

ЦЕНТРАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ЕДИНОЙ ГИДРО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ СССР

ТРУДЫ
ЛИМНОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ
В КОСИНЕ

18

ARBEITEN DER LIMNOLOGISCHEN STATION ZU KOSSINO
DER HYDROMETEOROLOGISCHEN ADMINISTRATION DER USSR

ИЗДАНИЕ
ЦЕНТР. УПР. ЕДИНОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ СССР
МОСКВА — MOSKAU
1934

ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ ФОТОСИНТЕЗА И ДЫХАНИЯ В ВОДНОЙ МАССЕ ОЗЕРА. К ВОПРОСУ О БАЛАНСЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА.

(СООБЩЕНИЕ I.)

Г. Г. Винберг.

Все многочисленные и разнообразные превращения, которым подвергаются органические вещества в озере, с энергетической стороны должны быть разделены на процессы, приводящие к увеличению общего запаса органических соединений водоема и на процессы приводящие к уменьшению его. Процессы первого рода идут с поглощением энергии и могут совершаться только при участии живых организмов, с помощью фото-или хемосинтеза. В противоположность этому, разрушение органических соединений сопровождается освобождением энергии и может совершаться, как при посредстве живых организмов при дыхании и брожении, так и путем окисления без их участия.

В первом приближении следует принять, что увеличение общего запаса потенциальной химической энергии в форме органических соединений в водоеме, помимо поступления готовых органических веществ извне, может идти только за счет фотосинтеза. Необходимо помнить, что увеличение биомассы гетеротрофных организмов ведет к уменьшению суммарного количества находящегося в водоеме органического вещества, а следовательно и заключенной в нем энергии. Построение биомассы гетеротрофных организмов возможно только при затрате части энергии, выделяемой при окислении органических соединений пищи. В равной мере и жизнедеятельность хемосинтетических бактерий в огромном большинстве случаев идет за счет уменьшения общего запаса потенциальной химической энергии находящегося в водоеме органического вещества, т. к. почти все используемые хемосинтетическими бактериями соединения являются продуктами неполного окисления органических веществ, что справедливо по отношению к аммиаку, сероводороду, водороду, метану и другим углеводородам, встречающимся в озерах. Нет никаких оснований считать, по меньшей мере по отношению к водоемам обычного типа, что поступление извне соединений, окисление которых может служить источником энергии для хемосинтетических бактерий, в количественном отношении играет заметную роль в общем круговороте органического вещества в водоеме.

Противоположные процессы разрушения органического вещества и уменьшения общих запасов энергии, идущие при посредстве организмов или без них, в конечном итоге приводят к окислению. В огромном большинстве случаев, если не всегда, полному окислению подвергаются не все образующееся в водоеме или поступающее в него органическое вещество и часть его удаляется при наличии поверхностного стока из озера, в виде вылетающих насекомых, вылавливаемой человеком рыбы, выделяемых иловыми отложениями газов и пр.

Еще большее значение имеет то, что часть органических соединений в известной мере выключается из биологического круговорота, переходя в относительно более стабильное состояние в форме органических дойных отложений.

Современная лимнология не располагает методами, позволяющими получать количественную характеристику этих процессов. Настоящая работа и является

попыткой подойти к изучению некоторых сторон органического баланса водоема, причем в целях первоначального упрощения задачи не по отношению к целому озеру, а только по отношению к водной массе его.

Выше показано, что, если оставить в стороне поступление в водоем готовых органических соединений извне, то фотосинтез следует рассматривать в качестве единственного процесса, приводящего к увеличению общего запаса органических соединений. Общеизвестно, что при фотосинтезе происходит разложение углекислого газа и выделение кислорода, количество которого строго пропорционально количеству образуемого продукта фотосинтеза, а следовательно и количеству поглощенной энергии. В случае когда первичным продуктом фотосинтеза является глюкоза, 1 мг выделенного кислорода соответствует поглощению 3,51 кал. Первичные продукты фотосинтеза у многих планктонных водорослей в особенности диатомовых и синезеленых не изучены. Однако для энергетических расчетов возможно принять, что углеводы (глюкоза) являются универсальным продуктом фотосинтеза, что, по всей вероятности, не далеко от истины. Это, в известной мере, произвольное допущение не может существенно отразиться на результате энергетических расчетов в тех случаях, когда они основываются на количестве выделенного кислорода, т. е. если даже допустить, что продуктом фотосинтеза может являться жир, то и в этом крайнем случае поглощение энергии на единицу кислорода всего на 9,4% меньше (3,28 кал на мг кислорода).

При обратном фотосинтезу процессе окисления соответственные количества энергии освобождаются при поглощении 1 мг кислорода, т. е. при полном окислении жира на 1 мг кислорода выделяется 3,28 кал. при полном окислении углеводов на 1 мг кислорода 3,51 кал.

Очевидно, что измеряя интенсивность выделения кислорода, в результате фотосинтеза планктонных водорослей и интенсивность поглощения его вследствие дыхания и окисления, возможно непосредственно получить скорость образования и разрушения органических веществ в воде и изучать зависимость этих процессов от условий.

В дальнейшем изложены первые результаты, полученные при применении этого метода на озерах Белом и Святом в Косине.

МЕТОДИКА.

Для определения интенсивности поглощения и выделения кислорода была применена описываемая ниже методика. С помощью простой установки, устройство которой достаточно ясно из рис. 1, в озеро погружались склянки с притертыми пробками объемом около 800 куб см, наполненные водой, взятой с той же глубины, на которую устанавливалась данная склянка. При наполнении отмечалась температура воды и бралась из того же батометра проба для определения кислорода. По истечении суток измерялась температура, вынималась установка и из каждой склянки с помощью сифона отбиралась проба для определения кислорода.

В Белом озере установка опускалась в определенном месте на глубине 7 м. В Святом озере также в центральной части на глубине 4 м, которая близка к максимальной для этого озера. Вода для заполнения склянок бралась батометром с поверхности и следующих глубин: 0,5 м, 1,5 м, 2,5 м и в некоторых случаях с глубины 4,5 м.

Вследствие местных условий работы и характера установки, фактический уровень, на котором находились склянки, несколько различался в отдельные дни наблюдения и не мог быть точно измерен, что должно было отрицательно отразиться на точности данных. Колебание глубины, на которой находились склянки не превышали 0,5 м и в среднем склянки находились на глубине: 0,75 м, 1,75 м и 2,75 м в Белом озере и 0,5 м, 1,5 м и 2,5 м в Святом. Склянки с поверхностной водой наполнялись в том же месте озера, но устанавливались в другой части его у самой поверхности воды. Время, в течение которого склянки находились в

озере, не всегда точно равнялось 24 час., вследствие того, что сам процесс наполнения склянок, опускания, поднятия, установки и пр. занимает значительное время (до 1 часа). Это обстоятельство также не могло не вызвать некоторые различия в данных.

На каждую глубину устанавливались 4 склянки, две из которых были зачернены и завернуты в темную клеенку. В затемненной склянке фотосинтез исключен, в то время как в светлой в течение дня идет одновременно и выделение и поглощение кислорода. Соответственно этому в темных склянках за сутки происходит уменьшение содержания кислорода, величина которого непосредственно дает интенсивность поглощения его в данных условиях.¹ Изменение же содержания кислорода в незатемненной склянке равняется разности интенсивностей противоположно направленных процессов: фотосинтеза и дыхания, которая может быть как положительной так и отрицательной, в зависимости от условий. После суточной экспозиции разность содержания кислорода в темной склянке и в соответствующей светлой дает интенсивность фотосинтеза.

Интенсивность дыхания и фотосинтеза в тексте в таблицах везде выражены в *мл* кислорода на литр за сутки. Каждая цифра, приведенная в таблицах является средним арифметическим из определений в двух параллельных склянках. 0

Для количественного учета планктона, результаты которого приведены на табл. IX, X, XI пробы воды брались из банок после суточной экспозиции в озере, таким образом количественно учитывался планктон тех образцов воды, интенсивность дыхания и фотосинтеза которых измерялась. В виду большого количества синезеленых водорослей подсчет их производился непосредственно в камере Кольвица без сгущения. Зоопланктон просчитывался в осадочном планктоне, в котором просматривались водоросли наннопланктона встречавшиеся в ничтожном количестве. Остались неучтенными рачки, количество которых в период работы было весьма незначительно.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ.

Оз. Белое. Все результаты наблюдений приложены в виде таблицы (табл. VII) на которой приведены все без исключения данные, что позволяет судить о степени устойчивости цифр, получаемых описываемым методом. С этой стороны характерна серия наблюдений в поверхностном слое Белого озера за время от 19 июня до 2 июля, в течение которого температура воды изменялась слабо. Все 6 определений произведенных за это время для интенсивности фотосинтеза дали весьма близкие цифры, колебавши ся в пределах 4,45—4,96 *мл*. Интенсивность дыхания за этот же период колебалась значительно сильнее от 1,35 до

¹ В дальнейшем для краткости «интенсивность поглощения кислорода» обозначается, как «интенсивность дыхания», что, понятно, является условным, так как помимо дыхания живых организмов поглощение кислорода в воде частично обуславливается чисто химическим окислением.

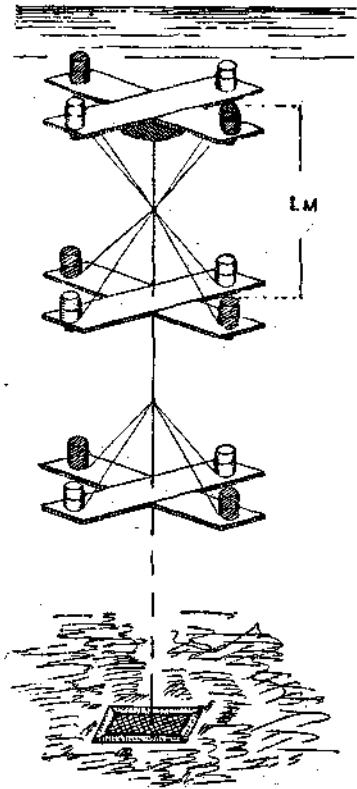
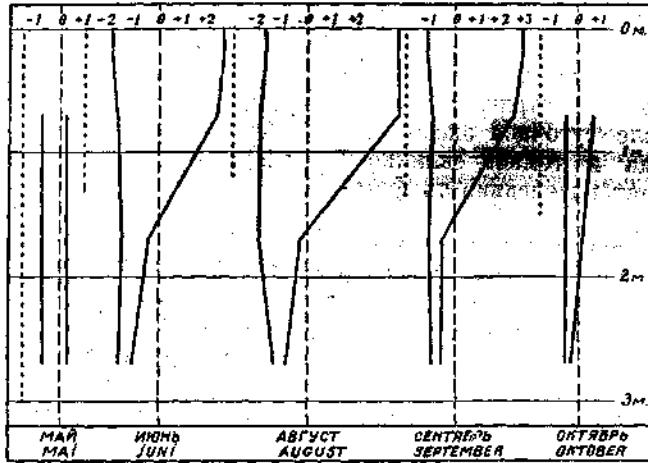


Рис. 1. Общий вид установки для определения интенсивности фотосинтеза и «дыхания» в условиях озера.
Abb. 1. Ausblick auf die Anlage zur Bestimmung der Intensität der Photosynthese und der Atmung im See.

3,15 м.¹ По таблице легко убедиться что это является общим правилом, т. е. что интенсивность фотосинтеза значительно менее колеблется, чем интенсивность дыхания. Условия работы не позволяют считать доказанным, что различия в цифрах фотосинтеза за каждый краткий период наблюдения отражают колебания интенсивности его в озере. Возможно, что в этом случае они всецело обусловливаются упомянутыми недостатками методики. Однако в течение лета интенсивность фотосинтеза изменяется закономерным образом и колеблется в определенных характерных для каждого периода наблюдений пределах, что и позволяет в дальнейшем базироваться на средних данных за каждый период, приведенных графически на рис. 2.

Из таблиц и графика следует, что в пределах захваченного установкой слоя воды интенсивность дыхания не зависит от глубины в то время как интенсивность фотосинтеза изменяется определенным образом.



За 0 принято содержание O_2 в момент наполнения склянок. Кривые показывают изменения в содержании кислорода в склянках за время суточной экспозиции (левая кривая — затененные банки, правая — незащищенные). Пунктирная линия слева от кривых показывает среднюю величину удвоенной прозрачности (по Секки для каждого месяца).

Als 0 ist die O_2 -Gehalt zu Zeit der Flaschenaufstellung angenommen. Die Kurven zeigen die Änderungen des O_2 -Gehalts während der 24-stündige Exposition (die linke Kurve—in dunklen Flaschen, die rechte—in hellen). Die Punktierlinie links von der Kurven gibt die mittlere Durchsichtigkeit für jeder Monat nach Secchi an.

Рис. 2. Средние величины фотосинтеза и дыхания по слоям Белого озера.
Abb. 2. Durchschnittswerte der Photosynthese und der Atmung in den einzelnen Schichten des Beloje Sees.

Для всех кривых фотосинтеза характерно, что падение интенсивности фотосинтеза начинается не от поверхности, а с известной глубины, которая для Белого озера в летние месяцы по меньшей мере равна 1 м.

Как показали работы Рутнера² такой же характер имеет зависимость интенсивности ассимиляции от глубины у высших растений (элодея). Летом 1930 г. в Белом озере интенсивность фотосинтеза в слое воды от поверхности до глубины в 1 м равнялась интенсивности его на поверхности. В это время удвоенная прозрачность по диску Секки—всего 70—80 см. Известно, что в каждом отдельном случае прозрачность не дает прямого представления о степени поглощения света водой, хотя результаты непосредственных измерений пропускновения света в воде озер показывают тесную корреляцию с прозрачностью по диску Секки (Birge и Juday³). Несомненно, что при незначительной прозрачности воды Белого озера сквозь слой в 1 м проникают немногие проценты падающего на него света, так как уже при прозрачности около 2 м слой воды в 1 м по

¹ Цифра 3,5 м относится к 19—20 июля, когда интенсивность дыхания на всех глубинах оказалась необычайно высока. Следует отметить, что это совпало с сильной грозой.

² Ruttner, F. Über die Kohlensäureassimilation einiger Wasserpflanzen in verschiedenen Tiefen des Lunzer Untersees. Int. Revue. Bd. 15, 1926.

³ Birge, E. and Juday, C. Transmissiön of Solar Radiation by the Waters of Inland Lakes. Trans. of Wisc. Ac. Sc. XXIV, 1929.

наблюдениям Birge и др. пропускает только 20—50% падающего на него света. Следовательно, по отношению к поверхностным слоям воды, освещение не является ограничивающим фотосинтез фактором и различия в естественном освещении не могут отразиться на интенсивности фотосинтеза в дневные часы. В этом, повидимому, заключается объяснение значительного совпадения интенсивности фотосинтеза на поверхности в различные дни несмотря на различия метеорологических условий. Дальнейшее уменьшение интенсивности фотосинтеза с глубиной всецело должно быть отнесено за счет недостатка света, т. е. оно начинается в таких слоях, которые по всем прочим условиям вследствие интенсивного перемешивания не отличаются от поверхностных. По кривым рис. 2 легко установить на какой глубине интенсивность фотосинтеза равна интенсивности дыхания (компенсационная точка фотосинтеза). Для изучения продуктивности водной массы озер, определение этой глубины представляет весьма большой интерес, таким путем непосредственно определяется мощность трофогенного слоя. Очевидно, что на глубинах, расположенных ниже компенсационной точки, в итоге преобладания дыхания над фотосинтезом происходит разрушение органических соединений.

По кривым легко определить, что летом 1930 г. компенсационная точка в Белом озере находилась на глубине около 1,5 м, на графике (рис. 2), видно, что изменение компенсационного пункта следует за изменением прозрачности и в Белом озере в течение периода наблюдения он находился на глубинах несколько больших, чем удвоенная прозрачность по диску Секки. Следовательно летом 1930 г. в Белом озере фактическая мощность трофогенного слоя была всего около 1,5 м, что составляет только незначительную часть эпилимниона.

Предельная глубина для фотосинтеза так же как и дыхание в более глубоких слоях не определялись. Определение их в условиях кислородного режима Белого озера является самостоятельной задачей. Изучавшееся озеро характеризуется весьма резкой стратификацией кислорода, недосыщением кислородом нижних слоев эпилимниона и незначительным содержанием или полным отсутствием его не только в гипс- но и в металимнионе. Ясно, что при таких условиях распределение кислорода в эпилимнионе весьма непостоянно, находится в сильнейшей зависимости от условий перемешивания и в некоторых случаях показывает исключительную резкую стратификацию. На интенсивность фотосинтеза и дыхания в глубоких слоях Белого озера должно влиять низкое содержание кислорода, что создает весьма отличные условия от господствующих, в хорошо перемешивающихся, богатых кислородом слоях, которые только и подвергались изучению в течение лета 1932 г.

Сравнивая данные, полученные в различные периоды наблюдения, легко видеть, что в 1932 г. в Белом озере максимальная интенсивность процессов фотосинтеза и дыхания наблюдалась в августе, что совпадает со временем наибольшего прогресса воды. Начиная с августа интенсивность фотосинтеза уменьшается, однако фотосинтез весьма долго идет с заметной интенсивностью и еще 17 ноября, в день когда озеро начало покрываться льдом, в поверхностном слое наблюдалось выделение 1,00 м кислорода в сутки.

Во время наблюдения в течение летних месяцев было непосредственно заметно резкое несоответствие скорости возрастания величины фотосинтеза и количества водорослей в фитопланктоне.

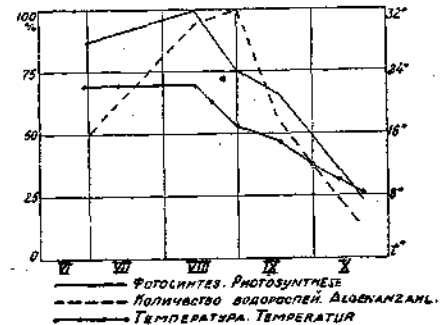


Рис. 3. Относительная скорость изменения числа водорослей и интенсивности фотосинтеза в Белом озере.
Abb. 3. Relative Geschwindigkeit der Veränderung der Anzahl der Algen und der Photosynthese-Intensität im Beloje See.

Из табл. I и рис. 3 видно, что уже тогда водоросли еще далеко не достигли максимального количественного развития, интенсивность фотосинтеза близка к максимальной. Во второй половине августа, когда число водорослей еще не уменьшилось, интенсивность фотосинтеза значительно снизилась соответственно с начавшимся понижением температуры.

Таблица I.

Tabelle I.

Количественное развитие водорослей и интенсивность фотосинтеза (O_2 мг/л. 24 ч.) на поверхности Белого озера. Quantitative Algen-Entwicklung und die Intensität der Photosynthese (O_2 mg/l. 24 St.) auf der Oberfläche des Beloje Sees.

Дата Datum	°C	Количество водорослей в 1 см ³ в тыс. Algen-Quantum in Tausenden in cm ³		Интенсивность фотосинтеза Интенсität der Photosynthese	
		Абсол. вел. Absolute Werte	% от максим. vom Maximum	Абсол. вел. Absolute Werte	% от максим. vom Max.
28/VI	22,0	1 60	50	4,65	87
30/VI	22,8	2584	94	5,34	100
31/VI	17,0	2758	100	4,01	75
16/IX	15,0	1542	56	3,50	66
19/X	8,1	336	12	1,27	24

Для вычисления скорости образования и разрушения органического вещества по отношению к целому водоему необходимо найти средние величины фотосинтеза и дыхания в каждом слое. Наиболее простым образом это может быть сделано графическим методом путем измерения площадей отграниченных кривыми дыхания и фотосинтеза и границами соответствующего слоя (рис. 2), полученные таким путем цифры приведены на табл. II и рис. 4.

Таблица II.

Tabelle II.

Средние месячные интенсивности фотосинтеза и дыхания по отдельным слоям Белого озера (O_2 мг/л. 24 ч.). Monatliche Durchschnittswerte der Intensität der Photosynthese und der Atmung (O_2 mg/l. 24 St.) in den einzelnen Schichten des Beloje Sees.

Месяц Monat	0—1 м				1—2 м				2—3 м				Σ
	n	A	B	A—B	n	A	B	A—B	n	A	B	A—B	
VI	14	1,80	2,31	4,11	6	1,57	0,23	1,80	7	1,64	0,36	0,68	6,59
VII	7	1,81	3,45	5,26	4	1,93	0,62	2,55	5	1,59	0,72	0,87	8,63
IX	4	0,07	2,54	3,61	1	1,08	0,21	1,29	3	1,06	0,56	0,50	5,40
X	2	0,0	0,60	1,10	—	—	—	—	1	0,6	0,16	0,44	2,29

n — число наблюдений — Anzahl der Beobachtungen.

A — интенсивность дыхания — Atmungsintensität.

B — интенсивность фотосинтеза — Intensität der Photosynthese.

Для Белого озера известен объем отдельных слоев. Принимая во внимание эти объемы и средние цифры фотосинтеза по отдельным слоям можно вычислить количество органического вещества образующегося в водоеме в течение каждого периода наблюдений.

Несмотря на то, что установкой в течение лета 1932 г. захватывались только поверхностные слои до 3 м глубины, полученные цифры близки к истинному количеству образовавшегося в водоеме органического вещества, так как в течение летних месяцев фотосинтез глубже 3 м шел с незначительной интенсивностью.

В августе, когда фотосинтез в Белом озере достигает максимума, продуцирование органического вещества водной массой, точнее верхними слоями воды (до 3 м) может быть выражено следующими цифрами (см. табл. III).

По отношению к дыханию подобного расчета на основании имеющегося материала сделать нельзя, вследствие незнания дыхания в более глубоких, характеризующихся низким содержанием кислорода, слоях. Это же обстоятельство не позволяет на основании материала 1932 г. сравнить величину образования и разрушения органического вещества по отношению ко всей водной массе озера

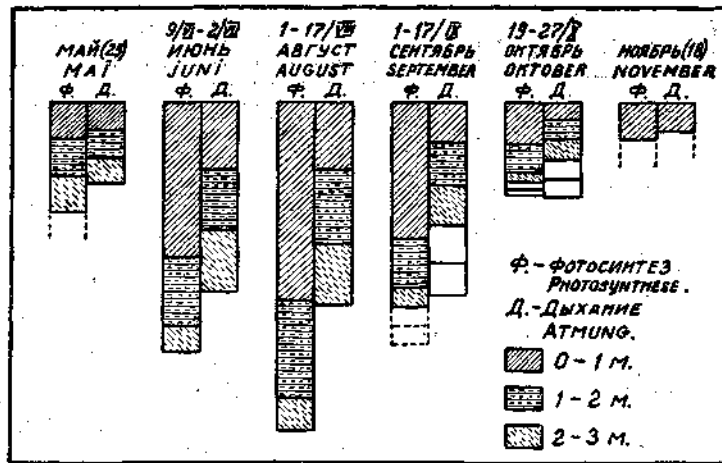


Рис. 4. Средние величины поглощения и выделения кислорода в Белом озере по отдельным месяцам.
 Abb. 4. Durchschnittswerte der Zehrung — und der Ausscheidung des Sauerstoffs im Beloje See in den einzelnen Monaten.

Таблица III.

Tabella III.

Общее количество синтезирующегося за сутки органического вещества в Белом озере в августе 1932 г. в кг глюкозы и калорий.
 Gesamt-Quantum des durch Photosynthese binnen 24 Stunden im Beloje See erzeugten organischen Stoffes im August 1932 in kg Glukose und in Kalorien.

Слой Schicht	Объем слоя м ³ Schichten Volumen m ³	Фотосинтез — Photosynthese		
		Кал.	кг C ₆ H ₁₂ O ₆	%/о
0—1 м	251200	4628000	1239	65
1—2 м	221000	1985000	529	28
2—3 м	192200	519000	139	7
0—3 м	664400	7137000	1937	100

и таким путем получить количественно представление о процессе накопления органического вещества в нем.

Возможно только в общей форме на основании рис. 4 заключить, что во всяком случае в Белом озере огромный процент образующегося в толще воды органического вещества тут же разрушается.

Озеро Святое. Святое озеро окружено сфагновым торфяником, что отражается характерным образом на химических свойствах воды, которая значительно бедней солями, чем вода Белого озера.

Несмотря на то, что по общему характеру Святое озеро и могло бы быть отнесено к дистрофному типу, в течение лета 1932 г. наблюдалось сильное цветение сине-зелеными (табл. X), что в такой резкой форме не наблюдалось в предыдущие годы.

Менее многочисленные наблюдения на Святом озере (табл. VIII) характерным образом отличаются от наблюдений сделанных на Белом озере и в то же время общий характер кривых фотосинтеза и дыхания остается тем же (табл. IV, рис. 5).

Как и в Белом озере дыхание во всех слоях идет с равной интенсивностью.

Не менее ясна зависимость компенсационной точки фотосинтеза от прозрачности, но в отличие от Белого озера компенсационная точка лежит не ниже удвоенной прозрачности, а несколько выше ее. Характерным отличием является меньшая интенсивность обоих процессов в особенности фотосинтеза, несмотря на то, что в количественном отношении фитопланктон Святого озера летом 1932 г. был развит даже сильнее, чем в Белом озере. Меньшая интенсивность фотосин-

Таблица IV.

Тabelle IV.

Средние величины фотосинтеза и дыхания (% м.л./л 24 ч.) по слоям в Святом озере.
Mittlere Werte der Photosynthese und der Atmung (O₂ mg/l 24 St) in einzelnen Schichten des Swjatoje Sees.

Месяц Monat	VII		VIII		IX	
	В	А	В	А	В	А
Слой Schicht						
0,5 м	1,21	0,60	1,75	1,38	1,12	0,79
1,5 м	1,34	1,14	0,68	1,45	0,88	0,91
2,5 м	1,25	1,24	0,33	1,25	0,9	0,76

А — интенсивность дыхания—Intensität der Atmung.
В — интенсивность фотосинтеза—Intensität der Photosynthese.

теза в Святом озере по сравнению с Белым, по всей вероятности, объясняет значительно более медленное увеличение числа водорослей в планктоне Святого озера, в котором максимальное развитие фитопланктона было достигнуто значительно позднее чем в Белом.

Несоответствие между увеличением количества водорослей и изменением интенсивности фотосинтеза в наблюдениях на Святом озере сказывается еще более резким образом; так например, в июле, когда количество водорослей в планктоне

было еще весьма не велико и составляло всего 3,7% от их количества 19/VIII, интенсивность фотосинтеза равнялась 1,13, что весьма близко к интенсивности фотосинтеза 19/VIII, когда количество водорослей было в 25 раз больше. Соответственно этому 2 сентября, когда количество

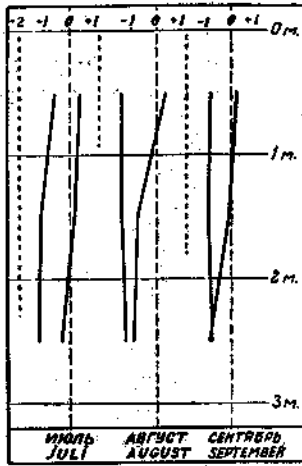


Рис. 5. Средние величины фотосинтеза и дыхания по слоям Святого озера.
Abb. 5. Durchschnittswerte der Photosynthese und der Atmung in der einzelnen Schichten des Swjatoje Sees.

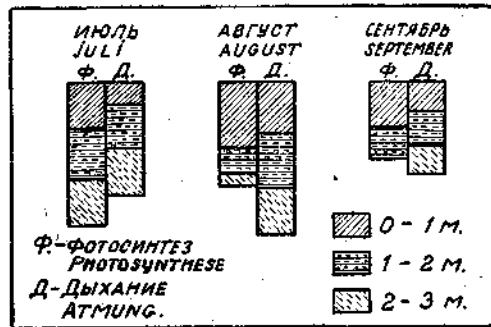


Рис. 6. Средние величины поглощения и выделения кислорода в Святом озере по отдельным месяцам.
Abb. 6. Durchschnittswerte der Zehrung und der Ausscheidung des Sauerstoffs im Swjatoje See in den einzelnen Monaten.

водорослей уменьшилось по сравнению с 19/VIII на 60%, и температура снизилась с 22° до 16,5° фотосинтез падает только на 14% (таб. V).

По отношению к Святому озеру, глубина которого не превышает 5 м из рассмотрения средней величины фотосинтеза и дыхания по отдельным слоям (рис. 6, табл. IV), полученных описанным выше графическим путем, видно, что в июле, когда вследствие значительной прозрачности, зона максимальной интенсивности фотосинтеза достигла по крайней мере 3 м, и фотосинтез идет с значительной интенсивностью во всей толще воды озера, наблюдается значительное превышение фотосинтеза над дыханием, что соответствует быстрому увеличению количества водорослей в это время. В августе же наблюдается обратная картина и дыхание значительно превышает фотосинтез, следовательно в августе в общем итоге запасы

Таблица V.

Количество фитопланктона и интенсивность фотосинтеза (O_2 мг/л. 24 ч.) на поверхности Святого озера.
Phytoplankton-Quantum und Intensität der Photosynthese (O_2 mg/l. 24 St.) auf der Oberfläche des Swjatoje Sees.

Tabelle V.

Дата Datum	°	Количество водорослей Algen-Quantum		Фотосинтез — Photosynthes:	
		Абсол. вел. Absolute Werte	% от максим. % vom Maxim.	Абсол. вел. Absolute Werte	% от максим. % v. m Maxim.
1/VII	22,4	315	4	1,13	72
19/VIII	22,3	8483	100	1,56	100
2/IX	16,5	3368	40	1,36	86

органического вещества не увеличиваются, а уменьшаются. Особенно интересно, что такое положение наблюдается именно в тот период, когда количество водорослей наибольшее и интенсивность фотосинтеза в поверхностных слоях максимальна. Падение количества синтезируемого за день органического вещества по сравнению с июлем всецело должно быть отнесено за счет уменьшения прозрачности вследствие большого развития водорослей. В данном случае развитие водорослей повлекло за собой не увеличение, а уменьшение скорости образуемого в водоеме органического вещества.

Таблица VI.

Общее количество синтезируемого за 24 часа органического вещества в Святом озере в кг глюкозы и калорий.
Gesamt-Quantum des durch Photosynthese in 24 Stunden erzeugten organischen Stoffes in Swjatoje See in kg Glukose und in Kalorien.

Tabelle

Слой Schicht	Объем слоя в м ³ Schichten Volumen in m ³	Кал. Kal	Кг $C_6H_{12}O_6$	%/о
0-1 м	90150	383000	102	36,5
1-2 м	83600	79000	101	6,5
2-3 м	62700	272000	74	27
0-3 м	233350	1034000	277	100

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.

Прежде чем на основании описанных наблюдений делать дальнейшие заключения, необходимо обсудить в какой степени применявшаяся методика отвечает поставленным целям, т. е. насколько точно интенсивность поглощения и выделения кислорода в банках соответствует интенсивности тех же процессов в условиях свободной воды озера. За отсутствием достаточного количества специальных наблюдений и опытов окончательного ответа на этот вопрос в настоящее время дать еще нельзя.

Оставляя в стороне неизбежные погрешности при определении содержания кислорода и случайные колебания получаемых величин, следует рассмотреть некоторые условия, относительно которых можно ожидать, что они могут оказать влияние на ход фотосинтеза и дыхания в закрытых склянках.

В тех случаях, когда склянки расположены в поверхностных, хорошо перемешивающихся слоях, в результате фотосинтеза в светлых склянках содержание кислорода в некоторых случаях к концу экспозиции оказывается заметно выше, чем в свободной воде озера. Максимальная цифра 15,07 мг наблюдалась при температуре в 23°, что составляет 169% насыщения. Таким образом даже в этом крайнем случае пересыщение кислорода в склянке далеко не достигает максимальных наблюдаемых в природе значений и поэтому уже a priori мало вероятно, чтобы повышенное содержание кислорода само по себе оказывало влияние на интенсивность фотосинтеза. Систематических наблюдений за действием других

изменяющихся в процессе фотосинтеза физико-химических условий не было. Однако изменение концентрации бикарбонатов и CO_2 должно соответствовать изменению кислорода, т. е. оставаться в пределах немногих миллиграмм. Такое изменение в содержании углекислоты в условиях сильно забуференной воды Белого озера (более 10 мг бикарбоната) вряд ли может оказать заметное влияние на

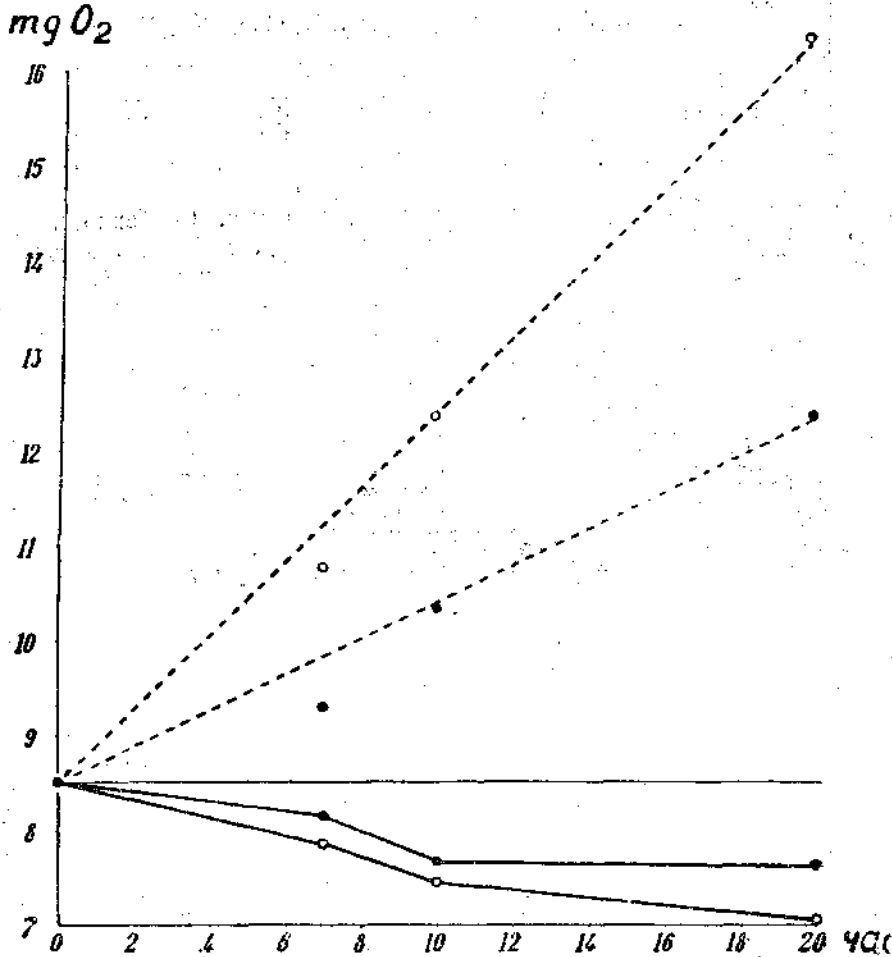


Рис. 7. Скорость фотосинтеза при непрерывном освещении.
Abb. 7. Intensität der Photosynthese bei ununterbrochenen Beleuchtung.

ход фотосинтеза и очень слабо отражается на активной реакции (активная реакция Белого озера летом 1932 г. была резко щелочной; в июле, августе м-ца 1932 г. pH держалось около 10,5).

Изложенные соображения убедительно подтверждаются опытом, результаты которого изображены на рис. 7. Во время опыта в склянках с озерной водой в условиях непрерывного электрического освещения в течение 20 часов фотосинтез шел с постоянной скоростью несмотря на то, что содержание кислорода достигло 16,5 мг, т. е. было много выше максимальных наблюдавшихся величин в склянках установки в озере.

Вторым следствием помещения воды в закрытые склянки является неравномерное распределение водорослей внутри банки. Как уже было отмечено в литературе, планктонные водоросли в условиях закрытых банок не остаются во взвешенном

состоянии, а либо опускаются на дно, либо собираются сверху банки (синезеленые). Можно было ожидать, что вокруг подобных скоплений водорослей создастся резкая стратификация физико-химических факторов и это отразится на интенсивности фотосинтеза и дыхания. Поставленные для разрешения этого вопроса опыты показали однако, что это обстоятельство не отражается заметным образом на интенсивности фотосинтеза и дыхания. В течение опытов как с водой Белого оз. так и Святого оз. половина склянок подвергалась периодическому взбалтыванию остальные оставались в течение всего времени неподвижными.

Наконец напомним, что определения интенсивности дыхания и фотосинтеза базируются на допущении, что дыхание в темноте идет с той же интенсивностью как и на свету.

Экспериментальная проверка этого предположения, которое лежит в основе всех современных методов определения интенсивности фотосинтеза, наталкивается на почти непреодолимые затруднения. На основании немногочисленных данных в литературе принимается (Kostytshew¹), что дыхание растений в темноте

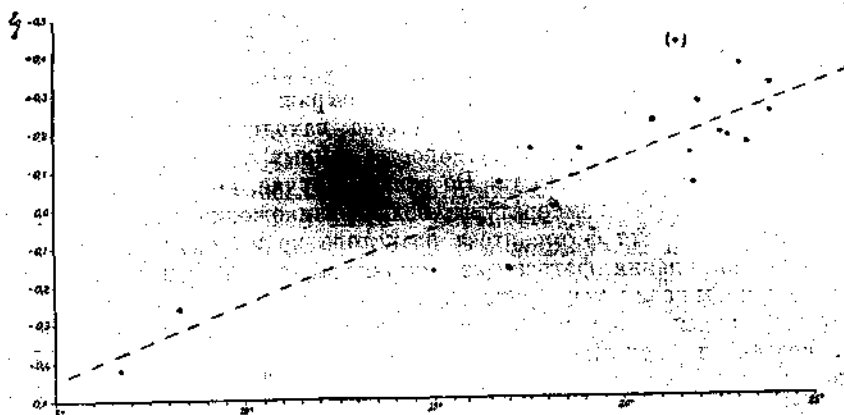


Рис. 8. Зависимость поглощения кислорода в поверхностных слоях Белого озера от температуры воды.

Abb. 8. Abhängigkeit der Sauerstoff-Zehrung in den Oberflächenschichten des Beloje Sees von der Wassertemperatur.

идет примерно с той же интенсивностью, т. е. свет не оказывает сильного влияния на дыхание растений. Во всяком случае, если даже дыхание планктона зависит от освещения, то следует ждать ослабления его в темноте, что должно сказаться на цифрах фотосинтеза в сторону их уменьшения против истинных, так же как и в случае влияния других разобранных выше условий. Следовательно цифры фотосинтеза, получившиеся применявшимся методом, если и отличаются от истинных, то по всей вероятности только в сторону уменьшения и должны считаться минимальными.

Этот вывод позволяет нам использовать описанные выше наблюдения для некоторых общих заключений.

Наиболее значительным результатом проведенной работы является несколько неожиданное несоответствие количественного развития водорослей в планктоне и интенсивности фотосинтеза. Это наблюдение, несомненно, не является случайным, так как повторялось на двух озерах различного типа, как в период возрастания числа водорослей, так и во время уменьшения его. Отсутствие параллелизма между количеством водорослей в фитопланктоне и интенсивностью фотосинтеза не менее резко проявляется при сравнении данных по Белому и Святому озерам.

Причину этого последнего явления следует искать в различии условий для

¹ Kostytshew. Pflanzenatmung. 1927.

фотосинтеза в этих двух озерах и в первую очередь в различном содержании углекислоты, концентрация которой в виде бикарбонатов в воде Белого озера в 10 раз больше, чем в воде Святого.

Что касается несоответствия между сезонными изменениями количества водорослей и интенсивностью фотосинтеза, то для выяснения причин, обуславливающих это явление необходимо специальное исследование. Поглощение кислорода водой также не показывает явного увеличения при увеличении массы зоо- и фитопланктона, как это можно было бы ожидать.

Рис. 8 показывает, что несмотря на колебания отдельных результатов, все же ясно выступает зависимость интенсивности дыхания от температуры. Принимая эту зависимость за прямолинейную получаем $Q_{10} = 2,6$, что соответствует обычной величине Q_{10} окислительных реакций.

Отсюда следует, что величина изменения скорости поглощения кислорода водой в течение периода наблюдений соответствует обычно наблюдающимся изменениям при соответствующих переменах температуры. Таким образом приходится признать, что или биомасса планктона в течение всего периода наблюдений оставалась постоянной, что невероятно, или что интенсивность обмена на единицу биомассы минимальна в период максимального развития планктона.

Зависимость фотосинтеза от температуры выражена менее отчетливо. Максимальная величина интенсивности фотосинтеза находится в положительной зависимости от температуры, но недостаточность данных не позволяет считать доказанной реальность этой зависимости. Во всяком случае, несмотря на происходящее параллельно увеличению температуры воды размножение водорослей, скорость повышения интенсивности фотосинтеза планктона не выходит из пределов обычно наблюдаемого повышения фотосинтеза определенного количества растительного вещества при повышении температуры.

Несмотря на невыясненность конкретных причин, обуславливающих описываемые явления, создается впечатление, что, по меньшей мере в некоторых случаях, интенсивность дыхания и фотосинтеза есть характерная для данных внешних условий величина, не подвергающаяся таким резким колебаниям, как качественный и количественный состав планктона. Из приведенных наблюдений ясно, что количественный подсчет планктона не может дать представления о скорости, направлении и размахе процессов образования и разрушения органических соединений в воде.

Для изучения этих процессов необходимо введение в практику лимнологического исследования методов позволяющих непосредственно получать количественную характеристику результатов жизнедеятельности планктона в конкретных условиях данного водоема.

Соблюдение последнего условия необходимо, т. к. содержание лимнологического понятия «продуктивность водной массы озера» не совпадает с понятием продуктивности образца воды этого озера. Хорошей иллюстрацией этого может служить приведенное выше наблюдение на Святом озере, когда усиленное развитие водорослей, наряду с увеличением фотосинтеза, сопровождалось уменьшением продуктивности на всю массу озера, вследствие вызываемого размножением водорослей понижения прозрачности.

Следует признать совершенно неудачной попытку Мауша¹ ввести для характеристики продуктивности озер новую единицу («Винклер»), основывающуюся на измерении интенсивности фотосинтеза образца воды в определенных по мнению Мауша оптимальных условиях. В лучшем случае таким путем можно получить представления о продуктивности образца воды, но не всей водной массы озера.

¹ Maucha, R. Upon the Influence of Temperature and Intensity of Light on the photosynthetic Production of Nannoplankton. Verh. Int. Ver. Limnologie. II; 1924.

РЕЗЮМЕ.

1) Описан метод, позволяющий измерять интенсивность поглощения и выделения кислорода в воде в условиях озера, что дает возможность получить количественную характеристику процессов образования и разрушения органических соединений в водной массе озера.

2) Применение описанного метода на озерах Белом и Святом в Косине в течение лета и осени 1932 года показало закономерное изменение величин характеризующих скорость образования и разрушения органических соединений в течение времени наблюдения (рис. 2, 4, 5, 6, табл. II, IV).

3) Увеличение интенсивности фотосинтеза в начале лета и уменьшение интенсивности его во второй половине лета не идет параллельно изменению числа водорослей. Также и большое различие в интенсивности фотосинтеза в Белом и Святом оз. не может быть объяснено различием в составе фитопланктона (рис. 3 табл. I и V). Эти и ряд других фактов заставляют выставить предположение, что величина фотосинтеза обуславливается не только составом фитопланктона, а является закономерной функцией физико-химических свойств воды и имеет характерную величину для каждого водоема.

4) Интенсивность поглощения кислорода в поверхностных слоях также не показывает отчетливой зависимости от количественного развития планктона и дает отчетливую зависимость от температуры (рис. 3).

5) Количество образующегося органического вещества в целом озере не находится в прямой связи с интенсивностью фотосинтеза в воде и зависит кроме того от ряда характеризующих данное озеро особенностей, из которых особенно большое значение имеет мощность эпителиона и положение компенсационной точки фотосинтеза, определяемое прозрачностью воды. Во время наблюдения на Белом и Святом озерах компенсационный пункт фотосинтеза закономерно находился примерно на глубине равной удвоенной прозрачности по диску Секки. Мощность трофического слоя в Белом озере летом 1932 года равнялась всего 1,5 м.

Таблица VII.

Наблюдения на Белом озере.

	Поверхность. Oberfläche						0,75 м						
	t°	O ₂ '	O ₂ ''	B	A	A-B	t°	O ₂ '	O ₂ ''	B	A	A-B	
25-26-V	—	—	—	—	—	—	17,5°	10,32	10,53	+0,21	—	—	+0,97
9-10-VI	—	—	—	—	—	—	18,3	10,86	13,78	+2,92	—	—	+4,33
								11,69	10,28	—1,41	—	—	
12-13 >	—	—	—	—	—	—	17,5	10,92	13,8	+2,66	—	—	+3,95
								10,87	9,58	—1,29	—	—	
18-14 >	19,8	10,20	12,20	+2,00	—	—	19,2	10,18	12,87	+2,69	—	—	+4,30
		10,23	8,88	—1,35	+3,85	10,6		8,99	—1,61	—	—		
19-20 >	22,4	11,75	13,29	+1,54	—	—	22,4	12,34	13,55	+1,21	—	—	+4,57
		8,60	—	—	+4,69	12,68		9,32	—3,36	—	—		
20-21 >	22,7	10,66	14,02	+3,36	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		9,06	—	—	+4,96	—		—	—	—	—	—	—
21-22 >	23,0	12,36	15,07	+2,70	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		10,38	—	—	+4,68	—		—	—	—	—	—	—
28-29 >	22,0	10,71	12,86	+2,15	—	—	21,9	9,90	11,53	+1,43	—	—	+3,81
		8,2	—	—	+4,65	9,70		7,82	—1,88	—	—		
31-VI-1-VII	22,5	9,18	12,29	+3,11	—	—	21,6	9,01	11,63	+2,59	—	—	+3,45
		7,73	—	—	+4,45	9,06		8,20	—0,86	—	—		
1-2-VII	20,7	8,75	12,07	+3,32	—	—	21,0	9,13	12,16	+3,03	—	—	+4,67
		7,21	—	—	+4,86	7,49		—	—	—	—	—	
1-2-VIII	—	—	—	—	—	—	24,4	20,49	14,52	+4,03	—	—	+8,28
								10,61	8,36	—2,5	—	—	
4-5-VIII	—	—	—	—	—	—	24,5	3,63	16,82	+3,19	—	—	+5,94
								18,87	11,12	—2,75	—	—	
8-9-VIII	—	—	—	—	—	—	23,4	8,56	12,75	+4,19	—	—	+5,82
								8,28	6,65	—1,63	—	—	
13-14-VIII	22,6	7,38	11,20	+3,82	—	—	21,7	7,38	11,39	+4,01	—	—	+5,49
		5,86	—	—	+5,84	5,9		—	—	—	—		
16-17 >	23,0	11,95	15,42	+3,47	—	—	22,5	11,07	13,93	+2,91	—	—	+4,32
		10,06	—	—	+5,36	9,70		—	—	—	—	—	
31-VIII-1-IX	17,0	9,81	12,55	+2,80	—	—	16,9	9,25	11,30	+2,05	—	—	+3,32
		9,75	8,59	—	+4,01	8,06		—	—	—	—	—	
15-16-IX	—	—	—	—	—	—	15,5	8,63	11,18	+2,53	—	—	+3,10
								8,93	8,00	—0,93	—	—	
16-17-IX	—	—	—	—	—	—	15,0	9,04	11,85	+2,81	—	—	+3,50
								9,04	8,35	—0,69	—	—	
19-20 X	—	—	—	—	—	—	8,3	8,39	9,01	+0,72	—	—	+1,27
								8,19	7,63	—0,56	—	—	
26-27-X	—	—	—	—	—	—	8,7	9,57	10,11	+0,54	—	—	+0,92
								9,57	9,21	—	—	—	
17-18-XI	0-1°	12,10	12,32	+0,22	—	—	—	—	—	—	—	—	
			11,32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				—0,78	+1,00								

Beobachtungen am Beloje See.

Tabelle VII.

1,75m						2,75m					
t°	O ₁ '	O ₂ ''	B	A	A-B	t°	O ₁ '	O ₂ ''	B	A	A-B
—	—	—	—	—	—	16,5°	9,7	10,00	+0,28	—	+0,95
—	—	—	—	—	—	—	—	9,05	—	-0,67	—
—	—	—	—	—	—	17,8	9,47	9,40	-0,07	—	+0,58
—	—	—	—	—	—	—	9,68	9,03	—	-0,65	—
17,5	10,81	10,98	+0,17	—	+1,62	17,5	10,99	9,84	-1,15	—	+0,48
—	10,82	9,37	—	-1,45	—	—	10,92	9,29	—	-1,63	—
—	10,18	10,57	+0,39	—	+1,79	18,0	10,05	8,95	-1,10	—	+0,43
18,1	10,27	8,87	—	-1,40	—	—	10,13	8,60	—	-1,53	—
—	12,52	10,65	-1,87	—	+0,69	18,2	8,20	6,71	-1,49	—	+0,74
22,4	11,99	9,43	—	-2,56	—	—	8,43	6,25	—	-2,23	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21,9	9,59	8,90	-0,69	—	+1,05	21,8	9,53	7,71	-1,82	—	+0,42
—	9,49	7,75	—	-1,74	—	—	9,58	7,29	—	-2,29	—
—	9,18	9,87	+0,69	—	+2,90	21,5	9,06	8,35	-0,71	—	+0,52
21,6	8,17	7,66	—	-1,31	—	—	9,13	7,79	—	-1,34	—
—	—	8,59	-0,46	—	+1,63	20,6	8,31	7,48	-0,83	—	+0,39
20,5	9,05	6,94	—	-2,11	—	—	7,09	—	—	-1,73	—
—	10,16	6,96	-0,20	—	+1,77	23,2	5,00	4,49	-0,51	—	+0,84
23,7	10,22	8,25	—	-1,97	—	—	7,93	6,58	—	-1,35	—
—	13,15	12,25	-0,90	—	+1,88	23,6	2,40	1,88	-0,52	—	+0,61
23,5	13,16	10,38	—	-2,78	—	—	1,87	0,74	—	-1,13	—
—	—	—	—	—	—	23,1	8,02	7,77	-0,25	—	+0,2
—	—	—	—	—	—	—	8,01	6,55	—	-1,46	—
—	—	7,07	-0,08	—	+1,34	21,2	—	5,94	-1,06	—	+0,32
21,2	7,13	5,72	—	-1,40	—	—	6,90	5,51	—	-1,38	—
—	10,95	11,08	+0,11	—	+1,71	21,5	7,36	6,31	-1,05	—	—
22,0	10,96	9,36	—	-1,60	—	—	6,19	—	—	—	—
—	8,85	8,30	-0,55	—	+0,58	16,5	7,77	6,58	-1,19	—	+0,34
16,5	8,42	7,31	—	-1,11	—	—	7,35	6,66	—	-0,69	—
—	—	—	—	—	—	15,3	8,49	8,03	-0,46	—	+0,47
—	—	—	—	—	—	—	8,56	7,63	—	-0,93	—
—	—	—	—	—	—	14,9	8,90	8,41	-0,49	—	—
—	—	—	—	—	—	—	8,86	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	8,2	8,18	7,86	-0,32	—	+0,22
—	—	—	—	—	—	—	8,17	7,63	—	-0,54	—
—	6,47	—	—	—	—	6,7	9,39	—	—	—	—
—	9,45	—	—	—	—	—	9,42	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

2*

Таблица VIIa.

Наблюдения на Белом озере.
Beobachtungen am Beloje See.

Tabelle VIIa.

	4,5 м					
	t°	O ₂ '	O ₂ ''	B	A	A-B
8-9-VIII вода с 0,5	22,5	8,20	7,51	-1,00		
		8,05	7,21		-1,41	+0,41
15-16-IX	15°	8,37	7,89	-0,48		
		8,33	7,57		-0,76	+0,28
16-17-IX	14,7°	8,09	7,84	-0,25		
		8,10	7,14		-0,96	+0,71
19-20-IX	8,2°	8,14	7,84	-0,30		
		8,16	7,70		-0,46	+0,16

Таблица VIII.

Наблюдения на Святом озере.
Beobachtungen am Swjatoje See.

Tabelle VIII.

	0,5 м						1,5 м						2,5 м					
	t°	O ₂ '	O ₂ ''	B	A	A-B	t°	O ₂ '	O ₂ ''	B	A	A-B	t°	O ₂ '	O ₂ ''	B	A	A-B
9-10-VII	22,9	8,13	8,86	+0,23			21,7	8,10	8,11	+0,01			21,6	8,07	7,50	-0,57		
			7,32		-0,81	+1,04			8,10	7,17		-0,93		+0,94		8,07	6,11	
13-14 >	22,4	7,82	8,21	+0,33			22,3	8,01	6,98	-0,24			22,4	7,94	7,84	-0,10		
			7,08		-0,74	+1,13			8,98	8,90	+0,33	-1,03		+1,27		7,22	7,94	-0,29
14-15 >	22,7	8,28	7,42	-0,60			22,2	8,57	7,10	-1,58			22,5	8,13	7,09	-1,04		
			8,91	9,61	+0,70	-0,86		+1,46		8,55	7,97	-0,58		-1,47	+1,81		8,31	8,62
10-11-VIII	23,6	8,61	7,28	-1,23			22,8	8,69	7,27	-1,42			22,8	8,51	7,19	-1,32		
			8,63	9,67	+0,94	-1,23		+1,93		9,58	8,66	-0,89		-1,42	+0,84		8,51	7,19
18-19 >	22,4	9,68	8,16	-1,52			21,9	9,43	8,02	-1,41			21,4	8,08	6,88	-1,18		
			8,21	8,79	+0,58	-1,52		+1,56		7,86	7,91	+0,05		-1,41	+0,52		8,13	7,29
2-3-IX	18,5	8,15	7,89	-0,76			16,3	8,16	7,58	-0,59			16,2	8,13	7,32	-0,81		
			8,08	7,97	+0,11	-0,76		+1,34		8,17	7,97	-0,20		-0,59	+0,64		8,18	7,37
3-4 >	16,3	8,06	7,04	-1,02			16,3	8,31	7,09	-1,22			16,3	8,01	7,31	-0,71		
					-1,02	+0,91						-1,22		+1,02				

Условные обозначения в таблицах VII-VIII.
(Bezeichnungen in Tabellen VII-VIII.)

O₂' — содержание кислорода в начале экспозиции (O₂-Gehalt am Anfang der Exposition).

O₂'' — содержание кислорода в конце экспозиции (O₂-Gehalt am Ende der Exposition).

A — интенсивность дыхания (Atmungsintensität).

B — интенсивность фотосинтеза (Photosyntheseintensität).

Таблица IX.

Фитопланктон Белого оз. Количество особей в 1 куб. см.
Phytoplankton des Bologo S оз. Anzahl pro cm³.

Tabelle IX

	23-VI		13-VIII		31-VIII		16-IX		19-X	
	0,1 м	0,5 м	0,5 м	2,5 м	0,5 м	2,5 м	0,5 м	4,5 м	0,5 м	4,5 м
<i>Microcystis</i>	481	2460	2033	2735	2317	1527	2332	321	491	
<i>Ceratium</i>	63	18	52	3	4	2	1	0	0	
<i>Anabaena</i>	392	36	25	15	37	13	15	13	7	
Прочие (Übrige)	310	0	0	5	7	0	5	2	7	
	1360	2584	2160	2758	2365	1542	2353	356	505	

Таблица X.

Фитопланктон Святого оз. Количество особей в 1 куб. см.
Phytoplankton des Swjatoje Sees. Anzahl pro cm³.

Tabelle X.

	13-VII		19-VIII		2-IX	
	0,1 м	2,5 м	0,5 м	1,5 м	0,5 м	2,5 м
<i>Microcystis</i>	175	57,3	8,3	2	54,6	44,6
<i>Anabaena</i>	115	149	847,8	5299	3308	2417
<i>Ceratium</i>	4	1	2,6	4,6	2	5
Прочие (Übrige)	21	19,6	0	0	0	6,3
	315	232,9	8482,9	5305,6	3365,6	2472,9

Таблица XI.

Зоопланктон. Количество особей в 1 л. Zooplankton. Anzahl pro 1 l.

Tabelle XI.

	Белое озеро. Bologo See						Святое озеро. Swjatoje See		
	28-29 VI	13-14 VIII	31 VIII	16-17 IX	19-20 X	13-14 VII	18-19 VIII	2-3 IX	
	0,1 м	0,5 м	1,5 м	1,5 м	0,5 м	4,5 м	1,5 м	2,5 м	2,5 м
<i>Anuraea cochlearis</i>	1822	4660	4598	10811	3005	1156	1520	626	1890
<i>Triarthra longiseti</i>	533	79	829	1305	141	49	32	55	—
<i>Ruttulus</i>	137	410	49	1864	499	0	544	994	729
<i>Anuraea aculeata</i>	81	19	0	0	21	25	—	—	—
<i>Brachionus</i>	977	—	11	98	21	0	—	—	—
<i>Diacyclops</i>	2533	310	339	559	0	0	0	55	0
<i>Dawsonia</i>	45	30	339	746	0	25	173	0	0
<i>Asplanchna</i>	—	40	86	406	21	—	0	16	0
<i>Monosigla cornuta</i>	300	0	0	230	210	82	—	—	—
	7368	6339	6651	15359	3867	1337	2369	1746	2619
<i>Daphnia longispina</i>	—	70	98	—	42	25	32	16	—

ИЗУЧЕНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОГО ПЕРИФИТОНА В ВОДАХ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ.

Карзинкин Г. С. и Кузнецова З. И.

Работая летом 1933 г. над бактериальным перифитоном Глубокого озера одним из авторов этой работы (Карзинкин Г. С., 5) было замечено, что бактериальные обрастания в первые дни формирования биоценоза хорошо отражают изменения, протекающие в данное время в воде озера. По мере вхождения в обрастание все новых и новых компонентов из числа животных и растений и увеличения самого бактериального населения, роль внешней среды начинает сглаживаться. Внутри биоценоза устанавливаются свои сложные взаимоотношения и переформирование биоценоза является не адекватным изменению внешней среды. Если в начальные моменты формирования биоценоза, изменение положения слоя минимума кислорода обуславливает соответствующее изменение в максимуме бактерий, что по нашим (Карзинкин, Кузнецов и Кузнецова, 8; Kusnetzow and Karzinkin, 11) предположениям является результатом наличия большого количества питательных веществ в слое минимума кислорода, то в более сформировавшемся биоценозе такого параллелизма мы наблюдать не будем. Например, опускание слоя металимниона, а вместе с ним и слоя минимума кислорода может повести к отмиранию ряда организмов, ранее входивших в состав перифитона, развивавшегося в пределах этого слоя. Отмирание же организмов в свою очередь дает возможность к развитию богатейшей микрофлоры и там, следовательно, где мы ожидали по внешней среде встретить бедное бактериальное население, мы можем найти богатую бактериальную флору.

Таким образом, у нас создалось впечатление, что бактериальный перифитон, по крайней мере в момент становления биоценоза может явиться хорошим индикатором на степень загрязненности воды.

Чтобы избежать недоразумений, мы хотим заранее отметить значение, которое мы отводим этому методу — методу кратковременных установок.

Как известно, обычный химический анализ воды, обычный бактериальный анализ так же, как и анализ планктона, не дает еще нам права говорить о степени загрязнения водоема в целом. Для того, чтобы получить суждение о водоеме в целом и его среднем годовом состоянии, приходится проводить указанными методами ряд последовательных наблюдений и при этом в разных точках водоема. Все указанные способы определения требуют, даже для простой оценки воды на данный момент, длительного времени и обычно ответ приходится получать через несколько дней. Молодой перифитон, так же может дать нам указания только о состоянии воды в данной точке водоема в определенный период времени. Преимущество его изучения, однако же, заключается в том, что в течение очень короткого периода времени, не более суток в летнее время, мы можем получить примерное представление о санитарном состоянии воды. Для этого требуется лишь наличие дешевого, весьма простого оборудования. Таким образом, этот метод, как нам кажется, может служить в первую очередь для ориентировочных целей и, конечно для того, чтобы, пополнять те данные, которые получены обычными методами санитарных исследований вод.

В настоящее время этот метод имеет значение только при возможности проводить сопоставления количества бактерий в обрастаниях из заведомо чистого водоема с обрастаниями из водоемов неизвестной степени загрязнения. В дальнейшем, когда будет достаточно изучен процесс заселения стекол в водоемах различной степени сапробности, при разных температурных условиях, он весьма вероятно приобретет значение метода, могущего непосредственно указывать на ту или иную степень загрязнения водоема.

ЗАДАЧА ИССЛЕДОВАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОЕМОВ, В КОТОРЫХ ПРОВОДИЛИСЬ НАБЛЮДЕНИЯ.

Таким образом, в настоящей работе мы поставили себе целью попытаться связать заселение субстрата бактериями со степенью загрязненности воды. Это, конечно, легко проделать путем общего счета бактерий перифитона с одной стороны, и определенном степени сапробности водоема — с другой стороны.

Мы выбрали водоемы, загрязнение в которых было более или менее заранее известно, и в которых его легко было обнаружить любым из имеющихся методов.

Опыты проводились в ряде прудов, лежащих недалеко от станции, в качестве же объекта с малым загрязнением было выбрано Глубокое озеро. Сейчас мы позволим себе остановиться на краткой характеристике избранных для наблюдений водоемов. В делении этих прудов на группы, мы придерживаемся принципа классификации прудов, предложенной С. Н. Дуплаковым.

Пруды I-ой группы (по Дуплакову).

1. Сюда мы относим так называемый Мартынов пруд, хотя по степени загрязнения он является более загрязненным, чем все обследованные Дуплаковым пруды этой группы. Мартынов пруд маленький, расположен в деревне, между и.бамн, непосредственно человеком используется мало, но очень сильно загрязняется стоками из хлева. В течение летнего периода времени, по степени загрязнения, он может быть отнесен к мезосапробному типу. Проведенный нами 24/VII и 28/VII химический анализ воды (см. табл. I и табл. III) показал, что вода этого пруда характеризуется очень высокой окисляемостью, богатством аммиака, малым количеством нитратов, почти анаэробными условиями и близкой к нейтральной реакции. Вода в пруду иногда сверху покрывается бактериальной пленкой — загнивает. Высшая растительность совершенно отсутствует. Пруд используется очень слабо, главным образом, для полоскания грязных тряпок и домашней водоплавающей птицы.

Таблица I.

Химический анализ от 24—25/VII 33 г.
Chemische Analyse von 24—25/VII 1933 г.

Тabelle I

Название водоемов Besen	pH	P mg/l	Окисляемость O ₂ mg/l Oxydierbarkeit.	NH ₃ mg/l	N/NO ₂ mg/l	t°C			O, mg/l		Колебание Schwankung
						Утром am Morgen	Вечером im Abend	Среднее im Mittel	Утром am Morgen	Вечером am Abend	
Глубокое озеро Glabokoje See		0	16,6-20,5		0,287	25,2	26,4	25,8	9,21	8,67	0,54
Андреев пруд Andreev Teich	6,2	0	24,7	Следы Spuren	0	18,7	24,0	21,5	1,43	1,17	0,26
Пруд возле Teich-Tümpel	6,2	0	16,9	0,34	0	18,1	23,0	20,55	1,20	1,25	0,05
Пруд у моста Teich bei der Brücke	Кислота 6,2 слабее als 6,2	0	30,6	Следы Spuren	0,534	18,0	22,3	20,15	2,48	1,43	1,05
Крестьянский пруд Dorf-Teich	слабее als 7,5 alkalisch als 7,5	0,007	30,1	0,18	Следы Spuren	21,8	25,1	23,4	6,91	11,02	4,21
Мартынов пруд Martynow Teich	8,9	0	44,4	0,74	0,058	18,4	23,0	20,7	0,65	0,02	0,63

2. Крестьянский пруд в Тереховке. Пруд средней величины. По степени загрязнения должен быть отнесен к прудам β - α -мезосапробного типа. Наши химические анализы (см. табл. I и III) показали высокую цифру окисляемости, наличие аммиака, следов нитратов. Большое количество кислорода в течение лета обуславливается массовым развитием в планктоне *Trachelomonas*. Вода щелочная. Пруд постоянно загрязняется человеком путем стирки белья, мочки лыж, купания ребят и т. д. В силу низкого расположения пруда за деревней, возможно проникновение в пруд сточной жидкости из хлевов. Прибрежная растительность слабо развита, на дне есть отдельные экземпляры *Ceratophyllum demersum* L. Основной состав планктона следующий: *Daphne pulex*, *Moina rectirostris*, *Brachionus urceolaris*.

3. Пруд у мостика (в дубах). Небольшой пруд, около дубовой опушки, недалеко от деревни Тереховки. Пруд открытый, расположен около болота так, что болотные воды стекают в него. По степени загрязнения является прудом переходного типа, β - α мезосапробного к β -мезосапробному. Хозяйственно используется временно, главным образом тем, что рядом с прудом бывает иногда полдневище. В эти моменты вода в пруду бывает явно β - α -мезосапробная. Когда же около пруда более или менее долгое время не бывает полдневища, то наблюдается самоочистка воды в нем, до β -мезосапробного типа. Так, например 24/VII (см. табл. I) химический анализ указывает на большое количество нитратов — конечного продукта окисления азотистых соединений; при малом содержании («следы») аммиака, большое количество нитратов может являться в известной мере показателем законченности нитрификации. Следует считать по характеру пруда, что высокая окисляемость в данном случае должна рассматриваться как результат стока болотных вод, а не как результат наличия животного загрязнения.

Пруды II группы (по Дуплакову).

1. Сюда нужно отнести довольно большой пруд за Тереховкой. Во время обследования Дуплаковым этот пруд в большей степени использовался человеком и был отнесен им к прудам I группы. В наше время пруд используется мало, главным образом, в начале лета для купания лошадей. По степени загрязнения стоит не выше β -мезосапробного типа. В значительной мере заболачивается путем развития высшей водной растительности.

Пруды IV группы (по Дуплакову).

Сюда относятся пруды также, как II группы β -мезосапробного типа, но по характеру загрязнения иные. Загрязнение естественного происхождения — растительными остатками. Человеком почти не используется.

1. Андреев пруд. Лесной пруд, расположенный на полянке, довольно затененный. Анализ 24/VII показывает высокую окисляемость. Следы аммиака, отсутствие нитратов и pH кислого значения. Пруд богат водной растительностью, на дне развит ковер из мха. К концу августа наблюдалось отмирание этого мохового ковра и в пруду скопились листья с деревьев. Водой из пруда пользуются для питья.

2. Локошинский пруд. Пруд лесной, сильно затенен, заболачивается, человеком не используется.

3. Пруд-болотце около Тереховки. Прудик очень маленький, открытый. Расположен на краю суглинистого картофельного поля. При дождях в пруд стекает мутная вода с картофельных полей. Человеком не используется. Сильно зарос высшей растительностью.

И, наконец, последним водоемом, почти не загрязняемым человеком, является Глубокое озеро.

Вот краткая характеристика степени загрязненности тех водоемов, в которых проводились наблюдения.

МЕТОДИКА РАБОТЫ.

Для изучения бактериального перифитона употреблялись предметные стекла. Перед установкой в водоем стекла омывались хромовой смесью и в ней же переносились на место опыта. Здесь стекла споласкивались водой из данного водоема. Каждое стекло укреплялось одним концом в расщеп тонкой палочки — прутика, а другой свободный конец прутика втыкался в дно пруда, с фиксацией стекла на определенной глубине. Такова была обычная методика экспозиции стекол в водоеме. Лишь 21—27 июля в Крестьянском пруду и 18—24 июля в Андреевом пруду стекла ставились на деревянных дощечках по методу, предложенному Дуплаковым (2).

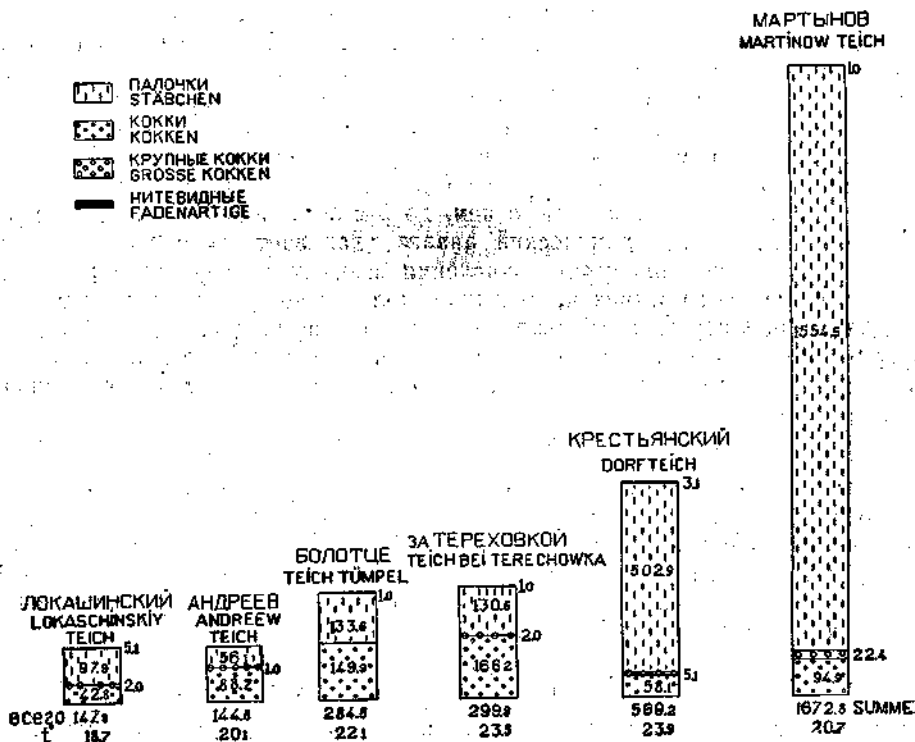


Рис. (Abb.) 1.

В статье 1933 г. (10) А. Нелгси отмечает, что субстрат, на котором укрепляются стекла, влияет на состав бактериального перифитона. Эти замечания он не подтверждает никакими цифровыми данными непосредственного наблюдения. Но так как такое воздействие весьма вероятно, то во избежание возможных ошибок, вызванных влиянием палочек, подсчет количества бактерий велся на конце стекла, омываемого свободной водой, вряд ли подвергающегося заметному воздействию со стороны палочек — штативов. В случае укрепления стекол непосредственно на дощечках, возможность воздействия дощечек на бактериальный перифитон, не исключались.

Вынутые из воды стекла, простоявшие в ней известное время, если они шли на общий счет бактерий, подвергались на месте просушиванию и в биологических пробирках доставлялись в лабораторию. Если же они брались для других целей, то в лабораторию доставлялись, опять таки в биологических пробирках, но уже во влажном состоянии. Стекла с перифитоном на общий счет бактерий в дальнейшем обрабатывались 70° спиртом и бактерии красились как обычно эритро-

зином на карболовой воде. Далее проводился общий счет при иммерсионной системе и сетчатом окулярном микрометре.

Таблица II.

Результаты просчета параллельных стекол.
Resultate der Zählung an parallelen Gläsern.

Таблиц II.

Название водоемов Becken	Количество палочек на 1 кв. см в тысячах Anzahl der Stäbchen auf 1 cm ² in Tausenden			Количество кокков на 1 кв. см в тысячах Anzahl der Kokken auf 1 cm ² in Tausenden			Количество нитей на 1 кв. см в тысячах Anzahl der Fäden auf 1 cm ² in Tausenden			Сумма бактерий на 1 кв. см в тысячах Summe der Bakterien auf 1 cm ² in Tausenden							
	I	II	Среднее, им Mittel	I	II	Среднее, им Mittel	I	II	Среднее, им Mittel	I	II	Среднее, им Mittel	% Расхождения % des Auseinandergehens	К-во и % осевших полей зрения Anzahl der gezählten Gesichtsfelder			
															% Расхождения % des Auseinandergehens	% Расхождения % des Auseinandergehens	% Расхождения % des Auseinandergehens
Андреев пруд Andreev Teich	75,7	84,2	79,9	10,1	25,7	26,4	5,6	0,25	0,50	0,37	50%	104,2	110,5	107,3	5,7	40	
Пруд — Болотце Teich — Tümpel	85,2	85,5	90,3	10,3	20,5	20,4	0,25	1,0	0,62	—	—	134,7	127,0	130,8	5,7	40	
Пруд у Мостика Teich bei der Brücke	79,0	72,4	75,7	8,3	14,3	25,0	59	0	0	0	—	93,8	100,1	106,6	13,68	40	
Крестьянский пруд Dorf Teich	229,5	223,0	226,2	2,8	36,0	43,0	39,0	14,3	0	0	0	—	265,5	265,0	265,2	0,2	30
Мартынов пруд Martinow Teich	1109,5	1018,0	1063,7	8,1	48,0	40,0	44,0	16,7	1,5	1,0	1,25	33	1159,0	1059,0	1109,0	8,6	30

Для того, чтобы определить, сколькими полями сетчатого окуляра-микрометра можно удовлетвориться, нами был проведен просчет параллельных стекол. Результат подобного просчета сведен в таблицу II. Из нее мы видим, что для организмов, встречающихся в малом количестве, как, например, нитчатых бактерий, процент расхождения в 40 полях сетчатого окуляра с 2-х параллельных стекол очень высок. Кокки, которые встречаются уже в большом количестве, дают меньший процент расхождения (от 3 — 17%). Лишь в одном случае он достигал 59% (параллельные стекла из пруда у мостика), благодаря присутствию на одном из стекол зооглей кокков. Палочки, которые являлись основной массой бактерий, при счете в 20—40 полях зрения с параллельных стекол не дали процент расхождения, заметно превышающий 10, обычно допускаемый при общем счете бактерий.

Если мы теперь просмотрим средний процент расхождения между параллельными стеклами, не принимая во внимание качественного состава бактерий, то он не будет превышать в 40 полях зрения 10%, лишь для пруда у мостика, достигая величины 13,7% и то, как результат выше отмеченного, нахождения в одном стекле зооглей кокков. В общем мы пришли к выводу, что при подобной плотности населения, которое имелось в случаях, приведенных в табл. II, достаточная точность для определения общего количества бактерий достигается путем подсчета их в 40 полях зрения сетчатого окуляра.

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ЭКСПОЗИЦИИ СТЕКОЛ.

Выше мы отметили, что одним из существенных моментов для получения удовлетворительного ответа является удачный выбор времени экспозиции стекол.

Для решения правильности этого положения, мало конечно одних только теоретических предположений, нужна практическая их проверка.

С этой целью нами проведены две серии опытов, одна серия — в лесном Андреевом пруду, другая — в загрязняемом человеком «Крестьянском» пруду. Установки ставились на 3-х глубинах: у поверхности, посередине (на глубине

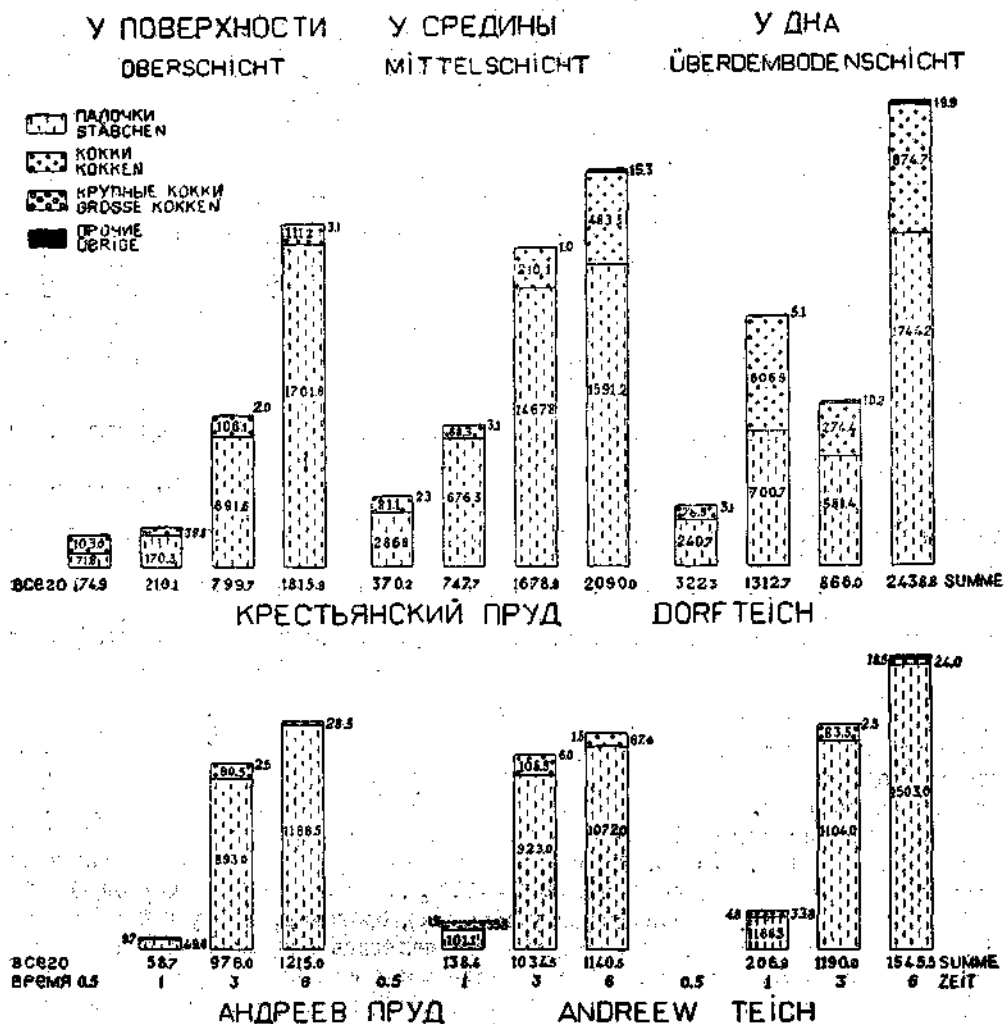


Рис. (Abb.) 2.

20—25 см от поверхности) и у дна. Стекла стояли от суток (в «Крестьянском» пруду даже полсутки) до 6 суток. Результаты просчета этих стекол представлены диаграммами рис. 2 и кривыми рисунка 3-го. Уже из диаграмм видно, что наиболее четкие результаты, в смысле расхождения количества бактерий в загрязненном и незагрязненном человеком прудах, наблюдались в однодневных обрастаниях. Из кривых это явствует особенно отчетливо. Кривые эти построены следующим образом: точки кривых указывают на процент расхождения между количеством бактерий параллельного анализа (по месту и длительности экспозиции стекол) в Андреевом и «Крестьянском» прудах. Количество бактерий в последнем принималось каждый раз за 100%. Точки, стоящие выше 0, указывают на соответствующее процентное уменьшение количества бактерий в Андреевом пруду, наоборот,

ниже 0⁰/₁₀₀ — на увеличение количества бактерий в этом пруду по сравнению с «Крестьяновки».

Из этих кривых мы ясно видим, что наибольший процент расхождения между количеством бактерий загрязненного и слабо загрязненного пруда наблюдается в однодневных установках и на всех глубинах он равен примерно 80%. В 3-х дневных и 6-дневных установках идет некоторое сглаживание.

Таким образом, вывод ясен. Наиболее четкие результаты получаются в кратковременных установках. Теперь важно решить вопрос о месте экспозиции стекол.

МЕСТО ЭКСПОЗИЦИИ СТЕКОЛ.

Для этого займемся анализом тех же диаграмм и кривых, которые только что разобрали (рис. 2 и 3). Поверхностные установки, как это видно из кривой, дают значительные колебания. В некоторых случаях, цифры, полученные от общего счета бактерий в загрязненном пруду, могут получиться меньше, чем в более чистом. Такое явление наблюдалось, например, на 3-х суточных обрастающих. Это может быть объяснено действием инблации, ветра и т. д. Но отчего бы оно не зависело, ясно, что для наших целей пользоваться установками в поверхностном слое не годится.

Оставаясь на установках в придонном слое, мы прежде всего должны отметить, что здесь заметную роль играют донные выходы — главным образом, нитчатые бактерии, плесневые грибы, споры типа *Fusarium* и т. д. Таким образом, бактериальное обрастание отражает здесь не только состояние самой воды, а также и особенности дна. В количественном составе заметны значительные колебания; в некоторых случаях, при параллельном анализе, количество бактерий в незагрязненном человеком пруду может превосходить количество бактерий в постоянно загрязняемом пруду. Это явление вероятнее всего должно быть объяснено тем, что трудно ставить стекла в придонном слое без взмучивания ила. В одном случае ил мы взмутили больше, в другом меньше, и отсюда получается пестрота результатов.

Здесь нужно отметить особенность бактериального перифитона придонных слоев в этих прудах. На глубоком озере (Карзинкин, 5) придонный слой воды давал почти всегда сильное уменьшение количества бактерий по сравнению с их количеством как вышележащего слоя, так и самого ила. В разобранных прудах наблюдается как правило, обратная картина, т. е. увеличение абсолютного количества бактерий в придонном слое по сравнению с слоями воды, лежащими выше.

Одним из авторов (Карзинкин, 6) уже ранее отмечалось, что воздействие дна на биоценозы перифитона может выражаться двояким образом. В одном случае, при одном свойстве ила, это воздействие может обуславливать наличие почти безжизненного придонного слоя воды; в другом случае, при других особенностях ила, наоборот, количество бионтов биоценоза может увеличиваться. Но, конечно, и в том и в другом случае мы будем вправе говорить, что придонный слой является

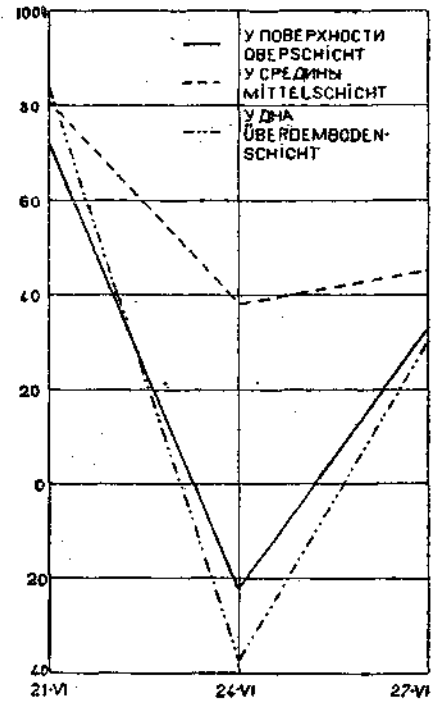


Рис. (Abb.) 3.

естественной границей перифитона, так как во всех случаях тут легко обнаружить воздействие дна и населяющего его бентоса.

Наконец, если перейдем к рассмотрению результатов подсчета количества бактерий в среднем слое (см. диагр. рис. 2 и рис. 3), то заметим, что здесь наблюдается наиболее четкая картина. Во всех случаях «Крестьянский» пруд дал явно большее количество бактерий, чем Андреев, и в обраставших от полусуточных к шестидневным пло все время нарастание количества бактерий.

Таким образом, для наших целей средние глубины (20—30 см от поверхности воды) пруда — вот лучшее место экспозиции стекол.

БАКТЕРИАЛЬНЫЕ ОБРАСТАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ПРУДАХ.

На основании сделанных анализов мы пришли к выводу, что для наших целей наиболее удачным местом экспозиции стекол в прудах являются слой воды в 20—30 см от поверхности и достаточно удаленные от дна и, что кратковременные установки дают наиболее отчетливую картину.

Экскурсия, которая была совершена нами 16/VII 33 г., отчасти подтверждает правильность сделанных выводов, и так же, как и последующая за этой экскурсия, показывает пригодность метода для санитарной оценки вод. 16/VII мы посетили 6 прудов разной степени и характера загрязнения.

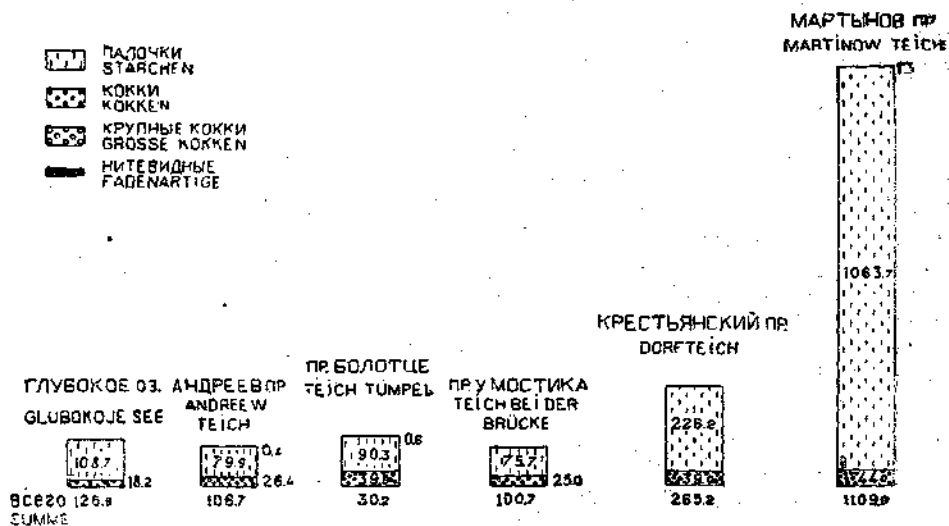


Рис. (Abb.) 4.

В эти пруды, в среднем слое воды (20—25 см от поверхности), помещались на 12 часов вышеописанным способом предметные стекла. Результат анализа представлен диаграммами рисунка 1-го, где пруды расположены в порядке возрастающего загрязнения, от прудов заболоченных и не загрязненных человеком до Мартыновского пруда α-мезосапробного типа с загрязнениями стоками из хлева.

Как мы видим получилась весьма стройная картина. При этом 16/VII все пруды, о ладающие естественным загрязнением мезосапробного типа, могут еще характеризоваться значительно большим процентом встречаемости кокков, чем пруды искусственно загрязняемые.

Следующая экскурсия была совершена нами 24/VII, когда опять-таки в целый ряд прудов, в пределах среднего слоя воды были поставлены стекла на срок 9 часов. Параллельно с бактериальными обраставаниями из этих же прудов были взяты образцы воды для химического анализа. Результат химического анализа сведен в табл. I, а подсчет бактерий дан в диаграммах рисунка 4-го. Из сопо-

сравнения мы видим, что опять наблюдается хорошее совпадение между результатами химических анализов и прямого счета бактерий на стеклах. Мартынов пруд, наиболее загрязняемый отбросами, животного происхождения, с высокой окисляемостью, большим количеством аммиака и малым количеством нитратов, дает одновременно и максимальное количество бактерий. Затем, на втором месте по химическим показателям, по степени загрязнения стоит Крестьянский пруд. И по количеству бактерий он также занимает второе место. Пруд у мостика, как мы уже указывали, 24/VII находился в конечной фазе своей самоочистки. Там почти отсутствовал аммиак и было много нитратов. Подневища давно уже не наблюдалось. Количество бактерий в этом пруду оказалось таким же, как и в лесном Андреевском пруду, т. е. минимальным.

Сравнительно высокую цифру бактерий дал пруд-болотце, и надо отметить, что в это время в пруду была весьма мутная вода, как следствие стока дождевых вод с прилежащего суглинистого картофельного поля. Глубокое озеро дает цифру бактерий, близкую к пруду-болотцу. Это интересно отметить, так как непосредственный учет количества бактерий в воде Глубокого озера вообще показывает значительные цифры бактерий по сравнению с другими озерами (Карзинкин и Кузнецов, 7; Россолимо и Кузнецова, 9), но в общем пруды, явно загрязняемые человеком, резко отличаются по обилию бактериальных обрастаний от прудов с более слабым загрязнением, главным образом естественного происхождения.

Подобная же экскурсия была совершена нами по ряду водоемов 28/VIII, когда температура воды в этих водоемах значительно снизилась. Нам представлялось интересным попытаться уловить различие в степени загрязнения водоема по однодневным обрастаниям в это время. Мы, конечно, ожидали, что, в связи с падением температуры, будет наблюдаться задержка развития бактерий во всех водоемах, но, с другой стороны, в лесных прудиках, со значительным затенением, должно было происходить уже более сильное естественное загрязнение за счет отмирания водной флоры этих прудов и за счет падающих в воду листьев. Так, в лесном Андреевом пруду наблюдалось значительное отмирание мха, покрывавшего дно водоема. Анализ кислорода в это время показывает, что из всех обследованных прудов, в этом пруду количество растворенного в воде кислорода было наименьшим (см табл. III). По содержанию же H-ионов, вода здесь обладала наивысшим показателем (рН 6,2—6,3).

Таблица III.

Химический анализ 27—28/VIII—33.
Chemische Analyse von 27—28/VIII—33.

*Tabelle III

Название водоемов Becken	t°C		O ₂ mg/l		pH	
	27/VIII	28/VIII	27/VIII	28/VIII	27/VIII	28/VIII
Глубокое озеро Glabokoje See	16,80	15,9	10,01	8,44	7,4	7,2
Андреев пруд Andreev Teich	15,80	14,18	3,99	2,91	6,3	6,3
Пруд Болотце Teich-Tümpel	15,55	14,70	7,58	8,87	6,4	6,4
Крестьянский пруд Dorf Teich	16,40	14,75	9,49	7,87	8,0	8,0
Мартынов пруд Martynov Teich	15,00	14,10	4,64	2,8	7,2	7,2

Общий счет бактерий односуточного перифитона показал (см. диаграммы рис. 5-го) наибольшее количество бактерий опять в Мартыновом пруду (996 тыс. бактерий на 1 кв см), затем идет «Крестьянский» пруд (329 тыс. на 1 кв см), давший по общему количеству бактерий цифру, близкую к Андрееву пруду (313 тыс. бактерий на 1 кв см). Далее Глубокое озеро и, наконец, минимальное количество бактерий оказалось в Пруд-Болотце.

В общем к осени с падением температуры и с усилением загрязнения лесных прудов начинает (в 1-суточном перифитоне) несколько сглаживаться отличие

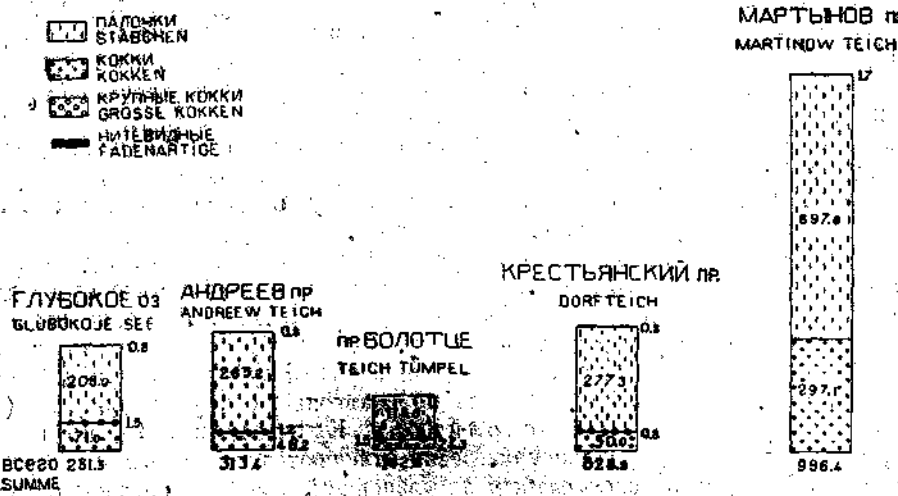


Рис. (Abb.) 5.

между прудами, не сильно загрязненными человеком и водоемами естественного загрязнения.

Перейдем к изменению процесса обрастания в связи с температурой.

ИЗМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОБРАСТАНИЯ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ.

Приводимая таблица IV-я дает нам некоторое представление по затронутому вопросу. Она страдает отсутствием приведения к единице времени. Для этого мы

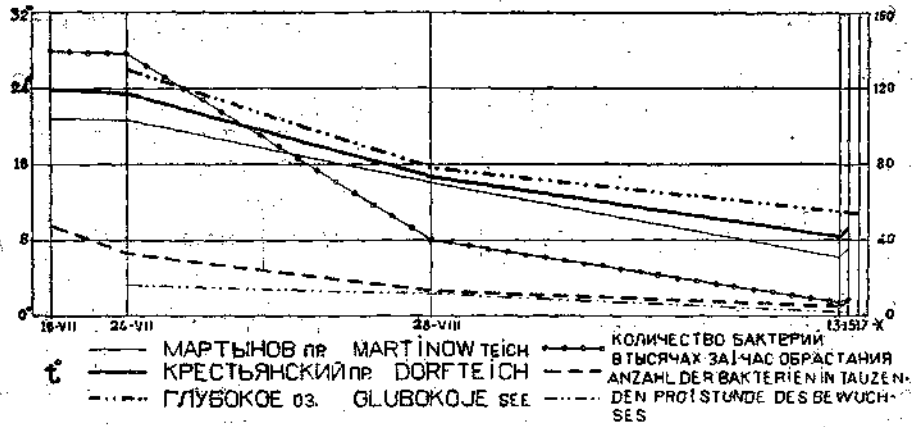


Рис. (Abb.) 6.

сделали пересчет количества бактерий, развившихся за тот или иной промежуток времени, на 1 час и полученные данные выразили в следующих кривых (см. рис. 6). Из них мы видим, что интенсивность процесса сильно связана с температурой. К осени она во всех водоемах сильно падает, так что происходит почти полное совпадение интенсивности обрастания в Мартыновом и «Крестьянском» пруду.

Таблица IV.

Изменение интенсивности процесса обрастания.
Intensität-Veränderung am Bewuchs-Prozesse.

Tabelle IV.

Дата Datum	Длительность установки Dauer der Anlage	Сумма бактерий на 1 кв см в тысячах Summe der Bakterien auf 1 cm ² in Tausenden				°C			
		Глубокое озеро Glabokoje See	Крестьянский пруд Dorf Teich	Мартьяновский пруд Martynow Teich	Глубокое озеро Glabokoje See	Крестьянский пруд Dorf Teich	Мартьяновский пруд Martynow Teich		
16/VI	1/2 суток 12 Stunden	—	569,2	1672,8	—	23,9	20,7		
24/VI	1/4 суток 6 Stunden	126,9	265,2	1109,0	15,8	23,4	20,7		
28/VIII	Сутки 24 Stunden	281,3	318,9	996,4	16,9	14,75	14,3		
13/X	Сутки 24 Stunden	—	147,7	170,6	—	8,4	8,2		
14/X	Двухсуточная 48 Stunden	—	388,2	402,2	—	9,4	9,3		
15/X	Трёхсуточная 72 Stunden	112,9	—	—	11,0	—	—		

Правда, надо иметь в виду, что к осени Мартьянов пруд значительно очистился. В нём появились уже ряд зеленых водорослей, и это сглаживание не может быть отнесено только за счет различия температуры. Но, во всяком случае, для получения более четкого ответа поздней осенью с температурой воды около 8—10° нужна более длительная экспозиция стекол.

К ВЫЯСНЕНИЮ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА БАКТЕРИАЛЬНОГО ПЕРИФИТОНА.

Естественно, что, работая с общим счетом бактерий перифитона, мы попытались выяснить хотя бы отчасти и состав бактерий этих обрастаний. Как известно, учет даже одних только сапрофитов дает нам некоторое указание на степень загрязненности водоема. А по учету *Bacterium coli* мы уже можем говорить в известной мере о характере загрязнения. И вот, для изучения качественного состава обрастаний мы воспользовались методом, применяемым в практике микробиологической лаборатории Института Удобрения при работе с почвой. Метод был нам сообщен С. И. Кузнецовым.

Параллельные к общему счету стекла, стоявшие в том или ином водоеме, вынимались из воды и переносились во влажной камере (см. раздел методики) в лабораторию. Здесь эти стекла подвергались заливке той или иной питательной средой и помещались в чашках Петри, во влажной камере в термостат для проращивания при определенной температуре.

Такие наблюдения были проведены нами 28/VIII одновременно с общим учетом количества бактерий перифитона и кратким химическим анализом. Ряд стекол был залит пептоно-агаровой средой с глюкозой, допускающей развитие большинства сапрофитов, и поставлен на сутки в термостат при температуре около 30°. По истечении этого времени подсчитывалось количество колоний на стеклах. Результаты подсчета сведены в таблицу V. Из нее мы видим, что наблюдается наибольшее развитие сапрофитов там, где общий счет также давал наибольшие цифры. На первом месте идет Мартьянов пруд, затем «Крестьянский» пруд, потом лесной Андреев пруд, в котором обнаружилось естественное загрязнение, затем Пруд-Болотце и, наконец, Глубокое озеро.

В последних двух водоемах не наблюдается параллелизма между количеством бактерий, полученным по общему счету и количеством проросших сапрофитов.

Это, конечно, указывает на большую специфику бактериальной флоры Глубокое озеро. *Vacillus mycoides* в обрастаниях был обнаружен только в прудах, значительно загрязненных. Ни в Пруд-Болотце, ни в Глубоком озере его

Таблица V.

Tabelle V.

Количество колоний микроорганизмов проросших на 1 кв см предметного стекла 28/УШ—33.
Anzahl der Mikroorganismen-Kolonien, ausgewachsen auf 1 cm² des Objektträgers 28/УШ—33.

Название водоемов Becken	На нейтральном агаре с глюкозой Pepton-Agar mit Glukose				На Эндо-агаре Endo-Agar	% Сапрофитов проросших на Эндо-агаре % der Saprophyten ausgewachsen am Endo-Agar
	Vac. Mycoides	Плесневые грибы Pilzen	Прочие Übrige	Сумма Summe		
Мартынов пруд Martynow Teich	51	57	389	497	23	4,5
Крестьянский пруд Dorf Teich	15	93	309	417	50	11,9
Андреев пруд Andreev Teich	36	30	157	223	38	17,0
Пруд — Болотце Teich — Tümpel	0	45	39	84	37	44,0
Глубокое озеро Glabokoje See	0	9	42	51	18	35,3

обнаружить не удалось. Плесневые грибы встречались на всех стеклах. Наименьшее количество плесеней наблюдалось на стеклах из Глубокого озера. Очень значительную группу от проросших сапрофитов составили колонии палочек, сведенные в группу «прочих». Для выяснения однородности этой группы в различных прудах мы прибегли к заливке двух параллельных стекол из каждого водоема более эффективной средой эндоагаром, содержащим лактозу. Результат проращивания бактерий на этой среде с последующим их подсчетом также приведен в табл. V. Здесь же дано процентное соотношение сапрофитов, выросших на эндоагаре к общему количеству сапрофитов, выросших на нейтральном агаре с глюкозой. Отсюда мы видим, что Пруд-Болотце и Глубокое озеро обладают более сходной сапрофитной флорой. На эндоагаре из Прудка-Болотца проросло 44,0%, из количества сапрофитов, выросших на агаре с нейтральной глюкозой; из Глубокого озера на эндоагаре проросло 35,3%. Затем идет Андреев пруд, показавший только 17%. Это все водоемы, по преимуществу с естественным загрязнением «Крестьянский» пруд дает 11,9% и, наконец, Мартынов показывает наименьший процент проросших на эндоагаре бактерий (4,5%) от общего количества сапрофитов.

Отсюда мы вправе вывести заключение о специфике сапрофитов разных водоемов.

Этой же средой (эндоагаром) нами были залиты стекла, простоявшие в водоеме сутки, на учет бактерий группы *coli*. Во всех случаях мы получили отрицательный результат. Повторная проверка, проведенная нами 15/IX—33 г., опять не дала положительных результатов. Обычи м же методом на чашках Петри как в воде Мартыновского, так и «Крестьянского» пруда, *Bacterium coli* были обнаружены. Перед нами встал вопрос причины отсутствия их в перифитоне. Одним из возможных моментов мы считали, что бактерии группы *Vac. coli* не способны раз виваться на стеклах и при вытаскивании стекол из воды, будучи неприкрепленными к ним, об что смываются вместе с стекающей водой. Для проверки этого предположения нами были проведены следующие опыты. Было взято два стеклянных аквариума, вме тимостью в 10 л.

Они были наполнены водой, в которую была внесена культура *Bacterium coli* из расчета 7 и 14 клеток *Vac. coli* на 1 куб см.

Сюда же были помещены чистые предметные стекла, которые укреплялись при помощи ниточек по стенкам сосуда. Аквариумы были защищены от доступа солнечного света. Температура, при которой протекали опыты, колебалась между 15 и 17°. Затем, в течение трех дней брались по два стекла из каждого аквариума и заливались эндоагаром. По прошествии первых суток ни на одном из четырех стекол не удалось обнаружить присутствие *Bacterium coli*, несмотря на то, что посев на чашках показал в это время в воде аквариумов даже 10-ти кратное ее увеличение против первоначальной разводки. По прошествии двух суток все