 2 м над поверхностью озера			На 0,5 м над поверхностью озера			Направление										
7 час.	13 час.	21 час.	7 час.	13 час.	21 час.	7 час.	13 час.	21 час.								
2,5	4,8	2,9	2,0	3,2	3,2	N	N	NW	—	-1,28	-1,45	-2,42	-5,45	-0,8	+0,48	-4,97
4,2	2,7	2,1	3,3	2,7	1,8	NW	NNE	NNE	—	-1,18	-0,82	-1,45	-3,25	-0,6	+0,36	-2,89
3,5	5,1	1,5	2,7	3,4	1,3	N	NNE	N	—	-1,40	-1,16	-1,61	-4,17	-0,3	+0,18	-3,99
1,4	4,9	1,2	1,9	4,7	0,8	NE	N	N	—	—	—	—	-3,00	+0,5	-0,30	-3,30
0,0	2,1	0,8	0,3	1,6	0,9	N	N	SSW	—	-0,00	-1,45	-1,18	-2,53	+0,4	-0,24	-2,79
2,9	1,9	1,2	2,4	1,4	0,6	SW	W	SW	0,30	-0,51	-0,89	-1,31	-2,71	+0,3	-0,18	-2,95
1,6	2,7	1,4	1,6	2,0	1,2	SW	W	SW	—	-0,90	-1,52	-0,88	-3,20	+0,1	-0,06	-3,26
1,6	3,4	0,6	1,4	3,1	1,0	SW	W	N	—	—	—	—	-3,00	+0,6	-0,36	-3,36
2,2	4,1	0,0	1,0	3,3	0	SW	SW	—	—	—	—	—	-2,80	+0,2	-0,12	-2,92
3,2	6,0	1,8	2,7	3,9	1,3	W	SW	SW	0,05	-0,34	-1,63	-1,00	-3,47	-0,3	+0,18	-3,34
0,6	2,0	2,5	0,2	1,9	2,4	SW	S	S	20,10	-0,77	—	—	—	-0,1	+0,06	—
1,0	3,7	0,0	0,5	3,2	0,0	E	S	—	—	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	+0,8	-0,48	-0,48
1,4	3,6	0,0	1,4	3,0	0,0	E	SW	—	2,30	+0,37	-0,10	-0,55	-0,28	+0,4	+0,24	-2,84
0,0	2,0	2,0	0,2	1,9	2,3	E	E	E	1,10	-0,20	-0,25	-0,25	-0,20	-0,1	+0,05	-1,24
6,0	4,1	2,7	6,0	5,2	1,5	NE	S	S	0,70	-0,05	-0,70	-0,35	-1,10	+0,1	-0,06	-1,33
2,0	4,7	5,0	1,4	3,9	5,0	W	N	N	29,80	+1,25	—	—	—	-1,5	+0,90	—
3,8	5,6	1,9	2,9	3,5	1,5	NW	W	W	4,20	—	—	—	-1,00	-0,9	+0,54	-2,64
2,0	3,7	1,6	1,7	3,2	1,3	SW	SW	S	3,70	—	—	—	—	+0,2	-0,12	—
2,4	1,9	1,0	1,4	1,5	1,0	N	E	N	—	-0,40	-1,05	-1,20	-2,65	+0,1	-0,06	-2,77
1,5	2,1	1,0	1,0	2,1	2,6	W	N	W	—	-0,45	-1,00	-1,15	-2,60	+0,4	-0,24	-2,84
0,0	2,3	0,0	0,0	1,9	0,0	—	SW	S	3,40	-0,50	—	—	+1,40	+0,5	-0,30	-2,30
1,1	3,6	0,7	0,6	3,1	0,6	E	N	N	0,50	+0,35	-0,90	-0,95	-1,40	-1,0	+0,60	-1,10
3,4	3,1	0,6	2,7	2,1	0,6	N	N	N	—	-0,78	-1,14	-1,44	-3,36	+0,2	-0,12	-3,48
1,5	2,9	0,6	0,5	2,7	0,7	NNW	N	N	—	-0,88	-1,09	-1,13	-2,90	-0,1	+0,06	-2,84
0,2	0,7	1,2	0,2	0,6	0,7	N	E	NNE	—	-0,35	-0,62	-1,03	-2,00	-0,1	+0,06	-1,94
0,7	2,7	1,6	0,5	2,7	0,6	NNE	NNE	N	0,30	-0,55	—	—	-1,20	-0,1	+0,06	-1,44
1,3	1,5	0,8	1,6	1,0	0,5	N	N	N	0,20	—	—	—	-1,20	-0,0	0,00	-1,40
1,6	1,5	2,2	—	—	—	E	E	E	0,15	—	—	—	-1,35	-0,6	+0,36	-1,94
1,8	1,6	1,5	—	—	—	E	E	E	—	—	—	—	-1,80	-0,1	+0,06	-1,76
1,6	0,6	1,2	—	—	—	E	SE	NE	—	-0,40	-0,50	-0,90	-1,80	+0,5	-0,30	-2,10
0,0	1,7	0,0	—	—	—	—	W	—	—	-0,55	-0,45	-1,00	-2,00	+0,1	-0,24	-2,24
0,0	1,6	0,1	—	—	—	—	N	E	—	-0,40	-0,45	-0,55	-1,90	+0,1	-0,06	-1,96
0,0	1,2	1,6	—	—	—	—	W	N	—	-0,25	-0,15	-0,85	-1,25	+0,1	-0,06	-1,31
1,6	2,8	2,5	—	—	—	E	E	E	—	-0,40	-0,80	-0,50	-1,70	-0,3	+0,18	-1,52
3,0	3,3	1,6	—	—	—	E	E	NE	—	-0,75	-1,00	-1,00	-2,75	+0,1	-0,06	-2,81
0,7	3,0	1,2	—	—	—	NE	NE	NE	—	-0,80	-0,90	-1,40	-3,10	-0,1	+0,06	-3,04
2,7	4,1	3,5	—	—	—	NE	NE	NE	—	-0,85	-1,55	-1,70	-4,10	-1,0	+0,60	-3,50
1,2	0,7	0,9	—	—	—	NE	NE	E	—	-0,60	-0,85	-1,30	-2,75	-0,3	+0,18	-2,57
1,1	3,1	0,8	—	—	—	SW	W	W	—	-0,55	-0,80	-1,20	-2,55	-0,2	+0,12	-2,33
1,5	3,8	2,7	—	—	—	W	W	W	—	-0,90	-1,72	-1,38	-3,10	-0,3	+0,18	-2,92

Таблица II

Гидрометеорологические элементы за период с 7 час. 27/VIII до 7 час. 29/VIII 1934 г. по наблюдениям через 2 часа

Дата и час	Температура воздуха		Температура воды		Ветер на 2 м от поверхности озера		Дефицит влажности воздуха					Направление ветра в 2 часа		Осадки по пластинке
	на 2 м от поверхности озера	на 0,10 м от поверхности озера	на глубине 0,01 м	на глубине 0,5 м	направление	скорость	на 2 м от поверхности озера по фону на поверхности воздуха	на 2 м от поверхности озера по фону на поверхности воздуха	на 0,10 м от поверхности озера по фону на поверхности воздуха	на 0,10 м от поверхности озера по фону на поверхности воздуха	на 0,10 м от поверхности озера по фону на поверхности воздуха	в дельтах	в миклотрах	
27.VIII														
7	12,9	13,6	18,8	18,8	N	3,4	6,47	0,28	4,37	1,98	—	—	—	18-20
9	15,5	16,2	18,9	19,0	N	3,7	6,03	1,81	4,28	1,80	—	—	—	24-26
11	17,8	17,5	19,2	19,2	N	4,3	6,73	2,80	5,48	2,71	—	—	—	32-34
13	19,0	19,1	19,4	19,4	N	1,9	6,70	3,88	5,48	2,86	—	—	—	37-40
15	20,0	19,5	19,6	19,6	N	4,0	6,30	4,60	4,70	2,04	—	—	—	42-48
17	20,1	20,0	19,6	19,6	N	2,7	6,10	5,74	5,30	3,4	—	—	—	50-63
19	17,5	17,4	19,6	19,6	N	1,0	6,30	3,80	6,00	4,06	—	—	—	59-61
21	14,6	14,7	19,6	19,6	N	0,6	6,81	1,64	6,31	2,06	—	—	—	66
23	14,1	14,5	19,4	19,4	N	1,4	6,09	1,98	6,49	1,58	—	—	—	73
28.VIII														
1	13,2	13,6	19,3	19,3	N	2,0	6,70	1,50	6,48	1,40	—	—	—	80-82
3	12,2	12,5	19,2	19,2	N	2,7	7,38	1,24	6,98	0,86	—	—	—	83-89
5	11,8	12,0	18,1	18,1	N	2,0	7,10	0,70	6,45	0,60	—	—	—	95,5-96,5
7	12,7	13,8	19,0	19,0	N	1,5	6,68	0,95	5,92	1,21	—	—	—	103-104
9	16,6	17,0	19,1	19,1	N	2,1	6,20	2,60	5,15	2,10	—	—	—	Намечен туман
11	18,1	18,5	19,2	19,2	N	2,8	5,88	3,93	4,33	2,28	—	—	—	Угасает
13	19,9	19,5	19,4	19,4	N	2,9	6,59	4,70	4,69	2,28	—	—	—	183-190
15	19,3	19,3	19,5	19,5	N	1,8	6,10	5,51	5,23	2,13	—	—	—	193-197
17	18,9	19,0	19,6	19,6	N	2,7	6,80	4,68	6,80	6,60	—	—	—	203-204
19	16,1	16,5	19,6	19,6	N	1,7	6,60	2,32	5,19	4,27	—	—	—	216,5-217
21	14,1	14,4	19,6	19,6	N	0,6	6,40	1,10	5,90	2,02	—	—	—	222
23	13,1	13,1	19,4	19,4	N	0,1	6,49	0,68	6,38	0,09	—	—	—	230
29.VIII														
1	11,1	11,1	19,3	19,3	N	0,1	6,13	0,00	6,17	0,00	—	—	—	243
3	9,7	10,0	19,2	19,2	N	0,1	7,00	0,00	6,87	0,00	—	—	—	261
5	8,0	8,1	19,0	19,0	N	0,1	7,73	0,00	7,77	0,00	—	—	—	268
7	11,3	12,0	18,9	18,9	N	0,2	6,57	0,00	5,77	0,00	—	—	—	268

Т а б л и ц а III

№ по порядку	Периоды (часы)	Дефицит влаги, средн. за 4 часа		Скорость ветра (средн.) за 4 часа (на 2 м)	Изменение уровня за 4 часа в (мм)	Изменение уровня вследствие изменения ρ воды	Изменение ρ воды за 4 часа (на поверхность)	Исправление изменения уровня за 4 часа	Исправление изменения уровня, проведенные к суткам
		на 2 м над поверхностью озера	на 0,1 м						
1	7-11	6,43	4,82	3,8	- 0,56	+ 0,17	+ 0,4	- 0,73	- 4,38
2	11-15	6,29	5,49	3,4	- 0,44	+ 0,17	+ 0,4	- 0,61	- 3,66
3	15-19	5,90	5,32	2,6	- 0,64	0,00	0,0	- 0,64	- 3,84
4	19-23	6,40	6,28	1,0	- 0,52	- 0,06	- 0,2	- 0,46	- 2,76
5	23-3	6,72	6,61	2,0	- 0,60	- 0,08	- 0,2	- 0,54	- 3,24
6	3-7	6,72	6,45	2,0	- 0,60	- 0,06	- 0,2	- 0,54	- 3,24
7	7-11	6,25	5,16	2,1	-	-	-	-	-
8	11-15	6,19	4,85	2,5	- 0,45	+ 0,09	+ 0,3	- 0,54	- 3,24
9	15-19	5,97	5,22	2,1	- 0,58	+ 0,03	+ 0,1	- 0,61	- 3,66
10	19-23	6,30	5,85	0,8	- 0,4	- 0,06	- 0,2	- 0,41	- 2,46
11	23-3	6,54	6,38	0,1	- 0,44	- 0,03	- 0,2	- 0,41	- 2,46
12	3-7	7,10	6,75	0,1	- 0,47	- 0,05	- 0,3	- 0,42	- 2,52

Если в районе водохранилищ поставлены работы над измерениями уровня грунтовых вод, то, зная ряд стояний их уровня, можно написать уравнения притока воды в водохранилище

$$q' = LH_1 k i_1 \tag{15}$$

Для второго стояния

$$q'_2 = LH_2 k i_2 \tag{16}$$

Произведение LH_1 — площадь грунтового питания — можно считать для водохранилищ до некоторой степени величиной постоянной, особенно, если уровень в водохранилище изменяется мало, тогда:

$$\frac{q'_1}{q'_2} = \frac{k i_1}{k i_2} \tag{17}$$

но $i_1 = \frac{\Delta h_1}{l}$ и $i_2 = \frac{\Delta h_2}{l}$, где Δh_1 и Δh_2 — возвышение уровня грунтовых вод над зеркалом водохранилища, а l — среднее расстояние до зеркала.

Подставляя вместо i_1 и i_2 их значения получим: $\frac{q'_1}{q'_2} = \frac{\Delta h_1}{\Delta h_2} \tag{18}$

Очевидно, когда Δh будет мало, значение i будет мало и грунтовый приток будет мал; выбирая такие моменты, можно получить уравнение:

$$dH = Z + r'$$

уравнение, элементы которого легко определяются после ряда наблюдений.

Приводимые соображения и некоторые выводы надо рассматривать как предварительные, в результате же продолжения работ надо ожидать получения хода во времени всех элементов, составляющих водный баланс с предельной в настоящее время точностью.

Т а б л и ц а IV

Возможные поправки к наблюдаемым колебаниям уровня

Месяц и число	Изменение температуры воды			При изменении t° в слое 0—1 м			При изменении t° в слое 0—2 м		
	7—13 ч.	13—21 ч.	21—7 ч.	7—13 ч.	13—21 ч.	21—7 ч.	7—13 ч.	13—21 ч.	21—7 ч.
VIII—5	+ 0,5	- 0,3	- 0,9	+ 0,08	- 0,06	- 0,15	+ 0,16	- 0,09	- 0,28
» 6	+ 0,1	- 0,1	- 0,5	- 0,02	+ 0,02	- 0,10	- 0,03	+ 0,03	- 0,19
» 7	+ 0,1	0,0	- 0,4	+ 0,03	0,00	- 0,03	+ 0,06	0,00	- 0,16
» 8	+ 0,5	+ 0,7	- 0,7	+ 0,17	+ 0,02	- 0,10	+ 0,31	+ 0,03	- 0,19
» 9	+ 1,6	+ 0,1	- 1,2	+ 0,23	+ 0,03	- 0,20	+ 0,43	+ 0,06	- 0,37
» 10	+ 1,6	- 0,5	- 0,8	+ 0,28	- 0,08	- 0,13	+ 0,50	- 0,06	- 0,25
» 11	+ 0,8	- 0,1	- 0,7	+ 0,13	- 0,03	- 0,10	+ 0,28	- 0,03	- 0,19
» 12	+ 1,2	+ 0,7	- 1,5	+ 0,13	+ 0,15	- 0,18	+ 0,25	+ 0,28	- 0,34
» 13	+ 1,2	+ 0,2	- 0,8	+ 0,13	+ 0,05	- 0,15	+ 0,25	+ 0,09	- 0,28
» 14	+ 0,4	- 0,6	0,0	+ 0,05	- 0,03	- 0,07	+ 0,16	- 0,06	- 0,12
» 15	+ 0,6	- 0,5	- 0,3	+ 0,12	- 0,07	- 0,07	+ 0,22	- 0,12	- 0,12
» 16	+ 0,9	+ 0,7	- 0,8	+ 0,15	+ 0,10	- 0,12	+ 0,28	+ 0,19	- 0,22
» 17	+ 0,1	- 0,2	- 0,3	+ 0,02	- 0,02	- 0,07	+ 0,03	- 0,03	- 0,12
» 18	+ 1,7	- 0,5	- 1,1	+ 0,26	- 0,07	- 0,21	+ 0,50	- 0,12	- 0,40
» 19	+ 0,3	+ 0,2	- 0,6	+ 0,07	+ 0,03	- 0,03	+ 0,12	+ 0,06	- 0,16
» 20	- 0,2	- 0,5	- 0,3	- 0,03	- 0,07	- 0,15	- 0,06	- 0,12	- 0,28
» 21	- 0,3	- 0,3	- 0,3	- 0,03	- 0,07	- 0,05	- 0,06	- 0,12	- 0,09
» 22	+ 1,0	- 0,2	- 0,6	+ 0,17	- 0,03	- 0,10	+ 0,31	- 0,06	- 0,19
» 23	+ 1,0	+ 0,2	- 1,2	+ 0,17	+ 0,05	- 0,20	+ 0,31	+ 0,09	- 0,37
» 24	+ 1,0	+ 0,7	- 1,2	+ 0,15	- 0,08	- 0,17	+ 0,28	+ 0,16	- 0,31
» 25	+ 0,7	0,0	- 0,2	+ 0,13	- 0,02	- 0,03	+ 0,25	- 0,03	- 0,06
» 26	- 0,1	- 0,3	- 0,6	- 0,02	- 0,03	- 0,12	- 0,03	- 0,06	- 0,22
» 27	+ 0,6	+ 0,3	- 0,8	+ 0,10	+ 0,05	- 0,12	+ 0,19	+ 0,09	- 0,22
» 28	+ 0,5	+ 0,2	- 0,8	+ 0,07	+ 0,03	- 0,12	+ 0,13	+ 0,06	- 0,22
» 29	+ 1,4	+ 0,5	- 1,0	+ 0,08	+ 0,07	- 0,17	+ 0,16	+ 0,13	- 0,31
» 30	+ 0,7	- 0,1	- 0,6	+ 0,10	0,00	- 0,12	+ 0,19	0,00	- 0,22
» 31	+ 0,3	- 0,1	- 0,3	+ 0,03	+ 0,05	- 0,05	+ 0,03	+ 0,09	- 0,09
IX—1	- 0,1	0,0	- 0,4	- 0,02	- 0,02	- 0,07	- 0,03	- 0,03	- 0,12
» 2	+ 0,1	+ 0,2	- 0,4	+ 0,03	+ 0,05	- 0,10	+ 0,06	+ 0,09	- 0,19
» 3	+ 1,3	+ 0,3	- 1,1	+ 0,15	+ 0,12	- 0,18	+ 0,28	+ 0,22	- 0,34
» 4	+ 1,5	+ 0,1	- 0,2	+ 0,23	+ 0,02	- 0,18	+ 0,43	+ 0,03	- 0,34
» 5	+ 3,0	- 1,2	- 1,8	+ 0,26	- 0,05	- 0,30	+ 0,50	+ 0,09	- 0,56
» 6	+ 1,8	+ 0,3	- 2,0	+ 0,10	+ 0,18	- 0,26	+ 0,19	+ 0,34	- 0,50
» 7	+ 0,6	0,0	- 1,0	+ 0,07	- 0,03	- 0,17	+ 0,13	+ 0,06	- 0,31
» 8	+ 1,1	- 0,2	- 0,1	+ 0,15	0,00	- 0,13	+ 0,29	0,00	- 0,25
» 9	+ 0,8	- 0,2	- 0,7	+ 0,12	0,00	- 0,13	+ 0,22	0,00	- 0,25
» 10	+ 0,1	- 0,4	- 0,7	0,00	- 0,07	- 0,10	0,00	- 0,13	- 0,19
» 11	+ 0,6	- 0,1	- 0,8	+ 0,10	0,00	- 0,15	+ 0,19	0,00	- 0,28
» 12	+ 0,9	- 0,2	- 1,0	+ 0,13	- 0,02	- 0,15	+ 0,25	- 0,03	- 0,28
» 13	+ 0,6	- 0,3	- 0,6	+ 0,07	- 0,03	- 0,08	+ 0,13	- 0,06	- 0,16
» 14	+ 0,1	- 0,2	- 0,7	0,00	- 0,05	- 0,12	0,00	- 0,09	- 0,22
» 15	- 0,4	+ 0,1	- 0,9	- 0,05	- 0,05	- 0,13	- 0,09	- 0,09	- 0,25

за счет изменения объема воды при различных t°

При изменении t° в слое 0—3 м			При изменении t° в слое 0—4 м			При изменении t° в слое 0—5 м		
7—13 ч.	13—21 ч.	21—7 ч.	7—13 ч.	13—21 ч.	21—7 ч.	7—13 ч.	13—21 ч.	21—7 ч.
+ 0,22	- 0,13	- 0,39	+ 0,27	- 0,16	- 0,48	+ 0,30	- 0,18	- 0,54
- 0,04	+ 0,04	- 0,26	- 0,05	+ 0,05	- 0,32	- 0,06	+ 0,06	- 0,36
+ 0,00	0,00	- 0,22	+ 0,10	0,00	- 0,27	+ 0,12	0,00	- 0,30
+ 0,44	+ 0,04	- 0,26	+ 0,54	+ 0,05	- 0,32	+ 0,60	+ 0,03	- 0,36
+ 0,61	+ 0,04	- 0,52	+ 0,75	+ 0,11	- 0,64	+ 0,84	0,00	- 0,30
+ 0,70	- 0,22	- 0,35	+ 0,83	- 0,27	- 0,43	+ 0,96	- 0,30	- 0,48
+ 0,40	- 0,00	- 0,26	+ 0,48	- 0,11	- 0,32	+ 0,54	- 0,12	- 0,36
+ 0,35	+ 0,40	- 0,48	+ 0,43	+ 0,48	- 0,59	+ 0,48	+ 0,54	- 0,66
+ 0,35	+ 0,13	- 0,40	+ 0,43	+ 0,16	- 0,48	+ 0,48	+ 0,18	- 0,54
+ 0,13	- 0,00	- 0,18	+ 0,16	- 0,11	- 0,21	+ 0,18	- 0,12	- 0,24
+ 0,31	- 0,18	- 0,18	+ 0,37	- 0,21	- 0,21	+ 0,42	- 0,24	- 0,24
+ 0,40	- 0,25	- 0,31	+ 0,48	+ 0,32	- 0,37	+ 0,54	+ 0,36	- 0,42
+ 0,04	- 0,04	- 0,18	+ 0,05	- 0,05	- 0,21	+ 0,06	- 0,06	- 0,24
+ 0,70	- 0,18	- 0,57	+ 0,86	- 0,21	- 0,70	+ 0,84	- 0,24	- 0,78
+ 0,18	+ 0,09	- 0,22	+ 0,21	+ 0,11	- 0,27	+ 0,24	+ 0,12	- 0,30
- 0,09	- 0,18	- 0,40	- 0,11	- 0,21	- 0,48	- 0,12	- 0,24	- 0,54
- 0,09	- 0,18	- 0,13	- 0,11	- 0,21	- 0,16	- 0,12	- 0,24	- 0,28
+ 0,44	- 0,09	- 0,26	+ 0,54	- 0,21	- 0,32	+ 0,60	- 0,12	- 0,36
+ 0,44	+ 0,13	- 0,52	+ 0,54	- 0,16	- 0,64	+ 0,60	+ 0,18	- 0,72
+ 0,40	+ 0,22	- 0,44	+ 0,48	+ 0,27	- 0,54	+ 0,54	+ 0,30	- 0,60
+ 0,35	- 0,04	- 0,00	+ 0,43	- 0,05	- 0,11	+ 0,48	- 0,03	- 0,12
- 0,04	- 0,09	- 0,31	- 0,05	- 0,11	- 0,37	- 0,06	- 0,12	- 0,42
+ 0,26	+ 0,13	- 0,31	+ 0,32	+ 0,16	- 0,37	+ 0,36	+ 0,18	- 0,42
+ 0,18	+ 0,09	- 0,31	+ 0,21	+ 0,11	- 0,37	+ 0,24	+ 0,12	- 0,42
+ 0,22	+ 0,18	- 0,41	+ 0,27	+ 0,21	- 0,54	+ 0,30	+ 0,24	- 0,60
+ 0,26	0,00	- 0,31	+ 0,32	0,00	- 0,37	+ 0,36	0,00	- 0,42
+ 0,04	+ 0,13	- 0,13	+ 0,05	+ 0,16	- 0,16	+ 0,06	+ 0,18	- 0,18
- 0,04	- 0,04	- 0,18	- 0,05	- 0,05	- 0,21	- 0,06	- 0,06	- 0,24
+ 0,06	+ 0,13	- 0,26	+ 0,11	+ 0,16	- 0,32	+ 0,12	+ 0,18	- 0,36
+ 0,40	+ 0,31	- 0,48	+ 0,48	+ 0,37	- 0,59	+ 0,54	+ 0,42	- 0,66
+ 0,61	+ 0,04	- 0,48	+ 0,75	+ 0,05	- 0,59	+ 0,84	+ 0,06	- 0,66
+ 0,70	+ 0,13	- 0,79	+ 0,86	+ 0,16	- 0,96	+ 0,96	+ 0,18	- 0,96
+ 0,26	+ 0,48	- 0,70	+ 0,32	+ 0,59	- 0,36	+ 0,36	+ 0,65	- 0,66
+ 0,18	+ 0,09	- 0,44	+ 0,21	+ 0,11	- 0,54	+ 0,24	+ 0,12	- 0,60
+ 0,40	0,00	- 0,35	+ 0,48	0,00	- 0,43	+ 0,54	0,00	- 0,48
+ 0,31	0,00	- 0,35	+ 0,37	0,00	- 0,43	+ 0,43	0,00	- 0,48
0,00	- 0,18	- 0,26	0,00	- 0,21	- 0,32	0,00	- 0,24	- 0,36
+ 0,26	0,00	- 0,40	+ 0,32	0,00	- 0,48	+ 0,36	0,00	- 0,54
+ 0,35	- 0,04	- 0,40	+ 0,43	- 0,05	- 0,48	+ 0,48	- 0,06	- 0,54
+ 0,18	+ 0,09	- 0,22	+ 0,21	- 0,11	- 0,27	+ 0,24	- 0,12	- 0,30
0,00	- 0,18	- 0,31	0,00	- 0,16	- 0,37	0,00	- 0,18	- 0,42
- 0,13	- 0,13	- 0,35	- 0,16	- 0,16	- 0,43	- 0,18	- 0,18	- 0,48

4 Труды Лимнологической Станции.

Т а б л и ц а V

№ по порядку	d	w	Δh	R	$\Delta Z\%_{\text{макс}}$	$\Delta Z\%_{\text{сред.}}$	У р а в н е н и е
1	На 2 м	\sqrt{w}	1 м 0,5 м/с 2 м 0,5—2 м/с 3 м 2—4 м/с	0,78	- 13%	9%	$Z = 0,159d \sqrt{w} + 1,96$
2	На 2 м	\sqrt{w}	3 м	0,81	16%	10%	$Z = 0,183d \sqrt{w} + 1,68$
3	На 2 м	w	5 м	0,87	22%	13%	$Z = 0,108dw + 1,83$
4	На 2 м	w	1 м 0,5 м/с 2 м 0,5—2 м/с 3 м 2—4 м/с	0,83	- 13%	7%	$Z = 0,068tw + 2,42$
5	На 0,10 м	\sqrt{w}	5 м	0,83	- 9%	6%	$Z = 0,195d \sqrt{w} + 1,40$

d — принятый дефицит в отношении t° воды на поверхности озера, w — скорость ветра, Δh — высота слоя, для которого введены поправки за счет изменения объема воды от изменения ее t° к наблюдаемым колебаниям уровня, в двух случаях — 1-м и 4-м поправка взята в зависимости от наблюдавшейся скорости ветра: чем скорость была больше, тем большая глубина слоя была взята в расчет на изменение t° , R — коэффициент корреляции, $\Delta Z\%$ — максимальные отклонения величин испарения, $(\Delta Z\%)^2$ — средние квадратичные отклонения колебаний уровня, вычисленных по уравнению, от фактических.

К таблице VI.

Коэффициент изменчивости:

$$C_{v_x} = \sqrt{\frac{\sum (k_x - 1)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{1,9689}{10}} = 0,44$$

$$C_{v_y} = \sqrt{\frac{\sum (k_y - 1)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,3921}{10}} = 0,20$$

Коэффициент корреляции:

$$r = \frac{\sum (k_x - 1)(k_y - 1)}{n \cdot C_{v_x} \cdot C_{v_y}} = \frac{+0,7556}{11 \cdot 0,44 \cdot 0,20} = +0,78.$$

Вероятная ошибка коэффициента корреляции:

$$E_{r_x} = \pm 0,674 \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}} = 0,674 \cdot \frac{1 - 0,78^2}{\sqrt{11}} = \pm 0,08.$$

$$r = +0,78 \pm 0,08.$$

Коэффициент при x :

$$R_{\frac{y}{x}} = r \frac{C_y}{C_x},$$

$$\sigma_x = \bar{x} C_{v_x} = 7,9 \cdot 0,44 = 3,18,$$

$$\sigma_y = \bar{y} C_{v_y} = 3,22 \cdot 0,20 = 0,64,$$

$$R_{\frac{y}{x}} = 0,78 \cdot \frac{0,64}{3,18} = 0,159.$$

Уравнение:

$$y - \bar{y} = R_{\frac{y}{x}} (x - \bar{x})$$

$$y = 0,159x + (\bar{y} - 0,159\bar{x}) = 0,159x + (3,22 - 0,159 \cdot 7,9),$$

$$y = 0,159x + 1,96.$$

Среднее квадратичное отклонение вычисленных y от измеренных равно 9%.

№ по порядку	Периоды (часы)	x_1	y^2	k_{x^3}	k_{y^4}	k_{x-1}	k_{y-1}	$(k_x - 1)^2$	$(k_y - 1)^2$	$(k_x - 1)(k_y - 1)$	Измеренное изменение уровня	Вычисленное изменение уровня	Разхождение между вычисленным и измеренным изменением уровня	Расхождение между вычисленным и измеренным изменением уровня в ‰
1	7—11	12,5	4,38	1,58	1,36	+ 0,58	+ 0,35	0,3364	0,1225	+ 0,2088	4,38	3,95	- 0,43	- 10
2	11—15	11,4	3,85	1,45	1,14	+ 0,45	+ 0,14	0,2025	0,0193	+ 0,0520	3,66	3,77	+ 0,11	+ 3
3	15—19	9,0	3,84	1,14	1,30	+ 0,14	+ 0,20	0,0193	0,0400	+ 0,0280	3,84	3,39	- 0,45	- 12
4	19—23	6,4	2,76	0,81	0,85	- 0,19	- 0,14	0,0361	0,0195	+ 0,0253	2,76	2,98	+ 0,22	+ 8
5	23—3	9,8	3,24	1,24	1,00	+ 0,24	0,00	0,0576	0,0000	0,0000	3,24	3,52	+ 0,28	+ 9
6	3—7	10,3	3,24	1,30	1,00	+ 0,30	0,00	0,0900	0,0000	0,0000	3,24	3,60	+ 0,36	+ 11
7	11—15	9,7	3,24	1,23	1,00	+ 0,23	0,10	0,0529	0,0000	0,0000	3,24	3,50	+ 0,26	+ 8
8	15—19	8,4	3,66	1,05	1,14	+ 0,03	+ 0,14	0,0009	0,0193	+ 0,0084	3,66	3,30	- 0,34	- 9
9	19—23	4,9	2,43	0,62	0,76	- 0,38	- 0,24	0,1444	0,0576	+ 0,0912	2,43	2,74	+ 0,28	+ 11
10	23—3	2,0	2,43	0,25	0,76	- 0,75	- 0,24	0,5625	0,0576	+ 0,1800	2,43	2,23	- 0,18	- 7
11	3—7	2,5	2,52	0,32	0,78	- 0,68	- 0,22	0,4624	0,0484	+ 0,1493	2,52	2,36	- 0,16	- 6
Сумма		83,9	35,46	11,00	11,00	0,00	0,00	1,9637	0,3921	+ 0,7553	—	—	—	—
Средн.		$\bar{x}=7,9$	$\bar{y}=3,23$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

1 x — произведение дефланта на корень квадратный из скорости ветра ($d \sqrt{v}$). $k_x = \frac{x}{x_0}$

2 y — изменение уровня озера, привнесенное в сутким (надлежит полевому). $k_y = \frac{y}{y_0}$