

ТРУДЫ
ЛИМНОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ
В КОСИНЕ

17

ARBEITEN DER LIMNOLOGISCHEN STATION ZU KOSSINO
DER HYDROMETEOROLOGISCHEN ADMINISTRATION DER USSR

МОСКВА — MOSKAU
ИЗДАНИЕ ЛИМНОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ В КОСИНЕ
1934

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АЗОТНОГО, ФОСФОРНОГО И КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА ГЛУБОКОГО И БЕЛОГО ОЗЕРА.

С. И. Кузнецов.

Подходя к изучению баланса водоема в целом, в первую очередь приходится сталкиваться с его микронаселением. В самом деле, применение методов непосредственного учета бактерий в воде озер (Cholodny N. 1929, Кузнецов и Карзинкин 1931, Разумов 1932) показало, что количество бактерий зачастую достигает до 1 миллиона и выше на 1 см^3 воды; с другой стороны на основании целого ряда химических исследований чистых водоемов, выяснилось, что мы имеем дело обычно с очень небольшими количествами питательных веществ, порядка сотых долей мг/л в виде аммиака, нитратов, фосфора и т. п. Таким образом становится понятным, насколько быстро могут происходить значительные изменения физико-химических свойств водоема от деятельности микрофлоры.

Изучением бактериальной флоры водоемов занимался целый ряд авторов. Minder L. (1918), Fred E., Wilson F. и Davenport (1924) ограничились учетом количества бактерий на агаровых пластинках. Snow, L. и Fred (1926) изучали также отдельные виды пигментных бактерий, встречающиеся в озере Мендота и старались подойти к учету общего числа бактерий микроскопическим методом.

Domogalla, B. Fred, E. и W. Peterson (1926) учитывали активность процессов нитрификации и денитрификации в ряде озер, применяя метод Remi.

A. & Margs (1918) изучая вопросы самоочищения воды, выделил из Женевского озера ряд видов планктонных пигментных бактерий на средах бедных азотом, что по мнению автора указывает на их олиготрофию. Он произвел также целый ряд опытов с бактериями береговой зоны и ила, изучая их отношение к разложению нитратов, образованию индола и т. п.

Салимовская—Родина (1932) обследовала ряд образцов воды Онежского озера из пелагической зоны во время гидрологических разрезов, а также вела стационарные наблюдения около берега. Подобно предыдущим авторам она останавливалась в основном на изучении бактерий связанных с круговоротом азота. Применение метода Хильгнера дало ей возможность установить в воде и илах озера действительные количества аммонификаторов, нитрификаторов, мочевых бактерий и фиксаторов азота. Количества этих бактерий в Онежском озере оказались не велики. К сожалению автор не приводит данных химических анализов, характеризующих водоем по содержанию в нем азота и фосфора и отсюда ей не удалось получить соответствия в распределении бактерий с данными физико-химических анализов.

В области изучения круговорота серы в водоеме определенный интерес представляет работа Dugelli (1924) на Ritomsee.

Указанный водоем начиная с глубины 12—15 м содержал значительные количества сероводорода. Автор нашел, что сероводород образуется в результате восстановления сульфатов и это откладывает определенный отпечаток на вертикальное распределение бактерий.

С глубиной количество бактерий падало, но в зоне соприкосновения воды, содержащей кислород и сероводород наблюдался четко выраженный максимум. Особенно много было серных бактерий типа *Chromatium*. В слоях, содержащих сероводород обычная микрофлора почти полностью отсутствовала.

В результате сильных колебаний уровня воды, благодаря искусственному спуску озера, сероводородный слой был ликвидирован, произошла полная циркуляция воды и распределение бактерий выравнивалось.

Более широко к изучению микробиологических процессов в Lhunzer Untersee подошли Klein и Steiner (1928).

Их основной задачей было биолого-химическое изучение водоема. Первое их сообщение было посвящено изучению основных видов бактерий, участвующих в биологическом превращении веществ.

Наиболее важные периоды года они проводили определения различных типов бактерий: гнилостных, разрушающих мочевины, фиксирующих свободный азот из воздуха, нитрификаторов, денитрификаторов, десульфуризирующих и серных бактерий. Путем сравнения опытов с параллельным изучением естественных условий в озере, вводилась поправка к данным, которые были получены в лабораторных условиях. Одновременный учет метеорологических условий дал возможность авторам представить ориентировочно картину микробиологических процессов протекающих в озере в течение годового цикла.

В настоящем исследовании мы подходили к изучению водоема несколько с иной точки зрения. Нам хотелось уяснить, какую роль играют отдельные группы микроорганизмов в общем круговороте веществ в воде озера. Поэтому мы одновременно вели химический и бактериологический анализ воды, стараясь по возможности учесть количество самих микроорганизмов, находящихся в водоеме при данных физико-химических условиях. Мы избегали судить о ходе процесса на основании жизнедеятельности микроорганизмов в питательной среде в искусственной лабораторной обстановке, как к этому подходили большинство из указанных авторов.

Своей задачей мы поставили выяснить насколько микрофлора может влиять на азотный, фосфорный и кислородный режимы водоема. В качестве объектов исследования были выбраны Белое озеро в Косине и Глубокое озеро в Можайском районе Московской области, как два достаточно хорошо описанных (Воробьев, Н. и Троицкий, И. 1907. Гольцов, П. 1914 и Россолимо, Л. 1925) и резко отличающиеся друг от друга водоема. В настоящей работе принимали участие С. Кузнецов, Р. Ленина, З. Кузнецова и Л. Кдокова. Наблюдения велись с февраля 1932 г. по сентябрь 1933 г.

1. АЗОТНЫЙ РЕЖИМ.

Наиболее полно азотный режим исследовался американскими авторами на Висконсинских озерах. Domogalla, B. Juday, C. и W. Peterson (1925) исследовали, формы в каких азот встречается в озерной воде, установили наличие сезонных колебаний отдельных форм азота. Peterson, W. Fred, E. и B. Domogalla (1925) детально изучили отдельные составные части органического азота в озерной воде. В каждом из исследованных образцов воды они определяли количество триптофана, тирозина, гистидина, аргинина и цистина. Количество первых — трех аминокислот было приблиз. 13 мг. на 1 куб. м воды, а для цистина около 4 мг на 1 куб. м. Растворимый азот был разделен на 12 различных форм и количество их было определено.

Domogalla, B. Fred, E. и W. Peterson (1926) колебания аммиачного и нитратного азота пытались увязать с сезонными колебаниями бактериальной флоры. Они отмечают, что содержание аммиака и нитратов достигает максимума приблизительно в марте в тот момент, когда аммонификация и нитрификация наиболее активны. Заметное увеличение аммонификации в нижних слоях, особенно

в илу предшествует усилению нитрификации, которая особенно интенсивно идет в слое на 2 м выше ила.

Во второй половине лета, когда наблюдается быстрое падение кислорода восстановление нитратов идет более энергично чем в другое время. Таким образом по данным этих авторов аммонификация, нитрификация и восстановление нитратов, проходят одновременно, однако в различное время года некоторые из этих процессов бывают выражены сильнее чем другие, в одном и том же озере.

Domogalla, В. и E. Fred (1926) изучали колебания аммиака и нитратов в озерах около Мэдисона. Результаты их работы показали, что изменения различных форм азота и растворимого фосфора в воде озер тесно связаны с биологической активностью. Водоросли, водная растительность и денитрификаторы являются основными факторами, которые понижают в воде содержание азота и фосфора. Обратно нитрификаторы способствуют увеличению нитратов. Авторам также удалось показать на основании ряда анализов, что большие количества ручьевого и дренажной воды после сильных дождей заметно увеличивают число бактерий и влияют на химизм воды.

В Японии сезонные колебания нитратов и фосфора в Takasuka Numa, особенно подробно изучал S. Yoshimura (1932). Автор отмечает картину аналогичную американским озерам, летом в гипolimнионе количество аммиака и фосфатов возрастает, нитраты падают. По мнению автора они восстанавливаются до нитритов и аммиака в результате восстановительных процессов благодаря отсутствию кислорода. На основании проведенных наблюдений автор подсчитывает для Takasuka годичный бюджет азота и фосфора.

S. Yoshimura (1932) также обследовал целый ряд японских озер, и по содержанию фосфора и азота разбил их на 3 группы: эвтрофные $N=0,2$; $P=0,1$ мг на л., мезотрофные $N=0,2-0,1$ мг на л и $0,1-0,05$ мг P, и олиготрофные с содержанием $0,1-0,0$ N и $0,05-0,0$ P. Одновременно он отмечает, что вообще японские озера по фосфору беднее европейских и американских. Озера богатые азотом и фосфором мелят, богаты планктоном и рыбами, отличаются мутной и желтоватой водой. Бедные фосфором и азотом озера лежат обычно в кратерах потухших вулканов, вода их отличается большой прозрачностью и голубым оттенком, они бедны планктоном и рыбами.

Автор отмечает, что недостаток азота и фосфора обычно является фактором ограничивающим развитие планктона, а разрешение этого вопроса по мнению Yoshimura возможно путем применения физиологического метода, предложенного Grahn и Shreiber.

Содержание нитратов и фосфора на устричных банках в Норвегии в течение летнего периода исследовали Gaarder и Sprægek (1932). Изучаемый ими водоем достигал глубины всего 5 м и они также отмечают полное отсутствие нитритов и нитратов, несмотря на то, что ими применялся метод Гарвея. Фосфор был обнаружен лишь в некоторых случаях и то в незначительных количествах.

В нашей работе, кроме обычных наблюдений над температурой, pH и содержанием O_2 в Глубоком и Белом озерах, велись регулярные наблюдения над содержанием нитратов, по методу Гриваль-Лажу, минерального фосфора по Atkins и воднорастворимого органического вещества, по Кубелю.

Из микробиологических наблюдений производился общий учет бактерий микроскопическим методом (Карзинкин и Кузнецов 1931). Количество аммонификаторов определялось на агаровых пластинках по методу Коха. Количество денитрификаторов группы *Vac. Denitrofluogescens* и клетчатковых бактерий — по методу Хильтнера, видоизмененному в Науч. Инс. Удобрений (Разумов, А. 1925).

Также в различное время года были проведены отдельные анализы на нитрификаторов и бактерий усваивающих азот из воздуха.

При исследовании микробиологических процессов, связанных с азотным режимом водоема, из химических определений мы остановились на определении нитра-

тов именно потому, что они являются наиболее характерной величиной содержания минерального азота в водоеме. Также большое внимание мы уделяли и воднорастворимому органическому веществу, т. к. оно является одним из факторов ограничивающих процессы денитрификации.

Регулярных определений аммиака мы не делали, так как количества его в большинстве случаев были очень незначительны менее 0,05 мг на л. и лишь отдельные анализы показывали большие величины в придонных слоях Белого озера. Анализы общего азота также были проведены лишь один раз, так как по данным американских авторов, количество общего азота в течение года подвергается незначительным колебаниям.

Данные зимних анализов приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Количество органического азота в воде Белого и Глубокого озера.
Gehalt am organischen N im Wasser des Beloje und des Glibokoje Sees.

Tabelle 1.

Глубокое Glibokoje	26/II—1932 г.	Белое Beloje	11/IV—1932 г.
Глубина в м Tiefe in m	Азот в мг/л. N in mg/l.	Глубина в м Tiefe in m	Азот в мг/л. N in mg/l.
0	0,597	0	0,98
10	0,840	3	1,03
29	0,855	7,5 12	1,36 1,42

Из таблицы видно, что Белое озеро обладает несколько большим запасом общего азота, чем Глубокое.

Режимы нитратов Белого озера и Глубокого озера резко отличаются друг от друга. Из табл. II видно, что Глубокое озеро сравнительно очень богато нитратами. В металимнионе и гиполимнионе нитраты держатся в течение круглого года, достигая в летние месяцы почти 0,5 мг. на 1 л. воды. Исчезают они лишь в эпилимнионе с июня по сентябрь, в момент наибольшего развития планктона, да и то не каждый год.

В 1933 г. в связи с более низкой температурой воды развитие планктона началось значительно позднее чем в 1932 г., и в течение всего летнего периода мы наблюдали также и в эпилимнионе значительное количество нитратов.

Таблица II.

Глубокое озеро. Glibokoje See.
Азот нитратов в мг на л. Nitraten-Stickstoff in mg/l.

Tabelle II.

Глубина в м Tiefe in m	1932							1933				
	26/II	1/IV	18/V	25/VI	25/VII	30/VIII	7/XI	12/I	1/V	7/VI	7/VII	31/VIII
0	0,13	0,32	около Са	0,00	0,00	0,00	0,20	0,19	0,39	0,506	0,287	0,248
3	—	—	0,25	—	0,12	—	—	—	—	—	0,275	—
4	—	—	по всем	—	—	—	—	—	—	—	0,340	—
7	—	0,25	уровням	0,16	—	0,00	0,20	0,18	0,39	0,679	0,347	0,240
6	—	—	in allen	—	—	0,27	—	—	—	—	—	0,253
8	—	—	Schichten	—	0,40	—	—	—	—	—	—	—
10	0,18	0,24	—	0,18	0,40	0,34	0,21	0,18	0,31	0,285	0,347	0,253
15	—	—	—	—	—	—	0,21	0,15	—	—	—	—
20	0,18	0,24	—	0,34	0,43	0,30	0,21	0,15	0,31	0,563	0,268	0,248
30	—	—	—	0,40	0,45	—	—	0,13	0,38	0,563	0,209	0,227

Иная картина наблюдается в Белом озере (табл. III). Там нитраты своего максимума достигают в зимние месяцы, а начиная с мая по октябрь азота нитратов меньше 0,01 мг. на л., при чем в противоположность Глубокому озеру исчезновение нитратов идет по всем горизонтам вплоть до самого дна.

Однако и здесь, более низкие температурные условия 1933 г. способствовали более замедленному падению нитратов. В самом деле (табл. II), хотя уменьшение нитратов началось в обычное время — в марте, количество их в течение всего лета выражалось 0,01—0,03 мг. на л., и лишь в августе спустилось до тысячных долей миллиграмма. Это примерно совпадает с моментом наибольшего цветения озера.

Таблица III.

Tabelle III.

Белое озеро. Beloje See.
Азот нитратов в мг на 1 л. Nitraten-Stickstoff in mg/l.

Глубина в м Tiefe in m	1932 г.										1933								
	6/II	10/III	11/IV	11/V	15/VI	12/VII	10/VIII	13/IX	13/X	14/XI	15/XII	25/I	26/II	14/IV	15/V	15/VI	15/VII	15/III	16/IX
0	—	—	—	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Сл. Spu- ren	0,11	—	—	Сл.	0,013	0,018	0,009	0,00	0,000
1,5	0,13	0,06	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—	0,393	0,193	—	—	—	—	—	—
3	0,24	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—	0,12	0,523	0,278	0,024	0,017	0,019	0,007	0,00	0,000
5	—	—	—	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—	0,12	0,307	0,384	0,015	0,018	0,025	0,002	0,00	0,000
7	0,16	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—	0,12	0,253	0,287	0,017	0,021	0,066	0,003	0,00	0,000
12	0,23	сл. Spu- ren	—	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—	—	0,181	0,015	0,00	0,021	0,041	0,007	0,00	0,000

При выяснении причин динамики нитратов необходимо водоем разбить на два слоя: эпилимнион и металимнион с гиполимнионом.

В эпилимнионе Белого и Глубокого озер исчезновение нитратов обуславливается в основном деятельностью фитопланктона.

В табл. 4 приведены данные Б. Е. Успенского (1932) на основании опытов с чистыми культурами в искусственной среде до каких пределов некоторые из водорослей способны вытягивать нитраты из раствора.

Анализ относится по преимуществу к бентосным формам, по отношению к большинству типичных планктонных форм данных нет, но все же из таблицы видно, что водоросли могут обусловить падение нитратов до тысячных долей миллиграмма на литр.

Таблица IV.

Tabelle IV.

	Предел вытягивания нитратов Grenze des Verbrauchs der Nitraten	Содержание нитратов при хорошем росте Nitraten-Gehalt bei gutem Wachstum
	в мг на л. in mg/l.	
<i>Spirogyra varians</i>	0,050	20
<i>Spir. inflata</i>	0,010	1
<i>Spir. longata</i>	0,0028	1
<i>Spir. lacustris</i>	0,008	0,1
<i>Oedogonium capillare</i>	0,005	20
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0,004	20
<i>Melosira varians</i>	0,060	1

В металимнионе и гипolimнионе фитопланктон как в том, так и другом озере встречается в виде единичных экземпляров и, таким образом, вся динамика нитратов целиком увязана с деятельностью бактериальной флоры водоема.

Исчезновение нитратов может происходить в результате двух процессов: 1. Нитраты переходят в белковый азот самих бактерий, 2. Нитраты разлагаются в результате деятельности денитрификаторов.

К учету величины биологической ретроградации азота можно подойти, исходя из соображений Акад. Костычева (1927). По его данным в 100 миллиардах бактерий содержится около 12 мг азота, таким образом увеличение количества бактерий в 1 см³ воды на 100 тысяч может вызвать потерю нитратов за счет использования их на построение белкового азота приблизительно в 0,012 мг азота на 1 л воды. В табл. V мы приводим данные учета общего количества бактерий в Белом озере, из таблицы видно, что летом количество бактерий возрастает по отношению к зимним данным иногда до 1 миллиона и выше на 1 см³, что будет соответствовать потерям нитратов порядка 0,2 мг на 1 л воды, т. е. тому, что мы наблюдаем в действительности.

Таблица V.

Tabelle V.

Количество бактерий в Белом озере (в тысячах на 1 см³).
Anzahl der Bakterien in Beloje See (in Tausenden auf 1 cm³).

Глубина в м Tiefe in m	1932 г.												1933 г.					
	6/II	10/II	11/IV	11/V	12/VI	10/VII	13/IX	13/X	14/XI	15/XII	25/I—1933 г.	26/II	14/IV	15/V	15/VI	15/VII	14/VIII	16/IX—1933
0	—	—	—	830	2672	1395	706	1 995	1 495	1 993	—	—	1 170	885	3 401	2 810	3 500	3 492
1	379	946	621	—	—	—	—	—	—	—	625	156	—	—	—	—	—	—
3	801	991	435	858	833	1200	1 850	1 840	1 397	877	358	351	676	410	4 602	3 338	4 100	2 850
5	—	—	—	—	1793	3145	—	—	—	—	2 132	355	380	608	454	2 380	3 349	4 100
6	—	—	—	—	1696	5815	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	443	—	621	1534	1784	3520	—	2 700	—	2 755	2 187	537	743	—	2 013	1 590	1 265	2 030
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	495	—	—	—	2 550
10	—	—	—	1280	—	—	5 320	1 304	3 130	—	1 113	1 968	—	—	—	—	—	—
11	—	—	—	—	—	—	8 430	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	773	851	2045	3240	4678	4830	3 225	1 585	7 421	2 502	800	1 854	1 526	1 301	1 607	2 734	3 470	11 455

Таблица VI.

Tabelle VI.

Количество бактерий в Глубоком озере (в тысячах на 1 см³).
Anzahl der Bacterien in Glubokoje See (in Tausenden auf 1 cm³).

Глубина в м Tiefe in m	1932 г.									
	26/II	1/IV	25/VI	30/VII	7/XI	12/I—1933 г.	1/X	7/VI	7/VII	31/VIII
0	—	—	436	1 730	1 751	—	890	1 484	900	858
1	405	519	—	—	—	946	—	—	—	—
3	—	—	568	—	—	—	—	—	800	—
4	—	—	849	—	—	—	—	—	873	—
5	340	418	—	134	3 240	676	712	1 087	665	994
6	—	—	—	725	—	—	—	—	—	706
8	—	—	826	607	—	—	—	—	—	—
10	770	282	—	257	2 017	657	230	730	930	855
15	—	—	—	—	1 334	693	—	—	—	—
20	620	—	754	640	1 302	623	486	600	814	1 040
30	575	—	348	894	1 609	666	523	543	795	855

Однако сравнивая данные общего учета бактерий по Белому озеру с Глубоким (табл. VI), мы видим, что здесь летом в гипolimнионе при увеличении общего числа бактерий увеличивается и количество нитратов.

Очевидно, что процессы нитрификации здесь идут более энергично, чем процессы денитрификации и биологической ретроградации.

Нитраты являются некоторой результирующей величиной ряда процессов: нитрификации, аммонификации, усвоения азота воздуха, денитрификации, и, потеря нитратов в результате перехода их в тело бактерий, является лишь одной стороной дела. Если в Глубоком и Белом озерах потеря нитратов за счет биологической ретроградации выражается величинами одного и того же порядка и если процессы положительного баланса одинаково распространены в этих водоемах, как это будет видно из дальнейшего, то очевидно отсутствие нитратов летом в гипolimнионе Белого озера обуславливается в значительной мере процессами денитрификации. Это очень хорошо подтверждается и данными непосредственного учета денитрификаторов (табл. X). Анализы воды Белого озера показывают, что количество денитрификаторов летом 1932 г. выражалось тысячами и десятками тысяч на 1 см³ воды и резко снизилось лишь в декабре, а к началу года значительно возросли и нитраты. В 1933 г. количество денитрификаторов было в течение летних месяцев значительно меньше (табл. X); лишь отдельные анализы обнаружили 4000 на 1 см³ и отсюда нам удалось наблюдать присутствие нитратов вплоть до августа.

В Глубоком озере количество денитрификаторов было почти в тысячу раз меньше чем в Белом озере, из тех же таблиц видно, что количество их обычно выражалось единицами или десятками на 1 см³ воды. В связи с этим, как мы уже указывали, Глубокое озеро резко отличается от Белого более значительным содержанием нитратов, которые максимальной величины достигают в гипolimнионе в летние месяцы.

Обратная картина наблюдалась в развитии бактерий разлагающих клетчатку. В Белом озере количество их было невелико, редко достигая десятков на 1 см³ воды, в Глубоком же выражалось в 1932 г. сотнями на 1 см³.

Более слабое развитие денитрификаторов в Глубоком озере можно объяснить недостатком легко усвояемого органического вещества, и конкурирующим влиянием клетчатку разлагающих бактерий. В самом деле, как указывала Т. М. Захарова (1929), развитие денитрификаторов зависит от трех основных факторов: наличия нитратов, легко усвояемого органического вещества и реакции среды.

РН, как в том так и в другом водоеме близко к 7 и таким образом не может служить ограничивающим фактором для развития денитрификаторов. Нитраты, как в том, так и в другом водоеме образуются в результате нитрификации аммиака, образовавшегося за счет процессов фиксации азота и аммонификации органического азота. Все эти микроорганизмы были обнаружены как в том, так и в другом водоеме. Очевидно процесс образования нитратов идет в том и другом водоеме и нитраты также в данном случае не являются ограничивающим фактором.

Таким образом форма и количество органического вещества, повидимому является в основном регулирующим началом процессов денитрификации в водоеме.

Органическое вещество в озерах изучали Birge E. и C. Juday (1927). Они обследовали целый ряд американских озер и нашли среди них только 2 озера, где количество органического углерода было меньше 3 мг на л; 68% обследованных озер содержало от 3,0 до 7,0 мг и 23% от 10 до 18 мг углерода органических соединений на л.

Озера, богатые органическим веществом, в свою очередь разделяются на бедные планктоном и богатые планктоном.

Отсюда видно и происхождение органического вещества. В одних водоемах оно образуется за счет деятельности и развития планктона (и к этому типу можно

отнести Белое озеро) в других за счет подтока гуминовых веществ из окружающих болот, — этот тип наиболее подходит к Глубокому озеру. Американские авторы определяли количество органического вещества, путем сжигания сухого осадка, мы же определяем органическое вещество по Кубелю, абсолютной увязки между величинами провести нельзя; однако данные окисляемости показывают, что летом всеюду мы имеем увеличение органического вещества. Последнее обстоятельство можно объяснить тем, что отмирающие в верхних слоях планктонные организмы, опускаются вниз и обогащают органическим веществом слой как мета — так и гипolimниона. Данные анализов органического вещества сведены в табл. X. Органическое вещество Белого озера вообще по преимуществу планктонного происхождения и увеличение его в летний период вызывает усиленное развитие денитрификаторов. Глубокое озеро богато гуминовыми веществами, которые являются весьма стойкими и лишь с трудом разрушаются микроорганизмами, таким образом в Глубоком озере при абсолютно высоких данных окисляемости, количество легко усвояемых веществ будет гораздо меньше, чем в Белом озере. И это очень хорошо увязывается с данными количества денитрификаторов, как по отдельным озерам, так и в течение годового цикла.

В самом деле, в связи с более слабым развитием планктона в 1933 г., окисляемость воды Белого озера была гораздо ниже, чем в 1932 г. (табл. X), количества денитрификаторов были заметно меньше, и нитраты, хотя и в небольших количествах, 0,01—0,03 мг/л., но сохранялись в течение всего лета.

Из процессов играющих положительную роль в азотном балансе нами ставились опыты с выделением азотобактера на среде Бейеринка и *Clostridium Pasteurianum* на среде Виноградского. Среда была разлита в колбочки Эрленмейера и заражалась по 1 см³ воды.

Как в Глубоком так и в Белом озере азотобактер и *Clostridium Pasteurianum* были обнаружены по всем уровням. Причем во время апрельского анализа 1932 г. с Белого озера при резко выраженной стратификации кислорода, развитие *Clostridium Pasteurianum* в пробах из слоев воды с низким содержанием кислорода шло интенсивнее чем с поверхности. Октябрьский анализ во время осенней циркуляции, показал довольно равномерное распределение *Clostridium Pasteurianum*, причем количество его колебалось от 40 до 100 клеток на 1 см³ воды, как видно из табл. VII.

Таблица VII.

Распределение *Clostridium Pasteurianum* в воде Белого озера (на 1 см³).

Tabelle VII.

Verteilung von *Clostridium Pasteurianum* im Wasser des Belofe Sees (auf 1 cm³).

Глубина в м Tiefe in m	15/VI—1932 г.	20/X—1932 г.
0	1	80
2	10	60
7	—	80
10	10	40
12	1	100

О процессах аммонификации мы судили по количеству бактерий развивающихся на пептон — глюкоза агаре.

Нужно отметить, что количество сапрофитов в Белом озере значительно больше, чем в Глубоком и повидимому и процессы аммонификации там идут более энергично. Максимум сапрофитов как в том, так и в другом водоеме наблюдался осенью.

Возможно, это явление частично связано с заносом их дождями с окружающего водосборного бассейна, как это указывают Fred, E., Wilson, F. и Davenport (1924), но во всяком случае оно связано и с более энергично идущими процессами аммонификации. Это видно из сентябрьского анализа 1932 г. в Белом озере, там резкое увеличение сапрофитов наблюдалось в гипolimнионе еще до момента осенней циркуляции, когда трудно предположить возможность заноса их из верхних слоев.

2. ФОСФОРНЫЙ РЕЖИМ.

Наиболее систематические наблюдения над содержанием фосфора в пресных водоемах были произведены в Америке и Японии. Juday, C., Birge, E., Kemmerer G. и R. Robinson (1928) обследовали 88 озер северо-западной части штата Висконсин. Им удалось обнаружить в этих озерах лишь очень небольшие количества водно-растворимого фосфора. В большинстве из обследованных ими озер количество фосфора выражалось в тысячных долях мг на 1 л. воды, причем, несмотря на усиленное развитие фитопланктона в верхних слоях, количество фосфора оставалось неизменным, или незначительно падало. Лишь в озере Магу растворимый фосфор отсутствовал в верхних слоях, но несмотря на это наблюдалось сильное развитие планктона. Отсюда указанные авторы в противоположность мнению Atkins, W. (1925), заключают, что фосфор не является фактором ограничивающим развитие фитопланктона. Авторы также отмечают, что им не удалось подметить связи между количеством центрофужного планктона и содержанием в воде органического фосфора.

В целом ряде японских водоемов динамику фосфора изучал Yoshimura, S. (1932). Особенно подробно им был обследован незамерзающий водоем Такасика около Токио. Количество растворимого фосфора в нем было очень невелико 0,0—0,005 мг на л. Автор анализировал воды втекающие в Такасика и отмечает, что в них количество растворимого фосфора особенно после дождей, достигает заметной величины, моменты наиболее значительного развития планктона совпадают с моментами наибольшего внесения фосфора с этими водами. Таким образом в Такасика фосфор является одним из факторов ограничивающих развитие планктона.

В результате своего обследования ряда японских озер, на содержание фосфора в верхних слоях в августе месяце, Yoshimura разбивает их согласно классификации Наумана, как мы уже отмечали выше, однако в основном он критикует распределение озер на типы различной трофии, указывая, что Такасика типичный эвтрофный водоем по содержанию фосфора в верхних слоях в августе 1930 г. не отличался от озера Inawashiro, типичного олиготрофного водоема.

Просматривая табл. X, где сведены анализы на фосфор по Белому и Глубокому озерам, мы можем отметить, что Белое озеро по фосфору богаче Глубокого.

В Белом озере нитраты во всей толще воды исчезают гораздо раньше чем фосфор. Лишь анализ от 13/X—1932 г., когда фактически уже началась осенняя циркуляция воды показывает полное отсутствие фосфора; последний начинает появляться в ноябре и лишь в декабре достигает заметных количеств. Мы также можем отметить, что распределение фосфора тесно увязано с распределением фитопланктона. В epilimнионе Белого озера фосфор падает до тысячных долей мг на 1 л. воды, но в слое мета- и гипolimниона, там, где по преимуществу идет развитие бактериальной флоры, фосфор присутствует в течение всего периода летней стагнации.

Обратную картину мы наблюдаем в мета- и гипolimнионе Глубокого озера, здесь содержание фосфора в течение периода летней стагнации постепенно падает во всех слоях вплоть до глубины в 30 м (30/VIII 32 г. табл. X) и вновь появляется в момент осенней циркуляции, достигая зимой своего максимума.

Сущность этого процесса по нашему мнению заключается в том, что в Глубоком озере для развития всей микрофлоры в первом минимуме находится фосфор, во втором минимуме азот. В Белом озере фосфор подтекает с окружающего водосборного бассейна, его больше и, поэтому, азот попадает в первый минимум.

3. БИСЛОРОДНЫЙ РЕЖИМ.

По изучению кислородного режима озер существует многочисленная литература. На ней мы останавливаться не будем отметим лишь, что Birge E. и C. Juday (1911) считают, что быстрота исчезновения кислорода в глубинных слоях воды зависит главным образом от трех факторов, от количества разлагающегося органического вещества, температуры воды, и объема воды ниже температурного скачка.

Чем больше разлагающегося вещества, чем выше температура воды и чем меньше объем озерной воды ниже скачка, тем быстрее идет исчезновение кислорода. Таким образом указанные авторы в основу поглощения кислорода кладут процессы протекающие в толще воды самого озера.

Другой точки зрения держится Alsterberg, G. (1927). Он считает, что исчезновение кислорода из толщи озерной воды происходит благодаря поглощению его илом озера. По его мнению конфигурация озерного ложа уже определяет его кислородный режим. Такого же мнения придерживается Yoshimura (1932) изучая лимнологию озера Biisu.

Нам кажется более правильной точки зрения Birge E. и C. Juday.

При изучении динамики кислорода в Глубоком озере (Карзинкин, Кузнецов и Кузнецова 1930) мы столкнулись с целым рядом фактов, которые противоречат теории Альстерберга. Нам удалось показать, что явление кислородного минимума никак не может быть увязано с конфигурацией ложа Глубокого озера, что в мета- и гипolimнионе не существует горизонтальных токов. Циркуляция воды от действия ветра возможна лишь в эпимлионе, а в более глубоких слоях, происходит лишь более или менее выраженное стекание придонного слоя воды в котловину озера.

Мы тогда уже пришли к убеждению, что за счет поглощения илом, исчезновение кислорода может происходить лишь в самой глубокой части озера, и что в основной массе воды исчезновение кислорода происходит благодаря жизнедеятельности бактериальной флоры самой воды.

Применение метода (Кузнецов и Карзинкин 1930) непосредственного счета бактерий в воде показало, что количества их зачастую держатся около 1 миллиона на 1 см³. Наши (Kusnetzow S. и G. Karzinkin 1931) расчеты на основании данных E. N. Harvey (1928) о количествах кислорода, которые бактерии могут поглотить в течение определенного промежутка времени, дали хорошее совпадение с динамикой кислорода в Глубоком озере.

Но у нас были лишь единичные данные анализов и поэтому в настоящей работе определены общее число бактерий микроскопическим методом проводилось в течение круглого года по различным горизонтам в Белом и Глубоком озерах. Сопоставляя данные анализов общего числа бактерий в Белом и Глубоком озерах (табл. V и VI), мы можем отметить, что количество бактерий в течение сезона меняется в числе довольно резко. Зимние анализы показывают наименьшее число бактерий, летом количество их увеличивается и наибольшей величины достигает осенью. Процессы эти идут аналогично в том и другом озерах, с той лишь разницей, что в Белом озере, абсолютное количество бактерий больше чем в Глубоком. Особенно заметной эта разница становится в летние месяцы. Так в Глубоком озере максимальное количество бактерий достигало в ноябре 1932 г. 2 милл. на 1 см³, а в Белом озере количество их доходило в слое скачка в августе 1932 г. почти до 6 милл. на 1 см³ воды.

В распределении бактерий по слоям также наблюдается определенная законо-

мерность; из табл. X видно, что почти всюду в слое температурного скачка как в Глубоком, так и в Белом озерах мы наблюдаем более или менее выраженное увеличение количества бактерий.

Принимая во внимание более высокую температуру воды в верхних слоях скачка, по сравнению со слоями под скачком, можно ожидать и более энергичного поглощения кислорода. Таким образом большее количество бактерий при более энергичном дыхании должно вызвать летом образование кислородного минимума в слое металимниона. Такую картину мы и наблюдаем в Глубоком озере. Значительно меньшее количество бактерий в зимние месяцы в этом водоеме, принимая во внимание и менее энергичное их дыхание благодаря низкой температуре, хорошо совпадает с наличием больших запасов кислорода в течение всей зимы.

Кислородный режим Белого озера резко отличается от того, что мы наблюдаем в Глубоком. Здесь насыщение кислородом происходит фактически только в момент осенней циркуляции, затем в течение зимы, происходит быстрое падение кислорода.

Сравнивая январские анализы 1933 г. в том и другом озерах мы видим, что общее количество бактерий выражается цифрами одного порядка в то время, как падение кислорода в Белом озере идет гораздо быстрее.

Изучая выделение газов донными отложениями Белого озера, Л. Россолимо (1932) устанавливает, что газовая смесь при прохождении через толщу воды обогащается кислородом, и что значительная часть этой смеси состоящей в основном из метана, водорода и угольной кислоты растворяется. Л. Россолимо на основании расчетов приходит к выводу, что с чисто физической стороны наблюдаемые явления объяснены быть не могут, и постоянное поступление в воду метана и водорода и связанное с этим потребление кислорода должно быть связано с микробиологическими процессами окисления метана и водорода.

В развитие этих соображений микробиологической лабораторией Станции были поставлены работы по изучению процессов окисления в водной массе озера метана и водорода, предварительные результаты которых мы здесь приводим.

Данные Grohmann (1924) и Mupz E. (1915) о широком распространении в природе бактерий окисляющих водород и метан побудили нас поставить ряд опытов по выделению культур бактерий окисляющих эти газы.

Методика выделения культур была использована та, которую предлагает Grohmann. Питательная среда разливалась в чашки Коха, заражалась озерной водой и ставилась под колокол, где создавалась атмосфера гремучего газа или смеси 2 ч. воздуха и 1 части метана, в зависимости от того какой организм мы хотели выделить.

Приблизительно на 7-ой день культуры мутнились и на поверхности жидкости образовывалась легкая пленочка. В дальнейшем бактерии были проведены через твердую питательную среду и выделены в чистую культуру.

Для определения интенсивности процесса окисления водорода и метана в различных слоях Белого озера была использована методика предложенная Mupz. Т. е. в отсутствие органического вещества, водородные и метановые бактерии являются автотрофными организмами, то мы культивировали их на минеральной питательной среде и интенсивность их развития учитывали путем титрования по Шульцу образовавшегося в культурах органического вещества, а также непосредственным учетом количества развившихся клеток в культуре.

Данные анализов приведены в табл. VIII.

Из таблицы видно, что в культурах зараженных водой из глубинных слоев, там, где кислород уже отсутствует, развитие бактерий окисляющих метан и водород идет также наиболее интенсивно.

Для выяснения насколько интенсивно может идти исчезновение кислорода в озерной воде благодаря деятельности метановых бактерий нами был поставлен непосредственный опыт.

Была взята вода из Белого озера с глубины 10 м и насыщена воздухом. Часть

Таблица VIII.

Tabelle VIII.

Развитие метановых и водородных бактерий в культуре накопления.
Entwicklung der Methan- und Wasserstoff-Bakterien in Rohkulturen.

Глубина в м. Tiefe in m.	Метановые Methan — Bakterien		Водородные Wasserstoff — Bakterien		Количество O ₂ в воде Безого Озера №/л. O ₂ — Gehalt in Wasser des Be- sees in mg/l.
	Количество бак- терий в миллио- нах Anzahl der Ba- cterien in Millio- nen	Окисляемость в мг O ₂ на л. Oxydierbarkeit in mg O ₂ /l.	Количество бак- терий в миллио- нах. Anzahl der Ba- cterien in Millio- nen	Окисляемость в мг. O ₂ на л. Oxydierbarkeit in. mg. O ₂ /L.	
0	3 014	56	2 038	56	4,22
3	2 710	54	2 119	52	4,22
5	2 321	48	2 521	54	1,79
7	2 537	62	4 346	64	0,7
12	5 968	82	26 308	134	0,0

ее была предварительно простерилизована, и наконец в некоторое количество стерильной воды была внесена суспензия метановых бактерий из культуры накопления, из расчета 50 000 клеток на 1 см³ воды. Вода была налита в стерильные склянки с притертыми пробками, так чтобы в них не попадал воздух и в параллельные склянки было пушено около 2 см³ естественного газа, выделявшегося со дна озера.

Количество кислорода в воде было определено в начале и в конце опыта. Склянки перевернуты и поставлены в термостат при 30° С. Длительность опыта 2 дня. Схема опыта и полученные результаты представлены в табл. IX.

Таблица IX.

Tabelle IX.

Схема опыта. Versuchs — Schema		Количество кислорода в мгр на л. O ₂ — Gehalt in mg/l.			
		В начале опыта Am Anfang des Versuchs	В конце опыта Am Ende des Versuches		Поглощение кислорода O ₂ Zehrung
	Средн. im Mittel				
Естественная вода	Без введения газа Ohne Gas — Einfüh- rung	7,5	6,3 5,8	6,0	1,5
	с газом Mit Gas	7,5	0,16 0,42	0,3	7,2
Стерильная вода.	Без газа Ohne Gas	7,6	5,8 7,7	6,7	0,9
	С газом Mit Gas	7,6	4,2 5,7	5,0	2,6
Стерильная вода с добавкой культ. ме- танов. бактерий.	Без газа Ohne Gas	9,1	5,8 5,8	5,8	3,3
	С газом Mit Gas	9,1	4,2 5,0	4,6	4,5

Из таблицы видно, что там, где к насыщенной кислородом озерной воде был добавлен озерный газ с значительным содержанием метана, уже за двое суток практически весь кислород исчез. Что кислород исчез на окисление озерного газа явствует из параллельного опыта с нестерильной озерной водой без добавки газа, здесь дефицит кислорода достигал всего 1,5 м на л.

Параллельный опыт со стерильной водой указывает на то, что в поглощении кислорода в значительной мере участвуют микроорганизмы, и лишь небольшая часть его используется чисто химическим путем.

Как мы уже указывали легче всего было предположить, что исчезновение кислорода обуславливается деятельностью метановых бактерий и поэтому был поставлен опыт с внесением соответствующей культуры в стерильную воду. И, действительно, там, куда была внесена культура метановых бактерий дефицит кислорода достигает 4,5 см³ на л. против 2,6 см³ в стерильной воде.

Таким образом, в результате этого опыта намечается, что при наличии озерного газа содержащего метан и водород исчезновение кислорода в воде Белого озера происходит благодаря деятельности микроорганизмов использующих растворенный в воде кислород на окисление метана и водорода.

Настоящее предположение подтвердилось также в следующих опытах. Как обычно в чашку Коха было внесено 10 см³ среды Grohmann и 10 см³ воды из Белого озера. Культура была поставлена под колокол, где воздух был заменен смесью из двух частей воздуха и одной части естественного озерного газа, собранного над наиболее глубокой частью Белого озера. Культуры были поставлены в термостат, и при 32° С уже через 5 дней жидкость замутилась и на поверхности образовалась пленка. Дальнейшие пересевы на среду Grohmann в атмосфере гремучего газа и на среду Münz в атмосфере смеси метана и воздуха показали, что в первоначальной культуре, в атмосфере озерного газа, развивались водородные и метановые бактерии.

Из этого опыта, также как из предыдущего, становится ясным, что озерный газ может служить хорошим источником энергии для развития водородных и метановых бактерий.

Анализ воды Глубокого озера также указывает на наличие бактерий, окисляющих водород и метан. Дальнейшие наблюдения над рядом озер, о чем будет особое сообщение, показали что бактерий окисляющих водород и метан в природе распространены очень широко. Отличительной чертой этих микроорганизмов является то, что они в отсутствие водорода и метана при наличии органического вещества могут жить гетеротрофно и таким образом их распространение не обуславливается исключительно наличием метана или водорода. Но при наличии этих газов указанные бактерии переходят на автотрофное питание и используют энергию окисления водорода или метана за счет растворенного в воде кислорода на построение органического вещества.

Глубокое озеро резко отличается от Белого тем, что в нем нет сколько нибудь заметно выраженного процесса выделения газа из ила и поэтому здесь в основном падение кислорода происходит за счет дыхания бактерий. В Белом озере падение кислорода идет за счет того и другого процесса, причем основной причиной является окисление метана и водорода.

Летом в гипolimнионе падение кислорода за счет окисления метана идет интенсивнее чем в металимнионе за счет дыхания бактерий и поэтому мы не наблюдаем в Белом озере слоя с минимумом кислорода, хотя по вертикальному распределению бактерий есть полное основание ожидать наличие этого явления.

Резюмируя все сказанное мы можем отметить:

1. Летнее падение нитратов в эпилимнионе Белого и Глубокого озер происходит за счет развития планктона.

2. В мета- и гипolimнионе Глубокого озера в течение летнего периода идет накопление нитратов, что хорошо увязывается с малым количеством денитрифицирующих бактерий и значительным количеством клетчатковых.

Таблица X.

Tabelle X

Дата Datum	Глубина в м. Tiefe in m		°C	pH	O ₂		P	Вес. Микробы Bew. Mikroben	Денит-индикаторы Denitrifikatoren	Клетчаточные Cellulose Bakterien	Сапрофиты Saprophyten	Общее число бактерий Gesamtzahl der Bakterien	Кожи Kochen	Палочки Stäbchen
	в м. и н. з. in mg auf l.	в м. и н. з. in mg auf l.			на 1 см ³ auf 1 cm ³	на 1 см ³ auf 1 cm ³								
Белое озеро. Beloje See.														
6/II 1932	1,5	1,5	7,05	8,5	10,5	0,129	0,058	25	—	—	338	379	219	160
	3,5	2,16	6,93	2,7	9,7	0,24	0,029	26	—	—	1352	801	408	393
	7,5	2,85	6,97	0,6	9,7	0,16	0,068	338	—	—	507	446	281	165
	12	3,70	6,86	0,3	8,7	0,23	0,029	—	—	—	—	773	364	409
10/III 1932	1,5	0,15	6,9	2,5	10,9	0,064	0,026	100	90	—	—	946	373	573
	3,5	2,30	6,9	1,5	11,8	0,067	0,016	103	100	—	—	991	473	513
	7,5	3,25	6,8	0,9	9,2	0,068	0,017	3	90	—	—	—	—	—
	12,5	4,30	6,7	0	13,6	—	0,020	4	100	—	—	851	456	395
11/IV 1932	1,5	0,7	6,9	2,4	11,8	0,01	0,023	0	—	1	60	621	277	344
	3,5	2,4	6,75	0,8	10,4	0,02	0,020	50	—	10	200	435	219	216
	7,5	3,4	6,7	0,5	10,1	0,01	0,038	15	—	1	300	621	303	315
	12,5	4,1	6,6	0,0	15,4	—	0,004	15	—	1	6900	2045	991	1055
11/V 1932	0	13,7	7,6	11,3	7,4	0,00	0,00	1	—	—	480	880	534	346
	3	13,7	7,5	11,6	9,3	0,00	0,00	19	—	—	21	858	458	400
	7,5	8,4	6,9	4,9	8,1	0,00	0,030	15	—	—	30	1534	820	714
	10	7,4	6,7	1,0	9,4	0,00	0,019	2	—	—	70	1230	555	725
	11	6,5	6,5	0,06	12,0	0,00	0,021	—	—	—	1289	3240	1290	1950
15/VI 1932	0	21,1	8,4	14,2	12,6	0,00	0,00	—	—	40	—	—	—	—
	3	2,6	8,4	13,5	10,2	0,00	0,00	—	—	20	—	—	—	—
	5	18,5	6,35	4,6	—	0,00	0,013	—	—	—	—	—	—	—
	6	17,8	6,8	1,2	—	0,00	—	—	—	—	—	—	—	—
	12	13,8	6,8	0,4	11,7	0,00	0,059	—	800	2	—	—	—	—
12/VII 1932	0	21,05	8,9	9,8	12,1	0,00	0,000	—	1 000	—	—	2 672	2 194	478
	3	20,85	8,9	6,5	10,4	0,00	0,000	—	1 000	—	—	833	661	172
	5	18,6	8,3	2,3	10,9	0,00	сл.	—	1 000	—	—	1 798	1 136	668
	6	15,2	7,7	0,26	11,1	0,00	0,003	—	1 000	—	—	1 696	1 415	281
	7	10,3	7,5	0,07	13,8	0,00	0,005	—	1 000	—	—	1 784	1 478	306
	12	8,8	7,6	0,00	13,7	0,00	0,020	—	1 000	—	—	4 678	2 828	1 850
10/VIII 1932	0	22,75	—	6,0	9,82	0,00	0,000	—	1 000	—	2 000	1 395	770	625
	3	22,5	—	7,5	13,5	0,00	0,000	—	1 000	—	1 000	1 200	710	490
	5	18,0	7,2	0,76	12,9	0,00	0,000	—	1 000	—	5 500	3 145	1 095	2 050
	6	14,5	6,95	0,00	9,0	0,00	сл.	—	1 000	—	5 500	5 815	4 015	1 800
	7	10,75	6,75	0,00	9,14	0,00	0,032	—	1 000	—	1 000	3 620	2 325	1 295
	12	—	6,7	0,00	13,5	0,00	0,082	—	1 000	—	—	4 830	3 329	1 510
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13/IX 1932	0	16,3	7,6	6,9	9,8	0,00	0,00	—	6 000	100	2 700	706	312	394
	3	16,3	7,5	7,0	9,1	0,00	0,00	—	8 000	100	1 500	1 850	1 020	830
	7	16,3	7,5	7,1	9,4	0,00	0,028	—	10 000	100	6 500	—	—	—
	9	13,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	10	11,7	6,7	0,00	10,8	0,00	0,036	—	10 000	100	8 000	5 320	3 050	2 270
	11	9,6	6,7	0,00	11,1	0,00	0,022	—	10 000	100	13 000	3 430	1 370	2 060
	12	9,6	6,7	0,00	13,5	0,00	0,015	—	8 000	100	1 750	3 225	760	2 455

Дата Datum	Глубина в м. Tiefe in m	°C	pH	O ₂			N NO ₃	P	Bac. Mycoloides	Денитрификаторы Denitrificatoren	Клетчаточные Cellulose Bakterien	Сапрофиты Saprophyten	Общее число бактерий. Gesamtzahl der Bakterien			Кокки Kokken	Палочки Stäbchen
				в мг на л. in mg auf l.	в мг на л. in mg auf l.	в мг на л. in mg auf l.							в тысячах на 1 см ³ in Tausenden auf 1 cm ³				
13/X 1932	0	7,8	7,2	8,8	11,0	0,00	0,00	—	60 000	0,4	900	1 995	815	1 180			
	3	7,8	7,2	8,6	11,2	0,00	0,00	—	60 000	0,4	700	1 840	370	1 470			
	7	7,8	7,2	8,4	10,2	0,00	0,00	—	80 000	0,6	800	2 700	1 180	1 520			
	10	7,8	7,2	8,4	10,2	0,00	0,00	—	1 000 000	0,8	2 900	1 304	593	711			
	12	7,8	7,2	7,9	11,2	0,00	0,00	—	80 000	0,8	700	1 585	770	815			
14/XI 1932	0	2,5	7,0	11,5	7,5	след.	следы	—	200	0,1	2 900	1 495	815	680			
	3	—	7,4	11,5	8,6	»	»	—	400	0,6	900	1 397	497	803			
	7	—	7,2	11,7	7,3	»	»	—	4 000	0,6	500	—	—	—			
	10	—	7,3	10,9	7,9	»	»	—	80 000	0,1	1 600	3 130	493	2 635			
	12	4,3	7,4	11,7	8,9	»	»	—	2 000	0,4	2 900	7 421	649	6 772			
15/XII 1932	0	—	7,3	6,8	—	0,111	—	—	200	1	—	1 993	393	1 600			
	3	—	7,3	5,8	—	0,125	сл.	—	100	1	—	877	151	726			
	5	—	7,1	4,65	—	0,125	—	—	100	1	—	2 132	391	1 741			
	7	—	7,0	3,19	—	0,118	сл.	—	100	6	—	2 755	435	2 320			
	12	—	6,7	0,99	—	0,046	—	—	100	1	—	2 502	272	2 230			
25/I 1933	0	0,7	7,2	5,85	8,6	0,398	0,013	—	100	< 0,1	315	625	426	199			
	3	2,0	7,0	3,10	9,0	0,523	0,012	—	8	< 0,1	440	358	184	179			
	5	2,4	7,0	3,0	8,4	0,307	0,016	—	20	< 0,1	480	355	151	194			
	7	2,4	6,9	0,95	7,4	0,233	0,038	—	60	0,2	215	2 187	297	1 890			
	10	2,35	6,8	0,71	8,2	0,085	0,014	—	40	< 0,1	1 701	1 113	353	740			
	12	2,45	6,7	0,00	9,9	0,131	0,009	—	80	< 0,1	425	800	265	535			
26/II 1933	0	0,5	7,4	4,22	10,0	0,194	0,014	—	20	< 0,1	156	156	54	102			
	3	2,3	7,4	4,22	10,0	0,278	0,015	—	40	< 0,1	11	351	162	189			
	5	2,7	7,2	1,79	9,4	0,384	0,013	—	1	0,2	74	380	81	299			
	7	2,8	7,3	0,7	8,7	0,287	0,014	—	40	0,2	113	537	242	295			
	10	3,1	7,1	0,2	9,7	0,075	0,014	—	400	< 0,1	286	1 968	472	496			
	12	3,1	6,7	0,0	11,0	0,015	0,013	—	60	< 0,1	321	1 854	289	1 565			
14/IV 1933	1	—	—	13,67	8,7	—	сл.	0,0055	—	—	0,0	4 000	1 170	105	1 065		
	3	—	7,35	8,42	9,3	0,024	0,004	—	—	—	0,0	2 900	767	96	580		
	5	—	7,50	9,77	9,1	0,015	0,004	—	—	—	0,0	1 400	608	28	580		
	7	—	6,65	0,14	8,9	0,017	0,005	—	—	—	0,4	4 900	743	27	720		
	9	—	—	0,07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	11	—	6,75	—	11,0	0,0	0,005	—	—	—	0,0	2 500	1 526	77	1 509		
15/V 1933	0	11,8	7,6	11,06	—	0,013	0,012	—	100	0,0	885	592	62	580			
	3	11,8	—	10,10	—	0,017	0,011	—	80	0,0	410	454	73	381			
	5	11,8	7,6	10,93	—	0,018	0,013	—	30	0,0	454	418	81	337			
	7	10,05	—	—	—	—	—	—	70	—	—	440	44	396			
	9	6,85	7,2	8,63	—	0,021	0,009	—	40	0,0	495	259	30	229			
	12	6,55	—	5,98	—	0,021	0,009	—	90	0,0	180	182	31	151			
15/VI 1933	0	17,0	—	10,45	4,6	0,018	0,011	—	100	0,0	20	3 401	701	2 700			
	3	12,3	7,8	8,40	7,2	0,019	0,010	—	60	0,2	25	4 602	1 053	3 549			
	5	11,1	7,4	4,51	8,2	0,025	0,009	—	80	0,0	35	2 380	257	2 123			
	7	10,9	7,3	3,29	7,7	0,063	0,006	—	800	0,0	860	2 013	263	1 745			
	12	9,7	—	1,14	8,7	0,041	0,012	—	600	0,0	70	1 507	325	1 182			

Дата Datum	Глубина в м. Tiefe in m	t°C	pH	O ₂			P	Bac. Mycoides	Денитрификаторы Denitrifikatoren	Клетчаточные Cellulose Bakterien	Сапрофиты Saprophyten	Общее число бактерий Gesamtszahl der Bakterien			Кокки Kokken	Палочки Stäbchen
				в м ³ на д. in mg auf l.	в м ³ на д. in mg auf l.	в м ³ на д. in mg auf l.						на 1 см ³ auf 1 cm ³	на 1 см ³ auf 1 cm ³	на 1 см ³ auf 1 cm ³		
15/VII 1933	0	23,6	8,8	11,8	8,25	0,009	0,016	—	800	0,0	500	2 840	771	2 069		
	3	18,0	8,0	6,97	8,13	0,007	0,015	—	1 000	0,0	—	3 338	1 736	1 602		
	4	—	—	—	—	—	—	—	3 000	0,2	760	—	—	—		
	5	12,1	7,33	0,45	6,64	0,002	0,003	—	6 000	0,1	190	3 349	770	2 579		
	7	10,6	7,2	0,00	6,56	0,008	0,013	—	200	0,0	—	1 590	327	1 263		
	12	10,0	7,13	0,00	9,45	0,007	0,014	—	4 000	0,0	480	2 734	691	2 043		
15/VIII 1933	0	16,35	—	8,81	7,5	0,00	0,010	—	4 000	4	580	3 500	1 420	2 080		
	1	16,35	—	8,81	—	0,00	—	—	—	—	—	—	—	—		
	3	16,18	—	8,43	7,4	0,00	0,013	—	800	6	360	4 100	2 000	2 100		
	5	16,00	—	8,35	7,7	0,00	0,005	—	600	4	180	4 100	1 840	2 260		
	7	13,7	—	0,31	7,8	0,00	0,006	—	800	4	470	1 965	4 85	1 490		
	9	10,4	—	0,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	12	10,0	—	0,00	7,9	0,00	0,005	—	600	2	1 120	3 470	820	2 650		
16/IX 1933	0	13,9	—	7,9	8,0	0,000	0,009	—	100	0	110	3 492	1 860	1 632		
	3	13,9	7,75	7,7	8,5	0,000	0,009	—	100	0	120	2 850	1 230	1 570		
	5	13,9	7,75	—	7,9	0,000	0,007	—	100	0	210	2 930	750	2 180		
	6	13,9	—	7,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	7	—	7,7	—	8,2	0,000	0,007	—	100	0	180	2 030	730	1 300		
	9	13,7	7,5	7,2	8,5	0,00	—	—	200	0,2	110	2 550	730	1 820		
12	10,1	7,2	0,00	12,1	0,00	0,007	—	100	0,2	230	11 445	6 450	5 005			
Глубокое озеро. Glubokoje See.																
26/II 1932	0	0,5	7,15	11,2	10,7	0,136	0,034	—	—	—	—	3	405	—	—	
	5	2,0	6,4	8,7	8,6	—	0,066	—	—	—	—	14,5	—	—	—	
	10	2,3	6,9	8,4	10,7	0,182	0,064	—	—	—	—	18	770	365	405	
	20	2,5	6,8	6,1	7,9	0,182	0,087	—	—	—	—	16	620	285	339	
	29	3,0	6,8	1,67	10,1	—	0,037	—	—	—	—	17	575	220	355	
1/IV 1932	0	1,0	6,7	9,6	9,0	0,324	не опр.	—	—	—	—	50	519	245	26	
	5	2,5	6,4	8,4	—	1,247	—	—	—	—	—	11	418	—	—	
	10	2,8	6,5	7,2	7,2	0,238	—	—	—	—	—	37	382	—	—	
	20	2,9	6,4	6,2	7,2	0,235	—	—	—	—	—	32	—	—	—	
	31	3,6	6,4	0,8	12,6	—	—	—	—	—	—	20	—	—	—	
18/V 1932	0	13,2	6,8	10,0	15,4	сл.	0,013	—	—	—	3	1,5	—	—	—	
	3	13,6	—	—	—	0,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	5	8,4	6,5	7,6	15,2	—	—	—	—	—	9	3,5	—	—	—	
	10	5,8	6,3	7,3	14,9	всюду	0,019	—	—	—	1	1,5	—	—	—	
	20	5,0	6,3	5,4	13,1	—	—	—	—	—	5	23	—	—	—	
	29	4,9	6,3	5,5	15,1	—	—	—	—	—	2	8	—	—	—	
25/VI 1932	0	22,5	8,0	9,9	17,2	—	сл.	—	—	—	+	2	—	—	—	
	3	17,2	—	9,44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	5	11,25	7,0	3,39	15,0	0,158	»	—	—	—	+	9	—	—	—	
	6	8,6	—	2,71	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	
	8	—	—	4,25	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	
	10	5,8	7,0	4,66	14,7	0,178	»	—	—	—	+	35	—	—	—	
	20	5,1	7,0	3,69	15,0	0,324	0,014	—	—	—	+	8	—	—	—	
30	5,0	7,3	4,08	14,1	0,397	0,045	—	—	—	+	42	—	—	—		
25/VIII 1932	0	24,9	9,3	9,73	18,9	сл.	сл.	—	60	200	370	436	196	240		
	3	19,1	7,6	3,92	17,8	0,119	»	—	90	600	440	568	372	196		
	4	16,1	6,7	0,77	16,1	—	—	—	90	20	470	849	535	314		
	8	6,7	6,4	2,55	15,2	0,397	»	—	50	400	200	826	450	376		
	10	6,0	6,3	3,37	16,0	0,405	»	—	—	600	90	—	—	—		
	20	5,2	6,4	1,88	14,8	0,430	»	—	30	—	120	754	351	403		
	30	5,1	6,3	1,32	14,8	0,450	0,03	—	30	40	690	348	198	150		

Продолжение

Дата Datum	Глубина в м. Tiefe in m	t°C	pH	O ₂		N NO ₃	P	Бас. Mycolites	Денитрификаторы Denitrifikatoren	Клювчатые Collatose Bakterien	Сапрофиты Saprophyten	Общее число бактерий. Gesamtzahl der Bakterien			Кокки Kokken	Палочки Stäbchen
				в мл на л. in ml auf l.	на 1 см ³ auf 1 cm ³							в тысячах на 1 см ³ in Tausenden auf 1 cm ³				
30/VIII 1932	0	17,25	7,0	8,14	14,7	0,00	0,09	—	600	10	79	1 730	660	1 070	—	—
	2	17,25	—	8,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3	16,95	—	8,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	16,30	—	5,95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5	16,15	6,4	5,28	14,1	0,00	—	—	20	10	58	134	42	68	—	—
	6	10,4	6,2	0,63	14,4	0,243	—	—	—	—	—	725	472	253	—	—
	8	7,4	6,15	1,28	—	—	—	—	200	40	20	603	375	231	—	—
	10	6,1	6,2	2,02	14,1	0,340	—	—	10	10	—	357	233	122	—	—
	20	5,25	6,2	0,91	12,9	0,293	—	—	40	40	13	640	383	257	—	—
	30	5,20	6,2	0,64	16,1	—	—	—	60	10	94	894	303	391	—	—
7/XI 1932	0	5,50	6,5	10,7	11,6	0,205	0,014	—	20	1	370	1 751	792	959	—	—
	5	5,50	6,6	10,7	11,6	0,200	0,014	—	20	2	420	3 240	430	810	—	—
	10	5,53	6,6	10,7	11,5	0,203	0,017	—	6	1	390	2 017	203	811	—	—
	15	5,51	6,5	10,5	11,8	0,210	0,017	—	20	2	175	1 334	1 010	324	—	—
	20	5,50	6,6	10,8	11,8	0,211	0,014	—	20	6	270	1 302	856	446	—	—
	30	5,46	6,5	10,4	12,6	—	0,015	—	20	8	275	1 609	1 304	305	—	—
12/I 1933	0	0,7	6,7	14,2	12,4	0,187	0,043	—	6	0,2	—	943	163	783	—	—
	5	0,7	6,7	13,0	12,1	0,180	0,032	—	2	0,2	—	676	390	286	—	—
	10	0,8	6,7	12,4	11,2	0,180	0,030	—	1	0,2	—	657	397	260	—	—
	15	0,9	6,6	11,95	11,6	0,147	0,032	—	2	0,2	—	693	313	380	—	—
	20	1,2	6,7	12,05	11,3	0,170	0,070	—	2	0,2	—	628	303	325	—	—
гл. ст. 31,5 м.	30	3,2	6,7	0,69	20,4	0,132	0,036	—	20	0,4	—	669	304	362	—	—
1/V 1933	0	4,85	6,42	12,2	14,2	0,39	0,020	—	40	0	48	890	169	721	—	—
	5	4,25	6,4	10,2	14,1	0,39	0,021	—	40	0	81	712	26	636	—	—
	10	4,23	6,49	9,85	14,1	0,31	0,019	—	60	0,2	100	230	23	204	—	—
	20	4,19	6,40	9,72	14,0	0,31	0,020	—	60	1	123	486	32	454	—	—
	30	4,08	6,40	7,7	14,8	0,38	0,017	—	100	1	70	523	47	476	—	—
7/VI 1933	0	11,15	6,85	9,74	22,2	0,506	0,001	—	20	0,2	350	1 484	142	1 343	—	—
	5	9,15	6,52	9,06	21,9	0,679	0,001	—	40	0,2	250	1 067	29	1 088	—	—
	10	7,60	6,51	8,36	17,7	0,285	0,001	—	2	0	350	730	55	675	—	—
	15	5,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	20	4,95	6,51	7,94	17,5	0,563	0,001	—	2	0	700	600	50	550	—	—
29	—	6,49	6,23	17,6	0,563	0,001	—	2	0	300	543	55	488	—	—	
7/VII 1933	0	19,0	6,91	8,79	20,5	0,287	0,000	—	20	0,2	240	900	74	826	—	—
	3	16,5	6,55	6,09	18,7	0,273	0,00	—	100	0,6	170	800	60	740	—	—
	4	11,35	6,49	6,74	19,4	0,340	0,00	—	20	0,6	325	873	93	780	—	—
	5	9,45	6,49	6,43	19,1	0,347	0,00	—	2	0,4	170	665	55	610	—	—
	10	7,1	6,45	6,38	14,4	0,347	0,00	—	6	—	355	930	67	863	—	—
	20	5,05	6,43	6,30	14,5	0,268	0,00	—	2	0,4	235	814	59	755	—	—
	28	4,25	6,49	4,78	14,9	0,209	0,00	—	4	0,4	165	795	70	725	—	—
	31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31/VIII 1933	0	15,9	7,3	8,42	16,6	0,243	0,00	—	—	—	—	858	68	790	—	—
	3	15,2	7,2	8,11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	15,1	—	7,78	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5	14,45	6,8	6,47	14,9	0,240	0,00	—	—	—	—	994	93	898	—	—
	6	10,55	6,4	2,33	13,7	0,253	0,00	—	—	—	—	703	56	650	—	—
	7	8,8	—	2,89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	10	7,9	6,4	3,80	13,1	0,253	С.г.	—	—	—	—	855	65	790	—	—
	20	5,15	6,4	3,20	13,2	0,243	0,000	—	—	—	—	1 040	95	945	—	—
	31	5,05	6,5	0,81	13,9	0,227	С.г.	—	—	—	—	855	72	783	—	—

3. В Белом озере в мета- и гипolimнионе нитраты в течение летнего периода отсутствуют и здесь мы обнаруживаем большие количества денитрификаторов и мало клетчатковых бактерий.

4. Нитрификаторы, азотобактер и *Clostridium Pasteurianum* были обнаружены по всем горизонтам Белого и Глубокого озер что указывает на наличие процессов нитрификации и фиксации газообразного азота.

5. Исчезновение кислорода в Глубоком озере происходит преимущественно благодаря дыханию бактерий в самой озерной воде.

6. Исчезновение кислорода в Белом озере в значительной степени происходит за счет автотрофных процессов биологического окисления метана и водорода, выделяющихся со дна водоема.

ЛИТЕРАТУРА.

- Alsterberg, G. Die Sauerstoffschichtung der Seen. Bot. Not. (1927). Lund.
- Atkins, W. Seasonal changes in the phosphate content of seawater in relation to the growth of algal plankton. Jour. Biol. Mar. Ass. Vol. 13 (1925).
- Birge, E. and Juday—The inland lakes of Wisconsin. The dissolved gases of the water and their biol. significance. Wisc. Geol. and Nat. Hist. Surv. Bull. 22 (1911)
- Birge, E. and Juday. The organic content of the water of small lakes. Proc. Amer. Phil. Soc. Vol. 66 (1927)
- Cholodny, N. Zur Methodik der qualitat. Erforschung der bact. Plankton. Centrbl. f. Bact. Abt. II Bd 77 (1929).
- Domogalla, B., Juday, C. and Peterson. The forms of nitrogen in certain lake waters. Journ. Biol. Chem. Vol. 63 (1925)
- Domogalla, B., Fred, E. and Peterson, W., Seasonal variation in the ammonia and nitrate content of lake water. Jour. Amer. Wat. Works Ass. Vol. 15 (1926).
- Domogalla, B. and Fred, E. Ammonia and nitrate studies of lakes near Madison, Wisconsin. Jour. Amer. Soc. Agr. Vol. 18 (1926)
- Dugelli, M. Bacteriologische Untersuchungen am Ritomsee. Zeitschr. für Hydrol. Bd 2 (1924).
- Fred, E., Wilson, F. and A. Davenport. The distribution and significance of bacteria in Lake Mendota. Ecol. Vol. 5 (1924).
- Gaarder T. and Spärck. Hydrographisch — biochemische Untersuchungen in norwegischen Ausern — Pollen. Bergens Museums Arbok. Naturvidenskapelig rekke № 1 (1932)
- Гальцов П. С. Исследование Косинских озер. Дневн. Зоол. О-ва любит. Естеств. т. 3 вып. 12 (1914).
- Grohmann, G. Zur Kenntnis Wasserstoff — oxydierenden Bakterien. Centralbl. f. Bakt. Abt. II Bd 61 (1924).
- Harvey, E. N. The oxygen consumption of luminous bacteria. Jour. of Gen. Phys. Vol II, (1928)
- Juday C., Birge, E., Kemmerer, G. and R. Robinson. Phosphorus content of lake waters of Northeastern Wisconsin. Trans. Wisc. Ac. Sci. Vol. 23 (1928).
- Карзинкин, Г., Кузнецов С. и Кузнецова З. К выяснению причин динамики кислорода в воде Глубокого Озера. Тр. Гид. Ст. на Глуб. Оз. т. 6 вып. 5 (1930).
- Карзинкин, Г. и С. Кузнецов. Новые методы в лимнологии. Тр. Лимн. Ст. в Косне. вып. 13—14 (1931).
- Klein G. und M. Steiner. Bakteriologisch — chemische Untersuchungen am Lunzer Untersee. Öst. Bot. Zeitschr. Bd 78 (1929)
- Костычев С. и Шульгина О. Весовое содержание микроорганизмов в почвах. Тр. отд. сель-хоз. микробиол. т. 2 1927.
- Кузнецов и Карзинкин. Метод количественного учета бактерий в воде. Гидробиол. Журн. т. 9 (1930).
- Kusnetzow S. and G. Karzinkin. Direkt Method for the quantitative study of Bacteria... Centralbl. f. Bact. Abt. II Vol 83 (1931).
- à Marca, A. Contribution à l'étude de la flore bacterienne du lac de Genève. Bull. Soc. Bot. Genève Vol 19 (1928)
- Minder, L. Zur Hydrophysik des Zürich — und Walensees, nebst Beitrag zur Hydrochemie und Hydrobacteriologie des Zurichsees. Arch. f. Hydrobiol. Bd 12 (1918)
- Münz, E. Zur Physiologie der Methanbakterien. Inaug. Diss. 1915. Halle.
- Peterson, W., Fred E. and B. Domogalla. The occurrence of amino acids and other organic nitrogen compounds in lake water. Jour. Biol. Chem. Vol. 63 (1925).
- Разумов А. С. Методика учета бактерий в почве по физиологическим группам. Тр. Науч. Инст. Удобр. вып. 28 (1925).
- Разумов А. Прямой метод учета бактерий в воде. «Микробиология» т. 1 (1932).
- Россолимо Л. Л. Морфометрия Косинских озер. Тр. Косинской Бюл. Ст. вып. 2 (1925)

Россолимо Л. Явления газоотделения на Белом озере в Косине. Тр. Лимн. Ст. в Косине вып. 15 (1932)

Свлюмовская—Родина А. Г. Микробиологические исследования Онежского Озера в 1930 и 1931 г. Иссл. озер СССР. вып. 1. (1932).

Snow, L. M. and E. Fred. Some characteristics of bacteria of Lake Mendota. Trans. Wis Acad. Sc. Vol 22 (1926).

Успенский Е. Е. К вопросу о задачах и путях микробиологии в связи с развитием городского водоснабжения. «Микробиология» т. 1 (1932).

Воронков, Н. и Тронцкий В. Съёмка Глубокого Озера Тр. Гид. Ст. на Глуб. Оз. т. 2. (1907)

Yoshimura, S. Seasonal Variation in Content of Nitrogenous Compounds and Phosphate in the Water of Takasuka Pond, Saitama. Arch. f. Hydr. Bd 24 (1932).

Yoshimura—Contributions to the knowledge of nitrogenous compounds and phosphate in the lake waters of Japan. Proc. Imp. Ac. Vol 8 (1932).

Yoshimura, S. Limnological reconnaissance of lake Busyu Hukui, Japan. Sc. Rep. of the Tokyo Univ. Daig. Sec. C, Vol 1 (1932).

Захарова Т. М. Денитрификация в подзолистой почве. Тр. Науч. Инст. Удобр. Вып. 60 (1929).

ДОННОЕ ГАЗОТДЕЛЕНИЕ, КАК ФАКТОР КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА ОЗЕР.

Л. Россолимо и З. Кузнецова.

Факт, что в зимний подледный период изоксигенные поверхности получают куполообразную форму, был установлен нами впервые в марте 1925 г. на Белом озере в Косине, и с тех пор это явление не перестает быть объектом постоянных наблюдений Станция. За истекший отрезок времени накопилось много интересных и важных фактов, связанных с этим явлением, частью уже опубликованных (Россолимо 1932; Кузнецов 1933), частью публикуемых в этой работе. К наблюдениям и исследованиям, проводившимся одним из авторов до 1931 г., были в дальнейшем привлечены специалисты — микробиологи С. И. Кузнецов и З. И. Кузнецова.

Явления своеобразного распределения кислорода в озерах зимой заслуживало особого внимания потому, что из наблюдений все больше и больше подчеркивалось важное значение этого явления в кислородном режиме озера, выражавшегося не только в резком, иной раз, уменьшении содержания кислорода в центральных частях озера, но и в общем обеднении водоема кислородом. Это обстоятельство уже непосредственно упиралось в вопрос о происхождении зимнего кислородного минимума, являющегося, как известно, важнейшим фактором рыбохозяйственной оценки водоема. Изучение явления куполообразного распределения кислорода, казалось, могло дать ключ к разрешению проблемы зимнего кислородного минимума и тем самым наметить пути борьбы с этим явлением.

За период времени с 1925 г. явление изгиба изоксигенных поверхностей в озерах зимой получило некоторое освещение в литературе по наблюдениям в СССР, на озерах Ласси-Лампи (близ Ленинграда) Верецагина с сотрудниками, (1927) в Швеции по наблюдениям Alsterberg (1927—1928) и в Японии по наблюдениям Yoshimura (1930).

Как известно, попытка дать объяснение этого явления была сделана Alsterberg (l.c), использовавшего для этого предположение высказанное Birge and Juday (1922; 1928) о существовании нисходящих наддонных токов и восходящего компенсационного тока, являющихся следствием теплообмена между донными отложениями и водной массой в известные моменты года. К сожалению, Alsterberg имел слишком мало фактического материала для обоснования своей попытки; он мог основываться лишь на нескольких параллельных наблюдениях над содержанием кислорода в прибрежной и центральной частях озер. Полученные нами в 1925 и 26 г. данные методом гидрологических разрезов, состоящих из 6 и м. одновременных наблюдений содержания кислорода в 30—40 точках по 7—8 вертикалям, в опубликованной нами работе (1928) рассматривались нами под углом зрения гипотезы Alsterberg. Действительно, система медленных токов в подледный период, существование которых было предположено Birge and Juday, могла явиться объяснением возникновения куполообразного расположения изоксигенных поверхностей, но лишь при двух условиях: во-первых лишь после того, как реальное существование этих токов было бы подтверждено непосредственным наблюдением, чего, однако, пока мы не имеем, и во-вторых получением тем или иным путем уверенности, что эти токи, а не какая-нибудь другая причина, обуславливают своеобразную зимнюю стратификацию в отношении кислорода.

Изучавшееся на Белом озере в Косине явление газоотделения со дна, описанное одним из авторов (1932), привело к мысли о возможной связи между этим явлением и куполообразным расположением изоксигенных поверхностей. В упомянутой работе (Россолимо) была установлена двоякая возможность воздействия донного газоотделения на распределение кислорода: первая — это газообмен между пузырьками газовой смеси, поднимающейся со дна, и водной массой, что было доказано экспериментально, и снижение содержания кислорода в воде путем чисто физического и микробиологического процессов, вторая — это механическое увлечение придонной бедной кислородом воды поднимающимся током пузырьков газа. Второй путь ближайшему изучению не подвергался, а первый, именно в части микробиологических явлений окисления донных газов за счет растворенного кислорода изучался и некоторые предварительные результаты опубликованы (Кузнецов).

Мысль о том, что не токи Birge and Juday являются причиной куполообразного расположения изоксигенных поверхностей, между прочим, подкреплялась и тем обстоятельством, что в некоторых из озер, по которым имелись данные зимних гидрологических разрезов, никакого куполообразного распределения кислорода не наблюдалось. Казалось бы, что возникновение токов, обусловленное термическими причинами должно быть общим свойством озер вообще, и не иметь исключений.

Большое вероятие связи между донным газоотделением и куполообразным распределением кислорода, выяснившейся из ряда наблюдений, побудило поставить специальные работы, которые явились бы доказательством того, что причиной изгиба изоксигенных поверхностей является донное газоотделение. Этим самым гипотеза о роли в этом явлении токов Birge and Juday должна была бы отпасть, как неудачная. Имея эту цель мы вели работу по двум основным направлениям: первое — это обследование ряда водоемов для выяснения характера кислородной стратификации и параллельно установление наличия и локализации донного газоотделения: совпадение наличия донного газоотделения с куполообразным расположением изоксигенных плоскостей и наоборот совпадение отсутствия обоих явлений было бы достаточным доказательством связи между обоими явлениями. Второй путь — это углубление микробиологического изучения процессов окисления донных газов (метана и водорода) за счет растворенного в воде кислорода, что должно было дать полное освещение процесса потребления кислорода, его локализацию и позволить хотя бы приблизительно судить о количественной стороне явления.

Очевидно, что вопрос об изучении локализации и интенсивности донного газоотделения является основным, поскольку задача проведенного нами исследования заключается в установлении связи между этим явлением и распределением кислорода в водной массе озера. Ряд методических приемов изучения интенсивности и распределения донного газоотделения был разработан и применен одним из авторов (Россолимо) и дал, по видимому, удовлетворительные результаты. Непосредственное изучение этих сторон явления путем количественных сборов газа в разных частях водоема, конечно, не могло быть применено в нашей работе, как требующее длительного времени. Поэтому мы избрали путь оценки содержания газа вмерзшего в ледяной покров озера. В упомянутой работе приводится ряд данных изучения газа вмерзшего в виде пузырьков в лед. Эти данные показывают, что имеется очень большое соответствие между количеством и распределением вмерзших в ледяной покров пузырьков газа и распределением и интенсивностью донного газоотделения, т. е., иными словами, распределение пузырьков газа во льду как бы отражает распределение донного газоотделения и для получения представления о последнем достаточно провести наблюдения над ледяным покровом. Этим приемом мы воспользовались в нашей работе. Конечно большей точности можно было бы достигнуть путем выпиливания призм из ледяного покрова, и измерения объема содержащегося в них газа, как это делалось в упомя-

нотом исследовании, но условия экскурсионной работы исключали этот путь и вынуждали ограничиться визуальной оценкой содержания вмерзших пузырьков газа. Эту оценку без труда и с достаточной точностью можно было делать на выкалываемых кусках льда из среднего или нижнего слоя ледяного покрова. Такие наблюдения позволяли наметить газоотделяющую зону в озере и место наиболее интенсивного газоотделения.

По мере накопления материала все с большей ясностью намечалась связь между куполообразным расположением изоксигенных поверхностей, зимним снижением содержания кислорода и явлением замора рыбы. Некоторые данные собираемые по этому вопросу позволили прийти к известным выводам, которые будут изложены ниже.

В основном для рассмотрения всех намеченных выше вопросов был использован специально для этого собранный в конце зимы 1932—33 г. по ряду озер материал, а также некоторые данные полученные ранее с других озер. К сожалению, первоначально намеченный список озер, с которых желательно было получить данные, был несколько, сокращен вследствие особенно рано наступивших в этом году оттепелей; время, когда уже можно было опасаться проникновения талых вод под ледяной покров, не могло быть использовано для наших наблюдений, т. к. зимняя картина оказалась бы резко нарушенной.

В соответствии с поставленной целью, работы производившиеся на озерах заключались в проведении гидрологических разрезов, т. е. выемке вертикальных серий образцов воды в ряде точек по линии пересекающей озеро. Образцы брались для определения содержания кислорода, окисляемости, рН, а также для микробиологических исследований. В местах выемки образцов делались наблюдения над содержанием во льду пузырьков газа, для суждения о наличии донного газоотделения и его интенсивности.

Весь собранный материал в целом приводит к ряду заключений основанных на данных физико-химических и микробиологических наблюдений. В виду специфичности микробиологического материала, а также того самостоятельного интереса, который этот материал может иметь, весь он в изложении выделен в особую часть, составленную автором микробиологических исследований.

БЕЛОЕ ОЗЕРО (КОСНО).

Наибольшее из трех Коснянских озер имеет площадь 27 га, наибольшую глубину 13,5 м, и среднюю—4,2 м. Берега в большей части твердые и только на незначительном участке заболочены. Грунты до 3 м песчаные, ниже озерные илы типа сапропеля. Своеобразную черту рельефа дна озера составляет глубокая двойная впадина с довольно крутым падением дна, занимающая наибольшую поверхность. Из биологических особенностей должно быть отмечено интенсивное цветение сине-зеленых. В состав рыбного населения в настоящее время входят окунь и карась, раньше имелась щука и сазан. После нескольких сильных рыбных заморозов в 1915, 1919 и 1921 г. рыбное население озера качественно и количественно значительно обеднело.

Белое озеро, как в отношении распределения кислорода, так и отношении донного газоотделения изучалось достаточно подробно в течении значительного промежутка времени и данные эти частично опубликованы (Россолимо).

Газоотделение строго ограничено небольшой сравнительно площадью ограниченной и обатой 9 м. В соответствии с этим часть ледяного покрова, расположенная над этой зоной содержит вмерзшие пузырьки газа. Из всех имеющихся у нас неопубликованных материалов, дающих единственную картинку куполообразного распределения изоксигенных поверхностей приведем данные от 15 III 28 (рис. 1, таблица I).

В этих данных должно быть подчеркнуто соответствие куполообразной формы изоксиген с расположением газоотделяющей зоны дна (см. упомянутую нашу работу).

ЧЕРНОЕ ОЗЕРО (КОСИНО).

Озеро представляет собой небольшой водоем площадью в 2,6 га, наибольшей глубиной 4,4 м, и средней глубиной 2,1 м, расположенный среди низинного осоково-сфагнового болота. Дно составляют мощные отложения сапропеля с примесью торфяных частиц. Вода имеет коричневатый цвет, свидетельствующий о значительном влиянии болот. Летом в планктоне сильное цветение дают сине-зеленые. Из рыб имеется только карась. Озеро резко заморное.

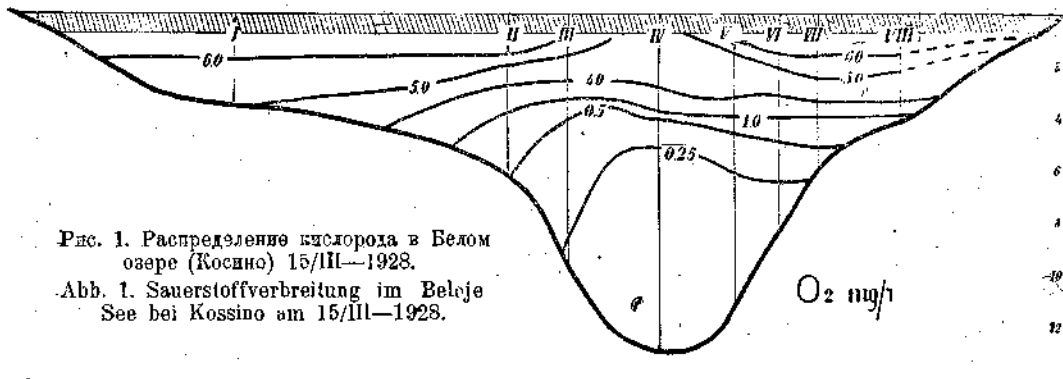


Рис. 1. Распределение кислорода в Белом озере (Косино) 15/III—1928.
 Abb. 1. Sauerstoffverbreitung im Beleje See bei Kossino am 15/III—1928.

Обследовалось озеро в отношении интересующего нас вопроса дважды. Первый раз 1/IV 1932 г. и во второй раз в 1933 г. В первый раз ни в одном из образцов взятых по четырем вертикалям от поверхности до дна не было обнаружено следов кислорода. Очевидно зимнее потребление кислорода дошло до конца. Лед озера на всем протяжении до самых берегов содержал вмёрзшие пузырьки газа; в центральных частях их было очень много к берегам значительно меньше. Второе обследование озера было произведено 13 февраля 1933 г. Снежный и ледяной покров толщиной около 70 см сохраняли вполне зимний вид. Полученные гидрохимические данные приводятся в таблице II и на графике 2 дается распределение кислорода.

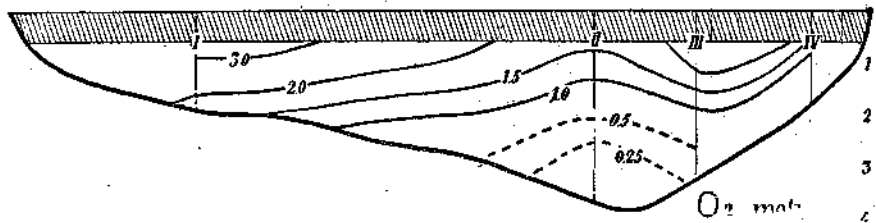


Рис. 2. Распределение кислорода в Черном озере (Косино) 13/II—1933.
 Abb. 2. Sauerstoffverbreitung im Tschernoje See bei Kossino am 13/II—1933.

Из приведенного цифрового и графического материала с большой резкостью выступает куполообразное распределение кислорода над местом наибольших глубин озера. Это место, судя по содержанию пузырьков газа во льду, является местом наиболее интенсивного газоотделения со дна. В отличие от других обследованных озер в Черном оз. газоотделение идет со всей поверхности дна, но с значительно меньшей интенсивностью в периферических частях. Совпадение этого обстоятельства с тем, что во всей водной массе Черного озера зимой происходит сильное потребление кислорода доходящее до нуля, как это было установлено в 1932 г., а также с тем, что озере резко заморное, должно быть подчеркнуто.

СВЯТОЕ ОЗЕРО (КОСИНО).

Расположенное среди верхового сфагнового болота озеро площадью 9,3 га является типичным в своем роде водоемом. Наибольшая глубина достигает 5 м, средняя — 3 м. Дно составляет озерный ил с значительной примесью перемытых частиц ила. Вода заметно окрашена в желтый цвет. Цветение планктона — редкое явление, наблюдается в особо засушливые года. Из рыбного населения имеется щука, окунь, плотва. Рыбных замороз не бывает.

Озеро обледовало 17 февраля 1933 г. при зимнем состоянии ледяного (толщина около 70 см) и снежного покрова.

Вмерзшие в лед пузырьки были очень мелки, в небольшом количестве и только в средней части озера (см. табл. III, рис. 3).

Значительное отличие распределения кислорода в Святом озере от Черного ясно выступает из приложенных графиков. Здесь мы имеем едва заметную изогнутость изоксигени, не дающую основания говорить о куполообразном распределении.

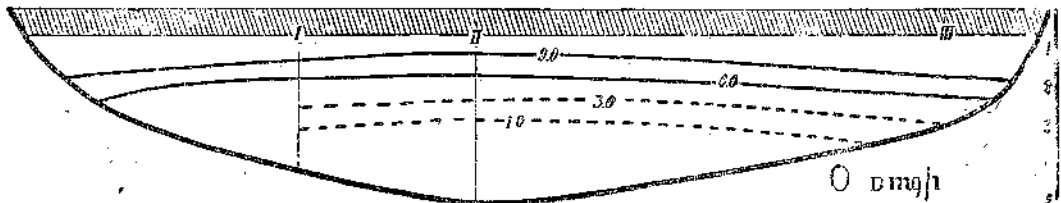


Рис. 3. Распределение кислорода в Святом озере (Косино) 17/II—1933.
Abb. 3. Sauerstoffverbreitung im Swjatoje See bei Kossino 17/II—1933.

При этом должно быть отмечено общее высокое содержание кислорода. Эти особенности должны быть сопоставлены с тем, что во льду было обнаружено очень мало и при том мелких пузырьков вмерзшего газа — обстоятельство говорящее об очень незначительном газоотделении со дна.

ПЕРЕСЛАВСКОЕ (ПЛЕЩЕЕВО) ОЗЕРО.

Этот один из крупных водоемов средней части Европейской территории Союза площадью около 50 км², достигает наибольшей глубины 25 м при средней глубине около 8 м. Грунты озера до глубины 12 — 15 м составляют пески, переходящие на больших глубинах в озерные илы типа гякты. Рыбное население озера достаточно разнообразно включая даже представителя сиговых — ряпушку. Замороз в озере никогда не бывает.

Химические и биологические особенности озера известны главным образом по работам Лимнологической Станции 1928 — 30 гг. Из этих материалов может быть использована одна серия наблюдений относящихся к концу зимнего периода. В это время, хотя снежный покров начал таять, на ледяном покрове (толщина около 80 см) не наблюдалось следов разрушения. По всем данным масса озера сохраняла полностью все черты зимнего состояния. Исследование ледяного покрова показало в ряде мест полное отсутствие вмерзших пузырьков газа.

Приведенный материал (табл. IV, рис. 4) показывает, что распределение кислорода зимой в Переславском озере не только не дает куполообразных поверхностей, но наоборот поверхности эти вогнуты, повторяя в общих чертах рельеф дна. Кроме того должно быть вообще отмечено очень высокое содержание кислорода сохраняющегося в известном количестве даже у самого дна.

БИСЕРОВО ОЗЕРО.

Довольно крупный водоем площадью 103 га отличается значительной мелководностью, имея наибольшие глубины 5 м. Характерной и существенной особенностью рельефа дна является то, что от берегов падение дна идет довольно быстро,

достигает глубины около 2,5 м, и большая часть дна представляет собой почти горизонтальную поверхность с очень незначительным падением.

Грунты озера у берегов песчаные или торфяниковые в более углубленных местах представляют собой отложения типа сапропеля.

Вода окрашена в желтоватый цвет с примесью гумусовых веществ. В планктоне развивается летом цветение сине-зеленых. Из рыбного населения имеется щука, окунь, карась, ерш и др. В последнее время в озеро для нагула пускалась стерлядь. Заморы бывают, иногда сильные, но не ежегодно.

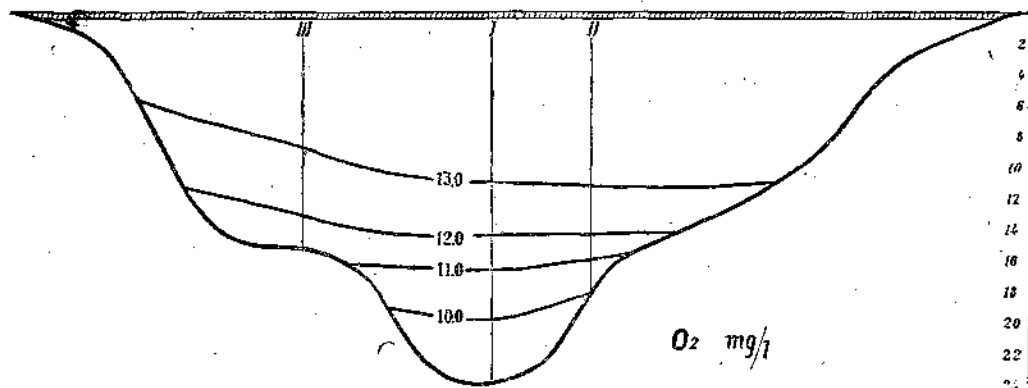


Рис. 4. Распределение кислорода в Переславском озере II/IV—1930.
Abb. 4. Sauerstoffverbreitung im Pereslawskoje See am II/IV—1930.

Озеро обследовалось нами 5-III-1933 г.; в это время снеговой и ледяной покров (толщина последнего 60—70 см) имели еще совсем зимний вид.

Пузырьков вмерзшего газа в ледном покрове средних частей озера очень много, к периферии значительно меньше, а у берегов совсем нет.

Приведенный материал (табл. V, рис. 5) позволяет подчеркнуть и выделить следующие существенные моменты. Резко выраженное куполообразное распределение кислорода над центральными частями водоема вполне соответствует локализации донного газоотделения, о котором можно судить по вмерзшим в лед пузырькам газа. Куполообразное распределение выражено резко несмотря на то,

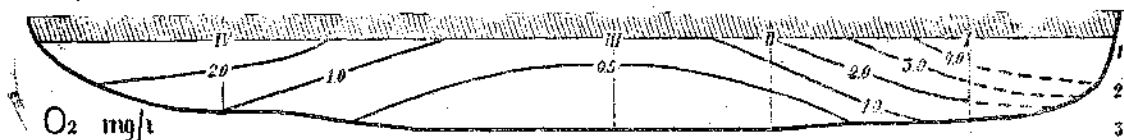


Рис. 5. Распределение кислорода в Бисеровом озере 15/III—1933.
Abb. 5. Sauerstoffverbreitung im Biserowo See am 15/III—1933.

что дно озера за исключением прибрежной полосы представляет собой почти горизонтальную поверхность. Эта особенность рельефа дна при достаточной обширности озера обуславливает то, что при резком дефиците кислорода в средних частях водоема, в периферических частях кислород содержится в достаточном количестве. Может быть высказано предположение, что в отдельные года при более интенсивном газоотделении дефицит кислорода может захватывать и периферические части озера.

БОЛЬШОЕ МЕДВЕЖЬЕ ОЗЕРО.

Большее из двух рядом лежащих и соединенных протоком озер имеет площадь около 166 га и наибольшую глубину около 5 м. Частью песчаный, частью торфянистый грунт берегов переходит в озерные илы тина гитты в более глубоких

частях. Вода очень слабо окрашена примесью гумусовых веществ. Летом значительное цветение сине-зеленых. Рыбное население разнообразно. Бывают заморы, но не ежегодные.

Озеро было нами обследовано в конце зимы 1933 г. Снежный и ледяной покров (ок. 70 см. толщиной) имели вполне зимний вид. Ледяной покров в средних частях озера содержал довольно много пузырьков вмерзшего газа, к периферии их количество уменьшалось, а у берегов они совсем не были заметны.

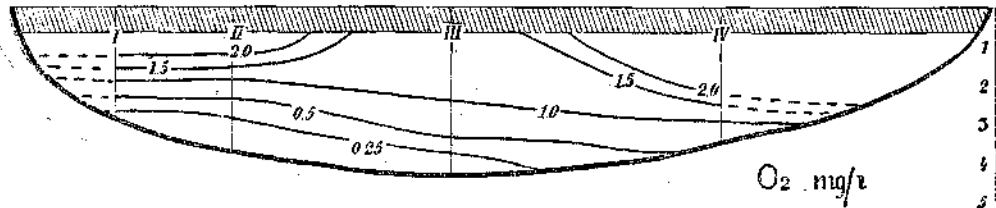


Рис. 6. Распределение кислорода в Большом Медвежьем озере 13/III—1933.
Abb. 6. Sauerstoffverbreitung im Bolschoje Medweshje See am 13/III—1933.

Полученный материал (табл. VI, рис. 6) дает вполне ясную картину куполообразного распределения кислорода. Однако эта картина не так схематична, как в других озерах. В верхних слоях куполообразное распределение выражено достаточно резко, в нижних значительно менее отчетливо и кроме того оно несколько смещено к левой стороне графика. Имеющиеся данные не позволяют вполне уяснить себе причину этих особенностей распределения кислорода. Предположительно можно говорить о некоторой несимметрии рельефа дна и о смещении зоны максимального газоотделения к одному из берегов. Все это могло быть выяснено более подробным изучением, но мы не задавались этой целью, ограничившись установлением факта совпадения куполообразного расположения плоскостей, с общим низким содержанием кислорода, наличием вмерзших в лед пузырьков газа и заморностью озера.

МАЛОЕ МЕДВЕЖЬЕ ОЗЕРО.

Небольшой водоем соединенный с предыдущим протоком, имеет площадь около 27 га и достигает 10 м глубины. Озеро лежит среди болот. Грунты составлены озерным илом с примесью перемытых торфяных частиц. Вода окрашена примесью гумусовых веществ. Достаточных сведений о биологических особенностях не имеется, но судя по ряду черт озеро является типичным болотным водоемом с слабым развитием фитопланктона. Точно также отсутствуют точные сведения о рыбном населении, но судя по часто наблюдаемым рыбным заморам, можно думать, что в озере остались мало требовательные к кислороду породы.

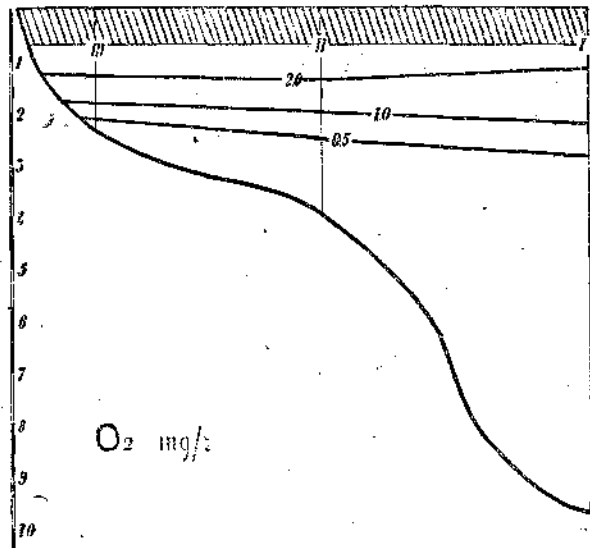


Рис. 7. Распределение кислорода в Малом Медвежьем озере 13/III—1933.
Abb. 7. Sauerstoffverbreitung im Maloje Medweshje See am 13/III—1933.

Озеро обследовано в конце зимы 1933 г. Снежный и ледяной покров (60—70 см) сохраняли еще зимнее состояние. В средних частях озера в ледяном покрове содержалось много пузырьков вмерзшего газа, к краям их становилось меньше, а у берегов они совсем отсутствовали.

Как показывают приведенные материалы (табл. VII, рис. 7) никакого куполообразного распределения кислорода не наблюдается. Небольшую выпуклость дает изоксигена 2 м, но зато изоксигены 1,0 и 0,5 м наоборот показывают даже некоторую вогнутость. В отличие от ряда других озер, несмотря на имеющееся донное газоотделение, о чем свидетельствуют вмерзшие в лед пузырьки газа, здесь кислород не обнаруживает куполообразного распределения; в соответствии с газоотделением находится только общее низкое содержание кислорода.

ГЛУБОКОЕ ОЗЕРО.

Один из наиболее глубоких водоемов средней части Европейской территории Союза достигает 32 м наибольшей глубины и 9,3 м средней глуб. и имеет площадь около 60 га. Берега озера частью заболочены, частью тверды

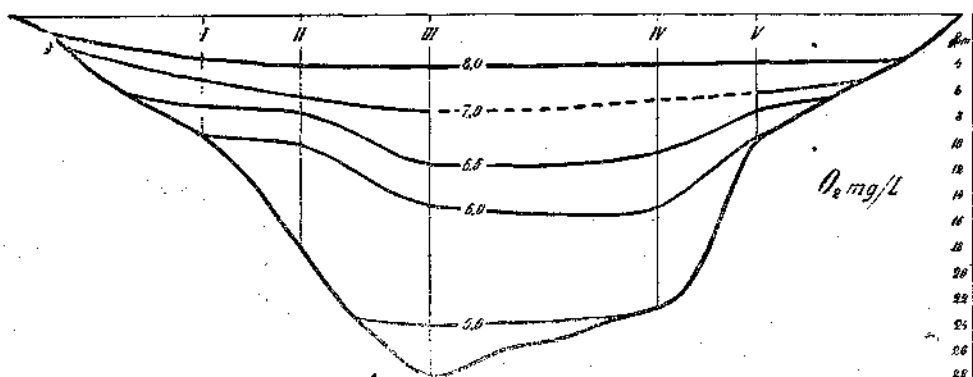


Рис. 8. Распределение кислорода в Глубоком озере 5/III—1931.

Abb. 8. Sauerstoffverbreitung im Glubokoje See am 5/III—1931.

Грунт у берегов песчаный, переходит в озерные илы типа гитты. Вода слабо окрашена в желтоватый цвет. В планктоне наблюдается цветение сине-зеленых, но не очень сильное. Из рыбного населения имеются лещ, окунь, плотва, карась, щука и др. Рыбных заморов никогда не бывает. Из имеющихся по Глубокому озеру материалов для нашей цели могут быть использованы наблюдения конца зимы 1931 г. (табл. VIII, рис. 8), дающие типичную картину зимнего состояния озера. Неоднократные наблюдения никогда не обнаруживали вмерзших пузырьков газа.

Расположение изоксиген Глубокого озера показывает резко выраженную вогнутость повторяющую в основном конфигурацию дна водоема. Содержание кислорода вообще достаточно высоко и идет в глубину с небольшим понижением; только в придонном слое в наиболее глубоких частях озера имеем заметное понижение содержания кислорода, но все же остающееся около 1 мг/л.

Картина распределения содержания кислорода в Глубоком озере в конце зимы должна быть сопоставлена с отсутствием здесь донного газоотделения и полным отсутствием рыбных заморов.

Первый и довольно существенный факт, который может быть установлен на основании проведенных нами работ это, что выделение газов со дна озера явление гораздо более распространенное, чем это можно было

предполагать. Белое озеро в Косине, изучавшееся нами первоначально, вовсе не представляет в этом отношении исключения. Явление газоотделения было установлено нами в целом ряде озер обычного для средней полосы СССР типа. До настоящего времени это явление не обращало на себя должного внимания, и если не считать отдельных упоминаний вскользь о выделении со дна озер газов, то лишь в одной работе мы находим некоторые данные о донном газоотделении в озерах.

Virge and Judaу (1911) приводят данные химического состава образцов газа собранных на некоторых озерах САСШ. Эти данные в изложении авторов не имеют самостоятельного значения, а используются для объяснения нахождения в растворенном состоянии в озерных водах таких газов как метан, водород, окись углерода и др.

Уже то обстоятельство, что газоотделение в озерах является довольно распространенным, должно привлечь внимание исследователей на это явление и направить работу на установление возможно большего числа случаев донного газоотделения, на изучение его локализации в связи с рельефом дна водоема и нахождение зависимостей между этим явлением и другими особенностями озер.

Второе положение, к которому приводит изучение донного газоотделения, это, что последнее является существенным фактором в отношении химического и биологического режима озер. До сих пор этот фактор не учитывался при изучении озер и выпадал целиком при попытках тех или иных лимнологических обобщений — он повидимому, просто оставался неизвестным. Проведенные нами до сих пор работы далеко не охватывают явления и мы далеки от того чтобы дать полную оценку роли этого явления, но, что донное газоотделение несомненно играет не маловажную роль в совокупности химических и биологических процессов в озере и не может не учитываться, уже сейчас является для нас несомненным.

Не останавливаясь на возможных перспективах и новых точках зрения в области понимания ряда лимнологических явлений, которые могут возникнуть тогда, когда процессы донного газоотделения и газообразования будут изучены достаточно полно, рассмотрим два вопроса, для выяснения которых имеющийся материал уже достаточен. Мы имеем в виду вопрос о куполообразном изгибе изоксигенных поверхностей зимой и вопрос о зимнем дефиците кислорода.

Выше уже излагались соображения, в силу которых попытка Alsterberg объяснить зимнюю куполообразную форму изоксигенных поверхностей токами, является неприемлемой.

Установленный факт (Россолимо Л. Л., Кузнецов С. И.), что донное газоотделение физически, химически и микробиологически резко влияет в сторону снижения содержания кислорода в водной массе над местом выделения донных газов — обычно в центральных наиболее глубоких частях водоема — сам по себе является достаточным, чтобы сделать весьма вероятной причинную зависимость куполообразного изгиба изоксигенных поверхностей над местом наибольших глубин озера, от донного газоотделения. Дальнейшие наблюдения, показавшие на ряде озер совпадение изгиба изоксигенных поверхностей с наличием и определенной локализацией донного газоотделения и отсутствие такого изгиба при отсутствии газоотделения, позволяют уже утверждать зависимость между обоими явлениями.

В материалах, собранных нами с ряда озер имеются данные прямо опровергающие положение Alsterberg о связи между куполообразной формой изоксигенных поверхностей вызванными термическими причинами. Мы имеем в виду наши данные по Бисерову озеру. Рельеф дна озера, как это видно из профиля (рис. 5), обнаруживает довольно резкое падение в узкой литоральной полосе, а в остальной, достаточно обширной части озера, дно имеет совершенно незначительное падение и является почти горизонтальным. Очевидно, что при таком рельефе дна скатывание по дну более плотных масс воды может иметь место только в узкой прибрежной полосе, и совершенно невозможно в более удаленных от берегов частях.

озера. Т. е., иными словами, при таком рельефе дна, какой имеет Бисерово озеро, не могут возникать те токи, схему которых дает Alsterberg. Вместе с тем в этом озере чрезвычайно рельефно выражена куполообразная форма изоксиген над центром озера. В Бисеровом озере, как видно из наших данных, имеет место интенсивное газоотделение, наиболее сильно выраженное в центральной части озера.

То, что удалось наблюдать на Белом озере в Косине, также необъяснимо с точки зрения Alsterberg. Глубинная часть озера представляет собою двойную котловину. Над обоими частями котловины имеются куполообразные изгибы изоксиген (Rossolimo 1928). Такой двойной купол не может быть объяснен воздействием токов. Вместе с тем, нами было установлено (Россолимо 1932), что в обеих частях котловины имеются максимумы газоотделения, что вполне объясняет с нашей точки зрения двойной купол изоксиген.

Эти данные, как будто, достаточно убедительно говорят против какой либо связи между куполообразной формой изоксиген зимой и наддонными токами, если таковые и существуют в каких нибудь озерах.

Таким образом, мы устанавливаем, что куполообразный изгиб изоксигенных поверхностей, наблюдаемый зимой под льдом в некоторых озерах, возникает в этих озерах вследствие донного газоотделения. Последнее будучи локализовано обычно в местах наибольших глубин озера обуславливает понижение содержания кислорода физически, химически и микробиологически над этими местами, что приводит к куполообразному изгибу изоксигенных поверхностей.

Переходя к второму вопросу, вопросу о зимнем кислородном дефиците не будем останавливаться на всех попытках объяснить это явление, очень характерное для некоторых типов озер и достаточно важное в отношении рыбохозяйственного использования озер. По видимому, можно считать достаточно общепринятым, что причиной сильного понижения содержания кислорода доходящего нередко до полного его исчезновения в замкнутых водоемах зимой, являются процессы разложения органических озерных отложений, окисления взвешенных частиц и дыхания организмов.

Эта точка зрения встречала затруднения в объяснении причин распространения кислородного дефицита в неподвижной водной массе воды под льдом из придонных слоев вверх, иной раз до самой поверхности. Alsterberg (1927) подвергший анализу этот вопрос пришел к выводу, что диффузия, благодаря большой замедленности, не может быть причиной распространения кислородного дефицита выше тонкого придонного слоя воды. Разработанная этим автором схема стратификаций различных систем (Mikroschichtung, primäre und sekundäre Makroschichtung), имеющая в основе гипотетические наддонные и восходящие токи, является попыткой найти объяснение механизма распространения вверх кислородного дефицита. Здесь в порядке критики этих схем должно быть повторено все говорившееся выше, а именно, что существование токов не подтверждено непосредственными наблюдениями и что имеются озера, где этих токов почему-то нет, так как не выражена куполообразная форма изоксиген.

Наши данные по изучению газоотделения приводят к мысли, что это явление есть причина возникновения кислородного минимума.

Основания для этого следующие:

1. Путем непосредственных наблюдений на озерах и специально поставленных экспериментов в лаборатории и на озерах доказано, что прохождение через водную массу пузырьков газовой смеси (в основном метан и водород) приводит к резкому понижению содержания в воде кислорода в результате физического процесса газообмена и специфических микробиологических процессов окисления метана и водорода за счет растворенного в воде кислорода.

2. Резкое понижение содержания кислорода в воде зимой наблюдается только

в тех озерах, где имеется донное газоотделение, в озерах, где оно отсутствует, содержание кислорода на протяжении всей зимы держится на высоком и б. и. м. постоянном уровне, за исключением придонного слоя, непосредственно соприкасающегося с поверхностью донных отложений.

3. В ряде обследованных озер (неясную картину дает М. Медвежье озеро, которое должно быть исследовано повторно) кислородный дефицит совпадает с обнаружением куполообразной формы изоксиген и во всех случаях отсутствия дефицита кислорода изоксигены имеют горизонтальное или вогнутое, соответствующее рельефу дна, расположение.

4. Степень зимнего кислородного дефицита находится в соответствии с интенсивностью донного газоотделения (Святое озеро в Косине отличающееся слабым донным газоотделением дает незначительное снижение кислорода).

Таким образом, мы приходим к выводу, что причиной зимнего кислородного дефицита в замкнутых водоемах является донное газоотделение, т. е. восходящий поток пузырьков газа, которое приводит физически, химически и микробиологически к снижению содержания кислорода в проходящей водной массе. Этот вывод заставляет несколько изменить взгляд, что снижение в воде содержания кислорода есть следствие непосредственного контакта воды с восстановителями донных отложений, и этот вывод делает излишним отнесение факторов распространения кислородного дефицита из придонного слоя вверх (Alsterberg). Выдвигаемая нами точка зрения не идет в разрез с общепринятым взглядом, что причиной потребления кислорода зимой являются продукты разложения иловых отложений. Но существенная разница заключается в том, что это окисление, т. е. поглощение из воды кислорода, идет не в слое контакта воды с дном, а по всей водной массе от дна до поверхности, во всем столбе воды, находящемся над частями дна выделяющими газы.

Наши наблюдения в основном были направлены на изучение зимней картины распределения кислорода в связи с донным газоотделением, т. к. зимние картины в подледный период могли дать наибольшую ясность и кроме того непосредственно соответствовали времени наступления заморов.

Наши уже опубликованные наблюдения по газоотделению на Белом озере показывают, что этот процесс во все другие времена года не прекращается, а летом достигает наибольшей интенсивности. Поэтому очевидно и процесс поглощения кислорода в водной массе летом идет более интенсивно чем зимой. Поэтому все выводы о зависимости между донным газоотделением и содержанием и распределением кислорода могут быть также отнесены и к периоду летней стагнации. Осложняющим моментом в проявлении влияния донного газоотделения является подвижность водной массы летом. В озерах мелководных целиком охваченных ветровым перемешиванием, очевидно, никакого влияния газоотделения подметить нельзя. В озерах достаточно глубоких с выраженными термическими зонами, это влияние совершенно ясно. В Белом озере мы имеем рано наступающий и резкий дефицит кислорода в гипolimнионе, в Глубоком и Переславском озерах (нет газоотделения) этот дефицит не наступает.

Установленная нами зависимость между донным газоотделением и явлением резкого снижения содержания кислорода зимой намечает некоторый сдвиг в вопросе о зимнем кислородном дефиците. Как известно ясного ответа на этот вопрос не имеется и до сих пор мы удовлетворяемся установлением самого факта и попытками связать это явление с тем или иным типом озер.

Общее положение, что в озерах с обильными органическими отложениями, разложение последних является причиной кислородного дефицита в периоды стагнации, оставалось совсем неясным, особенно после того как Alsterberg показал, что путем диффузии кислородный дефицит не может распространиться за пределы тонкого придонного слоя. Установленная нами зависимость уточняет это положение, показывая какие именно продукты разложения донных отложений, каким

путем, и где, окисляясь и потребляя кислород растворенный в водной массе, создают дефицит.

Все это, внося известную ясность в вопрос о способе возникновения кислородного минимума, оставляет еще не разрешенным вопрос об основных причинах этого явления, перенося разрешение этого вопроса в несколько иную плоскость. Если мы говорим, что только вполне определенные газообразные продукты распада донных отложений способны вызывать кислородный дефицит во всей толще воды, то разрешение вопроса о дефиците мы должны перенести в плоскость изучения процессов образования именно этих продуктов разложения илов. Иными словами, и мы должны знать каковы те условия разложения органических илов, при которых образуются эти газообразные продукты распада. Ибо полученные нами данные показывают, что не во всех озерах, где имеются органические илы разложение их приводит к выделению этих продуктов. Далее, мы видим, что в озерах, где разложение илов дает газообразные продукты выделяющиеся в виде пузырьков, это явление строго локализовано, т. е. приурочено к определенным частям дна. Эта локализация определяется даже в одном и том же озере не столько абсолютной глубиной, сколько особенностям рельефа дна (две впадины Белого озера в Косине). Последний по выводу, составляет важную сторону вопроса о зимнем кислородном дефиците.

Дефицит кислорода зимой, как известно, составляет существенный элемент кислородного режима озер. Непосредственное следствие дефицита — это зимние заморы рыб, что делает некоторые озера совершенно непригодными для рыбохозяйственного использования. Собранный нами материал показывает на ряде обследованных озер полное совпадение повторяющихся более или менее часто рыбных заморев, зимнего кислородного дефицита и донного газоотделения. При том значении, которое приобретает озерное и прудовое рыбное хозяйство, определение заморности водоема с одной стороны и борьба с заморами с другой составляют важную сторону в хозяйственном освоении озер и прудов. В качестве приема достаточно простого, доступного при любых условиях и без всякой аппаратуры, для определения возможной заморности водоема — это исследование льда в центральных частях водоема и установление наличия вмерзших пузырьков газа.

Борьба с заморами с точки зрения выдвигаемых здесь положений должна быть перенесена в плоскость изыскания способов изменения характера процессов разложения органических илов и возможного снижения таких газообразных продуктов как метан и водород.

Новые зависимости, которые мы устанавливаем между кислородным дефицитом в периоды стагнации и донным газоотделением, как следствием специфических процессов разложения озерных илов с образованием метана и водорода — должны внести некоторые новые точки зрения в основные лимнологические проблемы. В разрешение общей проблемы круговорота и баланса вещества и энергии в водоеме вводится новый элемент окислительных процессов в водной массе. Окисление метана и водорода, в виде непрерывного тока поступающих со дна, в процессе жизнедеятельности особых групп бактерий, создает условие постоянного расходования запасов кислорода. Этот путь расходования кислорода оставался до сих пор не учтенным, и по имеющимся у нас данным он составляет величину, которой во всяком случае пренебрегать нельзя.

Как известно, кислородный режим и его особенности в отдельные сезоны составляет важнейший элемент Тинемановской типологической характеристики озер. Установленные нами явления имеют прямое отношение к этому вопросу и заставляют пересмотреть некоторые положения этой типологии. Кислородная кривая в периоды стагнации по Тинеману является особенностью характеризующей эвтрофный и олиготрофный типы озер. Эта кривая является выразителем объема окислительных процессов и показывает различия в этом отношении между двумя названными типами озер. Высокая продукция в эвтрофном водоеме ведет к накоплению органического вещества в различных формах и разложение его главным

№ станции и глуб. в м № d. Station u. Tiefe in m	Глуб. взятия образца Tiefe d. Probenahme	t°	O ₂ mg/l	Окисляемость Oxydierbarkeit O ₂ mg/l	Общее число бактерий Ges. Anz d. Bakter.					Пузырьки газа во льду Gasbläschen im Eise
					Кокки Kokken	Палочки Stäbchen	Прочие Andere	в тыс. на 1 см ³ in Tausende a. 1 cm ³		
Таблица I. Белое озеро — Beloje See — 15 III 28. Tabelle I										
Ст. I; 3,5	1,0	1,21	7,63	—	—	—	—	—	—	нет fehlen
	2,0	2,03	5,79	—	—	—	—	—	—	
	3,5	2,71	5,66	—	—	—	—	—	—	
Ст. II; 6,5	1,0	1,31	7,42	—	—	—	—	—	—	нет fehlen
	2,0	2,01	5,19	—	—	—	—	—	—	
	3,0	2,63	2,73	—	—	—	—	—	—	
	4,0	3,00	0,66	—	—	—	—	—	—	
	6,25	3,46	0,63	—	—	—	—	—	—	
Ст. III; 9,8	1,0	1,43	5,30	—	—	—	—	—	—	очень мало sehr wenig
	2,0	2,03	4,67	—	—	—	—	—	—	
	3,0	2,65	2,13	—	—	—	—	—	—	
	4,0	3,00	0,53	—	—	—	—	—	—	
	6,0	3,26	0,33	—	—	—	—	—	—	
	8,0	3,40	0,30	—	—	—	—	—	—	
	9,5	3,62	0,19	—	—	—	—	—	—	
Ст. IV; 12,8	1,0	1,50	4,89	—	—	—	—	—	—	много viel
	2,0	2,12	4,47	—	—	—	—	—	—	
	3,0	2,64	2,72	—	—	—	—	—	—	
	4,0	2,89	1,79	—	—	—	—	—	—	
	6,0	3,27	0,27	—	—	—	—	—	—	
	9,0	3,40	0,26	—	—	—	—	—	—	
	12,5	4,32	0,00	—	—	—	—	—	—	
Ст. V; 11,1	3,0	2,60	3,63	—	—	—	—	—	—	достаточно genug
	4,0	2,91	0,83	—	—	—	—	—	—	
	6,0	3,26	0,26	—	—	—	—	—	—	
	8,0	3,35	0,13 (P)	—	—	—	—	—	—	
	10,7	3,40	0,19	—	—	—	—	—	—	
Ст. VI; 8,4	1,0	1,60	6,39	—	—	—	—	—	—	нет fehlen
	3,0	2,58	3,17	—	—	—	—	—	—	
	4,0	2,96	1,04	—	—	—	—	—	—	
	6,0	3,30	0,29	—	—	—	—	—	—	
	8,3	3,55	0,19	—	—	—	—	—	—	
Ст. VII; 6,0	1,0	1,61	7,75	—	—	—	—	—	—	нет fehlen
	2,0	2,15	5,66	—	—	—	—	—	—	
	3,0	2,59	4,17	—	—	—	—	—	—	
	4,0	3,00	1,16	—	—	—	—	—	—	
	5,8	3,30	0,26	—	—	—	—	—	—	
Ст. VIII; 4,3	2,0	2,10	5,59	—	—	—	—	—	—	нет fehlen
	4,0	2,98	1,36	—	—	—	—	—	—	

№ станции и глуб. в м № d. Station u. Tiefe in m.	Глуб. взята образца Tiefe d. Probenahme	t°	O ₂ mg/l	Окисляемость Oxidierbarkeit O ₂ mg/l	в тыс. на 1 см ³ in Tausende a. 1 cm ³				Пузырьки газа во льду Gasbläschen im Eise
					Общее число бактерий Ges. Anz d. Bakter.	Кокки Kokken	Палочки Stäbchen	Прочие Andere	
Таблица Ia. Белое озеро — Beloje See. Tabelle Ia.									
12,3 ж	1,0	0,5	4,22	9,99	156	54	102	0	много viel
	3,0	2,3	4,22	10,91	352	163	190	0	
	5,0	2,7	1,79	9,36	380	81	299	0	
	7,0	2,8	0,70	8,72	573	242	295	0	
	10,0	3,1	0,21	9,68	1 968	472	1 496	0	
	12,0	3,1	0,00	10,97	1 854	289	1 565	0	
Таблица II. Черное озеро — Tschernoje See. 13 II 33. Tabelle II.									
Ст. I; 2,1	1,0	1,10	3,09	14,18	—	—	—	—	мало wenig
	1,5	2,50	2,35	—	510	270	230	10	
Ст. II; 4,1	1,0	1,20	1,47	12,97	320	130	190	0	оч. много sehr viel
	2,0	3,00	0,65	12,97	329	160	160	0	
Ст. III; 3,7	1,0	1,45	2,93	12,10	—	—	—	—	много viel
	1,5	3,00	1,48	13,40	—	—	—	—	
Ст. IV; 2,1	1,0	1,60	0,91	14,52	—	—	—	—	мало wenig
	1,5	2,50	—	14,18	—	—	—	—	
Таблица III. Святое озеро — Swjatoje See 17. II 33. Tabelle III.									
Ст. I; 3,9	1,0	0,70	11,46	—	—	—	—	—	нет fehlen
	2,0	2,60	5,47	—	565	286	279	0	
Ст. II; 4,8	1,0	1,90	9,28	9,98	240	79	167	0	мало и мелкие wenig und kleine
	2,0	2,60	3,84	—	—	—	—	—	
Ст. III; 3,2	1,0	1,10	13,09	—	—	—	—	—	нет fehlen
	2,0	2,60	7,29	—	—	—	—	—	
Таблица IV. Переславское озеро — Pereslawskoje See 11 IV 30. Tabelle IV.									
Ст. I; 23,0	2,0	0,65	13,89	—	—	—	—	—	нет fehlen
	7,0	0,60	14,02	—	—	—	—	—	
	10,0	0,62	14,08	—	—	—	—	—	
	12,0	0,78	12,73	—	—	—	—	—	
	16,0	1,20	11,37	—	—	—	—	—	
	20,0	1,85	3,23	—	—	—	—	—	
Ст. II; 18,7	10,0	0,61	14,05	—	—	—	—	—	нет fehlen
	15,0	1,26	11,69	—	—	—	—	—	
Ст. III; 15,5	8,0	1,70	13,65	—	—	—	—	—	нет fehlen
	12,0	1,84	12,52	—	—	—	—	—	
	15,3	1,20	11,62	—	—	—	—	—	

1) В склянку попал пузырек воздуха.

№ станции и глуб. в м № d. Station u. Tiefe in m	Глуб. выемки образца Tiefe d. Probeentnahme	t°	O ₂ mg/l	Окисляемость Oxidierbarkeit O ₂ mg/l	Общее число бактерий Ges. Anz d. Bakterien				Пузырьки газа в льду Gasbläschen im Eise
					Кокки Kokken	Палочки Stäbchen	Прочие Andere	в тыс. на 1 см ³ in Tausende a. 1 cm ³	
Таблица VIII. Глубокое озеро — Glubokoje See. 5 III 31. Tabelle VIII.									
Ст. I; 9,3	3,0	3,3	8,15	—	—	—	—	—	нет fehlen
	5,0	3,4	7,00	—	—	—	—	нет fehlen	
	7,0	3,5	6,57	—	—	—	—		
	9,0	—	6,14	—	—	—	—		
Ст. II; 18,0	3,0	3,2	8,57	—	—	—	—	нет fehlen	
	5,0	3,4	7,57	—	—	—	—		
	10,0	3,5	6,00	—	—	—	—		
	15,0	3,5	6,00	—	—	—	—		
Ст. III; 28,0	3,0	3,1	8,15	—	—	—	—	нет fehlen	
	5,0	3,4	7,57	—	—	—	—		
	10,0	3,5	6,96	—	—	—	—		
	13,0	3,5	6,14	—	—	—	—		
	20,0	3,6	5,72	—	—	—	—		
	25,0	3,6	3,29	—	—	—	—		
28,0	3,7	0,83	—	—	—	—			
Ст. IV; 22,8	3,0	3,1	8,29	—	—	—	—	нет fehlen	
	5,0	3,5	6,86(P)	—	—	—	—		
	10,0	3,5	6,57	—	—	—	—		
	15,0	3,5	6,00	—	—	—	—		
	21,0	3,6	5,14	—	—	—	—		
Ст. V; 9,3	0,0	3,1	8,43	—	—	—	—	нет fehlen	
	5,0	3,4	7,63	—	—	—	—		
	6,5	3,5	6,86	—	—	—	—		
	8,5	3,5	6,14	—	—	—	—		

Развитие водородных и метановых бактерий в культуре накопления.
Entwicklung der Methan- und Wasserstoff-Bakterien in Rohkulturen.

Длительность опыта Versuchs-dauer	Стация и глубина Station u. Tiefe	Глуб. выемки образца Tiefe d. Probeentnahme	Содержание O ₂ в озерной воде в мг/л O ₂ Gehalt im Seewasser mg/l	Водородные Wasserstoff-Bakterien			Метановые Methan-Bakterien		
				Концет. бакт. в культуре в милл. Anzahl der Bakterien in Kultur in Millionen	Окисляем. в культуре в мг O ₂ Oxidierbarkeit in Kultur in mg O ₂	Концет. бакт. в культуре в милл. Anzahl der Bakterien in Kultur in Millionen	Окисляем. в культуре в мг O ₂ Oxidierbarkeit in Kultur in mg O ₂	Сумма водородных и метановых бакт. в миллион. Summe de Methan- und Wasserstoff-Bakterien in Millionen	
Таблица IX. Черное озеро. Tschernoje See. Tabelle IX.									
13, II 1933	I; 2,1 m	1,5	2,35	750	22,2	300	23,2	1 050	
	II; 4,1 m	1	1,47	493	26,0	4 130	30,2	4 623	
27, II 1933	3	0,19	1 358	19,2	2 286	25,6	3 644		
	III; 3,7 m	2	1,59	4 440	39,1	445	22,2	4 885	

Длительность опыта Versuchs- dauer	Станция и глубина Station u. Tiefe	Глуб. выемки образцов Tiefe d. Probeentnahme	Содержание O ₂ в озер- ной воде в мг/л O ₂ Gehalt im Seewasser mg/l	Водородные Wasserstoff-Bakterien		Метановые Methan-Bakterien		Сумма водородных и ме- тановых б-кт. в миллион Summe de Methan- und Wasserstoff-Bakterien in Millionen.
				Количество б-кт. в культуре в млрд. Anzahl der Bakte- rien in Kultur in Millionen	Окисляем. в куль- туре в мг O ₂ Oxydierbarkeit in Kultur in mg O ₂	Количество б-кт. в культуре в млрд. Anzahl der Bakte- rien in Kultur in Millionen	Окисляем. в куль- туре в мг O ₂ Oxydierbarkeit in Kultur in mg O ₂	
Таблица X. Святое озеро. Swjatoje See. Tabelle X.								
17, II 1933 6, III 1933	I; 8,9 m	2 3	5,47	153	21,4	8 321	61,6	8 472
			1,10	100	21,4	26 793	67,2	27 893
II; 4,8 m	1 3 4	9,28	1 170	21,2	5 916	59,2	7 036	
		0,31	154	22,0	9 989	67,2	10 543	
		0,38	91	12,2	18 611	69,6	18 702	
Таблица XI. Бисерово озеро. Bisserowo See. Tabelle XI.								
6, III 1933	I; 2,7 m	1	4,55	294	55,8	329	57,2	633
			2,64	399	53,6	3 114	60,3	3 513
16, III 1933	II; 2,7 m	1 2,5	0,52	372	56,5	4 945	63,2	5 317
			III; 3,0 m	1 2	0,58	3 387	69,6	854
0,31	3 765	77,6			431	60,2	4 196	
Таблица XII. Белое озеро. Beloje See. Tabelle XII.								
27, II 1933 9, III 1932	I; 12,5 m	1 3 5 7 12	4,22	2 038	56,8	3 014	55,6	5 052
			4,22	2 491	51,2	2 710	53,2	5 201
			1,79	2 521	52,8	2 325	48,4	4 842
			0,70	4 336	63,2	2 537	61,0	6 857
			0,0	26 303	114,0	5 968	81,5	32 376
Таблица XIII. Большое Медвежье озеро. Bolschoje Medweshje See. Tabelle XIII.								
14, III 1933	I; 2,9 m	2	8,88	524	72,4	1 269	81,0	1 738
			24, III 1933	III; 4,2 m	1 2 3 4	1,17	562	75,8
1,10	279	8,4				354	82,8	633
0,65	—	—				—	—	—
—	26 000	118,0				1 388	85,4	27 339
Таблица XIV. Малое Медвежье озеро. Maloje Medweshje See. Tabelle XIV.								
14, III 1933	I; 9,7 m	1 5 9,5	2,13	201	63,2	1 809	70,0	2 060
			—	5 871	83,4	275	72,0	6 246
			—	3 386	81,8	1 850	91,6	5 236
21, III 1933	II; 3,6 m	2	0,97	2 623	76,2	7 648	72,4	9 271
			III; 2,2 m	3	0,38	—	—	—
Таблица XV. Глубокое озеро. Glubokoje See. Tabelle XV.								
7, V 1933 17, V 1933		0 5 10 20 29	9,74	690	—	138	—	828
			9,06	394	—	201	—	595
			8,36	21	—	123	—	144
			7,94	1 488	—	197	—	1 685
			6,23	2 397	—	432	—	2 829

образом определяет объем окислительных процессов. Это положение, даже и до обнаружения нами роли донного газоотделения оставалось не совсем ясным. Приведенный выше общепринятый взгляд, что в основном поглощение кислорода идет за счет окисления донных отложений, окисления медленно оседающих органических частиц и дыхания организмов, не дает конкретного объяснения возникновению кислородного дефицита в период стагнации. Донные отложения, как это может считаться вполне доказанным не распространяют своего поглощающего-кислород влияния за пределы тонкого придонного слоя. Разложение оседающих частиц, если и может обусловить поглощение кислорода, что пока еще не доказано непосредственными наблюдениями, то во всяком случае не в период зимней стагнации, когда взвешенных веществ в воде почти не содержится. Дыхание организмов при их незначительном количестве в глубоких слоях, а особенно зимой, конечно, не может создать кислородного дефицита (см. об этом в микробиологической части работы). Таким образом, до сих пор не может считаться доказанным и подтвержденным фактическими данными, что между эвтрофией или высокой продукцией органического вещества и резким потреблением кислорода существует общая зависимость. Теперь для нас ясно, что резкое падение кислородной кривой в периоды стагнации связано с донными газоотделением и окислением метана и водорода в самой водной массе, т. е. иными словами снижение содержания кислорода не есть следствие высокой продукции органического вещества вообще, а связано лишь с определенным характером разложения озерных илов.

Из этого следует, что положение Тинемана есть не более чем совпадение для ряда озер (далеко не для всех) между определенным характером кислородной кривой и некоторыми другими признаками, которые считаются характерными для эвтрофного типа. Едва ли можно считать донное газоотделение признаком эвтрофного водоема причинно связанным с основной чертой этого типа озер — с высокой продуктивностью органического вещества. Очевидно наличие донного газоотделения есть частный случай, который представляют некоторые (может быть многие) озера, причем возможно не только эвтрофные, а и другие.

В том, что эвтрофия, понимаемая как высокая продукция органического вещества, может не совпадать с определенным характером кислородной кривой в периоды стагнации, убеждает нас пример Переславского озера. Широкая мелководная литораль, интенсивное развитие в планктоне синезеленых, достаточно высокая продуктивность бентоса донные отложения — типичная гиття (см. работы Лимнологической Станции в Косине) безусловно заставляют отнести это озеро к эвтрофному типу. В то же время кислородная кривая в периоды стагнации показывает в гипolimнионе, за исключением тонкого придонного слоя на больших глубинах, высокое содержание кислорода, т. е. не является характерной для эвтрофного водоема. С нашей точки зрения это является вполне закономерным, поскольку в Переславском озере не имеется донного газоотделения, т. е. отсутствует фактор снижающий содержание кислорода в водной массе.

Пока еще, конечно, преждевременно оценивать значение донного газоотделения в озерном балансе, но ясно, что это фактор не маловажного значения. Если придерживаться принципов Наумана, то следовало бы донное газоотделение рассматривать как особый фактор продуктивности, определяющий, создающий резко выраженные особенности водоема.

Микробиологические процессы, связанные с донным газоотделением.

Изучение причин динамики кислорода в открытых водоемах является задачей весьма важной с теоретической и практической точки зрения. Настоящая микробиологическая часть исследования и является попыткой подойти к разрешению поставленного вопроса.

Как уже выше, отмечено, нами был обследован ряд озер, большинство из которых является заморными.

По нашему мнению исчезновение кислорода в водоеме может идти за счет следующих причин:

1. Поглощение иловыми отложениями.
2. За счет дыхания водорослей и зоопланктона.
3. За счет дыхания бактерий.
4. И наконец за счет биологического окисления газов, выделяющихся со дна водоема и содержащих значительный % водорода и метана.

Микробиологические наблюдения в основном были направлены к выяснению двух последних пунктов и сводились к учету общего количества бактерий микробиологическим методом (Кузнецов и Карзинкин 1930) и к выделению бактерий окисляющих водород и метан, учету их распространения и активности.

Для выделения, как водородных, так и метановых бактерий применялись минеральные среды. Для водородных среда Grohmann NH_4Cl 0,01%, KH_2PO_4 0,005%, MgSO_4 0,005%, FeCl_3 следы и Na_2CO_3 0,01%, на дистиллированной воде. Для метановых бактерий среда Söhngen $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,01%, K_2HPO_4 0,005%, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,001% и позднее среда Münz (1915) = KNO_3 0,1%, MgSO_4 0,02% и K_2HPO_4 0,05%.

Опыты ставились по методу Grohmann (1924). В чашки Коха, диаметром около 5 см вносилось 10 см³ испытуемой воды, добавлялось 10 см³ среды Громана двойной концентрации. Чашки помещались под колокол в атмосферу тремучего газа с добавкой небольшого количества углекислоты. Колокол ставился в термостат при температуре около 30° С. Продолжительность опыта 10 дней.

Для метановых бактерий опыты ставились аналогичным образом, только под колоколом создавалась атмосфера из 1 части метана и 2-х частей воздуха. О развитии как водородных так и метановых бактерий можно было судить по заметному помутнению раствора и по появлению пленки на поверхности, и по уменьшению объема газа под колоколом.

Интенсивность развития бактерий определялась путем титрования перманганатом органического вещества, образовавшегося в культурах в результате жизнедеятельности бактерий, а также количество развившихся в культуре бактерий просчитывалось непосредственно под микроскопом в мазках, после применения соответствующих разведений.

Наиболее полно нами было обследовано Белое озеро и на примере этого водоема мы постараемся подойти к разрешению поставленных вопросов.

Поглощение кислорода илом, как известно, может распространяться лишь на тонкий придонный слой воды.

Как видно из табл. XVI, где приведены данные зимних анализов, содержание кислорода в Белом озере в течение месяца с 14/XI по 15/XII—1932 и упало на глубине 12 м на 11 мг/л, а на глубине 7 м — на 8 мг/л. Принимая во внимание, что озеро замерзло в начале декабря, такое падение кислорода произошло в течение примерно 2-х недель, т. е. на глубине 7 м ежедневно каждый литр воды терял 0,5 мг кислорода.

Такое падение кислорода в слое воды отстоящем на 5,5 м от дна водоема, конечно никак не может быть объяснено поглощением илом, даже если допустить стекание придонного слоя воды со всего ложа в котловину озера.

Поглощение кислорода фито-и зоопланктоном в зимние м-цы может быть также незначительно.

Согласно любезно предоставленным нам данным А. П. Шербакова, 1 самка *Diatomus graciloides* поглощает в сутки при 5° С 0,001 мг O_2 . Самцы этого вида поглощают при тех же условиях 0,0007 мг O_2 . У *Cyclops leuckarti* процесс дыхания идет примерно вдвое слабее, чем у *Diatomus graciloides*.

Поглощение кислорода у *Nauplii Serepoda* выражено значительно слабее, чем у взрослых форм.

Вертикальное распределение зоопланктона в Белом озере изучал С. Н. Дулаков. Он подметил определенную закономерность в распределении зоопланк-

Таблица XVI.

Зимнее содержание кислорода в воде Белого озера. мг. O₂ на л.

Tabelle XVI.

Winterlicher Sauerstoff-Gehalt im Wasser des Beloje Sees.

Глубина в м Tiefe in m	6/II 1932	10/III 1932	11/IV 1932	14/XI 1932	15/XII 1932	25/II 1933	26/II 1933	1/IV 1933	14/IV 1933
1	8.5	2.5	2.4	11.5	6.8	8.5	4.22	1.30	13.67
3	2.7	1.5	0.8	11.5	5.8	3.10	4.22	0.75	8.42
5	—	—	—	—	4.65	3.0	1.97	0.20	3.77
7	0.6	0.9	0.5	11.7	3.69	0.95	0.7	0.15	0.14
12	0.3	0.0	0.0	11.7	0.99	0.00	0.0	0.00	0.00

тона в течение годичного цикла. Здесь (табл. XVII) мы приводим выписку из его данных, относящихся к ноябрю и декабрю 1930 г., где указано количество форм в 1 л.

Таблица XVII.

Количество зоопланктона в Белом озере в XI—XII 1930.

Tabelle XVII.

Anzahl des Zooplanktons im Beloje See im XI—XII 1930

Дата. Datum		14/XI 1930 г.			4/XII 1930			24/XII 1933			Сумма на 1 л. Summe in l.
Формы	Глубина в м Tiefe in m	6	7	8	6	7	8	6	7	8	
<i>Cyclops leucartii</i>	Стадия Nauplii		1	1	4	7	13	8	8	3	5
	стадия Cope- poda	6	3	5							1.5
	♀ ♂										0 0
<i>Diatomus graciloides</i>	стадия Nauplii						1				0.1
	стадия Cope- poda	1	1			2	1		1		0.7
	♀ ♂	4	2	2	1	1	1	1	1	1	1.7 1

Если мы подсчитаем среднее количество форм на л. в слое от 6 до 8 м от 14/XI-1930 г. по 24/XII-1930 г., то количество взрослых форм равно 2.7 форм, стадий копеподитных 2.5 и науплиальных 5.1 на 1 л, т. е. всего 10 экземпляров в 1 л.

Если принять согласно данным А. П. Щербакова максимальную величину поглощения кислорода, т. е. считать, что Nauplii поглощает столько же как и взрослые формы, то в этом случае за сутки будет поглощено $0,001 \times 10 = 0,01$ мг. O₂ на л. Дыханием Cladocera можно пренебречь, т. к. они в зимнем планктоне играют незначительную роль.

Падение же кислорода в слое воды на 7 м., как было выше показано в первые моменты после ледостава равнялось 0.5 мг/л.

Таким образом, если за счет дыхания зоопланктона в этот промежуток времени могло бы исчезнуть лишь 0,01 мг. O₂, то 0.49 мг, или = 98%, кислорода исчезает вследствие другой основной причины.

Количество фитопланктона подо льдом в зимние месяцы настолько незначительно, что величиной дыхания фитопланктона также можно вполне пренебречь.

Одним из фактов понижающих содержание кислорода в воде является дыхание самих водных бактерий.

Мы приводим в табл. XVIII, взятой из работы N. Harvey (1924) данные о поглощении кислорода различными бактериями.

Таблица XVIII.

Tabelle XVIII.

Организм. Organismus	Объем организма в μ^3 Volumen des Organismus in μ^3	$t^\circ \text{C}$	Поглощено O_2 в мг в час на 1 организм O_2 -Zehrung in mg pro Stunde auf 1 Organismus
<i>Photobacterium phosphorescens</i>	1.7	21.5	4.96×10^{-11}
<i>Bac. fluorescens non liquefaciens</i>	0.06	15	1.8×10^{-10}
<i>Bac. fluorescens liquefaciens</i>	0.19	22	7.64×10^{-10}

Из таблицы видно, что в зависимости от того с каким организмом мы имеем дело, количество поглощенного кислорода при температуре в $15-20^\circ \text{C}$ колеблется от 4.26×10^{-11} до 7.64×10^{-10} мг O_2 на 1 организм в час. Количество поглощенного O_2 зависит также и от количества органического вещества, минеральных солей и т. п. и, как указывали Кузнецов и Карзинкин (1931), если даже принять поглощение кислорода в 1.0×10^{-11} — 0.5×10^{-11} O_2 на 1 организм в час, то в Глубоком озере в летние месяцы исчезновение кислорода в толще воды можно легко объяснить за счет дыхания бактерий. Теоретические выкладки хорошо сходятся с наблюдаемым падением кислорода в слое свачка и глубже в период легкой стагнации.

Таким образом Глубокое озеро представляет собой водоем, в котором динамика кислорода объясняется в летние месяцы в значительной мере дыханием бактериальной флоры и у нас не возникло сомнения, что в зимние месяцы эти процессы будут идти иначе.

Само собой разумеется, что при падении температуры до 4°C дыхание бактерий будет идти значительно слабее, чем при летних температурах и падение кислорода за счет дыхания должно выражаться иными величинами чем летом. Чтобы выяснить в какой мере исчезновение кислорода в заморных водоемах может идти за счет дыхания бактерий, мы приводим сравнительную таблицу общего числа бактерий в исследованных нами водоемах.

Из таблиц I—VIII видно, что в большинстве случаев в заморных озерах зимой количество бактерий колеблется от 300 до 600 тысяч на 1 см^3 воды.

Примерно такое же количество бактерий содержалось и в воде Глубокого озера, как это видно из анализа от 12/1—1933 г. (Табл. XIX)

Так как общее количество бактерий зимой в заморных озерах выражается цифрами того же порядка и даже более низкими, чем и в Глубоком озере, а в последнем водоеме кислород в значительных количествах держится до момента весенней циркуляции, то падение кислорода в результате дыхания самих бактерий в зимний период также выражается лишь незначительной величиной.

Из приведенных примеров ясно, что падение кислорода в заморных водоемах мало зависит от дыхания бактерий, а вызывается какой то иной причиной.

Неувязки между действительными количествами кислорода зимой в заморных водоемах и теми теоретическими величинами, которые можно было ожидать, за счет поглощения донными отложениями и дыханием зоо-и фитопланктона и

Глубина в м. Tiefe in m.	t° C	p. H	O ₂ мг/л mg/l.	Общее кол-во бак. в тыс. на 1 см ³ . Gesa- mtanzahl der Bak- terien in Tausenden auf 1 cm ³
0	0.7	6.7	14.2	946
5	0.7	6.7	13.0	676
10	0.8	6.7	12.4	657
15	0.9	6.6	11.9	693
20	1.2	6.7	12.0	628
30	3.2	6.3	0.69	666

бактериального населения, заставили нас искать основную причину в деятельности бактерий окисляющих водород и метан за счет растворенного в воде кислорода.

Отличительной чертой этих микроорганизмов является то, что они в отсутствие водорода и метана при наличии органического вещества могут жить гетеротрофно и таким образом их распространение не обуславливается исключительно наличием метана или водорода. Но при наличии этих газов указанные бактерии переходят на автотрофное питание и используют энергию окисления этих газов на построение органического вещества.

Как уже указывалось выше характерной чертой заморных водоемов является обильное газоотделение донными отложениями наиболее глубокой части водоема.

По данным Birge и Juday (1911) для озера Мендота и Л. Д. Роесолимо (1932) для Белого озера, естественные газы содержат значительный процент водорода и метана.

По данным Громана и Мюнца водородные и метановые бактерии в природе распространены очень широко и само собой возникал вопрос не происходит ли падение кислорода в озерах, где имеет место газоотделение за счет биологического окисления водорода и метана.

Наши предварительные опыты с введенным пузырька естественного газа в склянку с водой из Белого озера, в условиях термостата, ясно указывают на интенсивность процесса поглощения кислорода за счет биологического окисления естественного газа. В самом деле там, где к насыщенной кислородом озерной воде был добавлен озерный газ со значительным содержанием метана, уже за двое суток практически весь кислород исчез.

Содержание кислорода упало с 7,5 до 0,2 мг/л.

В склянке же без введения пузырька газа за тот же промежуток времени падение кислорода выразилось всего в 1,5 мг/л. — с 7,5 до 5,0 мг/л. Из параллельных опытов со стерильной водой выяснилось, что в поглощении кислорода в значительной мере участвуют микроорганизмы окисляющие водород и метан и лишь небольшая часть его используется чисто химическим путем.

Дальнейшие опыты показали, что естественный газ может служить источником энергии для водородных и метановых бактерий.

Культуры были поставлены по методу Громана в атмосфере содержащей 2 объема воздуха и 1 объем озерного газа. Примерно через 5 суток культуры замутились на поверхности жидкости образовалась пленка состоявшая из водородных и метановых бактерий и объем газа под колоколом начал заметно уменьшаться.

Дальнейшей нашей задачей являлось установить наличие указанных групп бактерий в исследованных нами водоемах и подойти к их количественному учету.

Применение метода Хильтнера или Коха не дало положительных результатов и нам пришлось ограничиться методом Реми, т. е. судить об количестве и активности указанных бактерий в водоеме, по интенсивности их развития в условиях лабораторной культуры.

Само собой разумеется, что по количеству бактерий, развившихся в культуре накопления нельзя судить об абсолютном количестве указанных видов в воде озера, однако, поскольку все культуры ставились в одинаковых условиях, у нас не возникает сомнения, что более интенсивное развитие бактерий в культуре накопления соответствует и большей активности указанных видов в природе.

В результате приведенных анализов мы должны отметить, что нам не встретилось ни одного водоема, где бы водородные и метановые бактерии отсутствовали. Путем ряда пересевов из культур накопления нам удалось получить обогащенные культуры, из которых были произведены пересевы с разведением на твердую питательную среду Громана, и в атмосфере гремучего газа с добавкой углекислоты был получен ряд чистых культур водородных бактерий. Путем аналогичных пересевов на твердую минеральную среду Мюнца в атмосфере метана и воздуха удалось получить ряд чистых культур метановых бактерий.

Большинство из выделенных видов представляют из себя палочки, различающиеся по величине и по форме роста на твердой питательной среде.

Интенсивность развития водородных и метановых бактерий в культурах накопления из различных озер в большинстве случаев хорошо согласуется с количеством кислорода в озерной воде в момент взятия пробы. Сильнее идет развитие бактерий в тех культурах накопления, где в момент взятия образца воды было наименьшее содержание кислорода. Это наблюдение также говорит за то, что исчезновение кислорода идет за счет деятельности указанных видов бактерий.

Из таблиц IX-XV также видно, что водородные и метановые бактерии распределены в заморных озерах не одинаково. Там где водородных бактерий больше, метановых меньше, и наоборот. Возможно, что такое распределение зависит от природы выделяющихся газов.

Рассмотрим указанные закономерности на отдельных озерах.

Черное озеро. Пробы были взяты 13/II-1933 г. табл. II, IX. Наибольшее содержание кислорода 2,35 *м/л* наблюдалось на 1 станции на глубине 1,5 м, а сумма водородных и метановых бактерий в культурах накопления, как видно из табл. IX, была наименьшая, именно 1050 миллионов. На других станциях содержание кислорода колебалось от 0,19 до 1,59 *м/л* и развитие метановых и водородных шло всюду сильнее достигая 4-5 миллиардов. Из той же таблицы видно, что у одного края озера (ст. 1) там, где донное газоотделение незначительно развитие метановых и водородных бактерий слабое; в середине развиваются преимущественно метановые бактерии (станция 2) у другого края водородные.

Святое озеро. Табл. III, X. Отличается вообще более слабым развитием бактерий окисляющих водород и метан. Это хорошо согласуется с меньшим количеством пузырьков газа вмерзшего в лед, а также с большим содержанием кислорода в воде. Здесь развитие бактерий в культурах началось гораздо позднее чем обычно и поэтому продолжительность опыта пришлось увеличить до 19 дней вместо 10. Однако сумма водородных и метановых бактерий оказалась меньше, чем в десятидневных культурах с Белого озера.

Здесь также менее резко выражена обратная зависимость содержания кислорода и развития бактерий в культурах накопления. Из таблицы X видно, что в воде с первой станции с первоначальным содержанием кислорода в 5,47 *м/л* в культуре накопления выросло за 19 дней 8472 милл. бактерий тогда, как со второй станции с 3 м с содержанием кислорода 0,81 *м/л* выросло 10543 миллионов на культуру.

По данным анализа от 17/II-1933 г. водородные бактерии, распределены были равномерно по всему озеру, за исключением поверхностного слоя на средней станции, где их было больше. Развитие их шло заметно слабее, чем метановых

бактерий. Максимальная величина для последних получилась для береговой станции на глубине 3 м.

Бисерово Озеро. Анализ 6/III-1933 г. табл. IV, XI.

Здесь особенно четко наблюдалась обратная зависимость между количеством бактерий в культурах и содержанием кислорода в воде озера. На береговой станции (I), где больше всего содержится кислорода 4,55 мг/л и меньше всего выделяется пузырьков газа со дна водоема, развитие водородных и метановых бактерий идет слабее всего. Сумма их равна 633 миллиона на культуру. На следующих станциях, по мере приближения к центру озера количество кислорода падает до долей мг/л, а развитие бактерий в культурах накопления идет все интенсивнее достигая 4 миллиардов. В центре озера лучше развиваются водородные бактерии ближе к краю, метановые у самого берега, там, где со дна почти не выделяется газа развитие как тех так и других совсем незначительное.

Белое озеро. Табл. XII. В этом водоеме определения активности водородных и метановых бактерий были проведены наиболее полно. С одной стороны анализ был проведен зимой, одновременно с другими водоемами, а с другой стороны интенсивность развития этих микроорганизмов определялась и в течение периода летней стагнации. Данные сведены в табл. XX.

Зимой в Белом озере до семи метров, где еще много кислорода развитие бактерий в культуре идет значительно слабее, чем в более глубоких слоях, там, где, кислород меньше 1 мг/л.

В течение летнего периода, как видно из табл. XX развитие водородных и метановых бактерий шло слабее, чем зимой. Особенно отставало развитие метановых бактерий.

Таблица XX.

Tabelle XX.

Развитие водородных и метановых бактерий в культурах накопления в миллионах на культуру.

Entwicklung der Methan- und der Wasserstoff-Bakterien in Rohkulturen in Millionen.

Глубина взятия образцов в м. Tiefe in m.	27/II-1933 г.			17/V			15/VI		
	O ₂ мг/л mg/l	Водород- Wassers- stoff-Bakt.	Метан- Methan- Bakt.	O ₂ мг/л mg/l	Водород- Wassers- stoff-Bakt.	Метан- Methan- Bakt.	O ₂ мг/л mg/l	Водород- Wassers- stoff-Bakt.	Метан- Methan- Bakt.
0	4 22	2 038	3 014	11,0	6 100	1 560	10,5	105	375
3	4 22	2 491	2 710	10,1	15 100	1 300	8,4	610	180
5	1 79	2 521	2 321	10,9	575	1 090	4,5	325	155
7	0 7	4 336	2 537		1 920	625	3,3	126	155
12	0 0	26 308	5 968	6,0	2 550	290	1,1	1220	120

Разобраться в этом вопросе дадут возможность анализы не посредственного содержания водорода и метана в озерной воде.

Большое медвежье озеро. Анализ 13/III-1933 г. Табл. VI и XIII.

Водоем отличается небольшой глубиной при значительной площади. Интенсивность развития метановых бактерий в культурах накопления, как со средней станции, так и с прибрежной мало различается, что указывает — на равномерное распределение метановых бактерий в озере.

Слабее идет развитие на 2-х метровой глубине, с середины озера наиболее интенсивно в воде из придонного слоя.

Равномерное развитие водородных и метановых бактерий в большинстве взятых образцов воды хорошо увязывается с отсутствием резко выраженных куполов в распределении кислорода в водоеме.

Малое медвежье озеро. Анализ 13/III-1933 г. табл. VII и XIV.

Здесь мы наблюдали картину аналогичную Белому озеру. В культурах из придонных слоев с главной станции, там где в озере было меньше кислорода, развитие бактерий шло интенсивнее.

Отличается по интенсивности развития метановых бактерий береговая станция, несмотря на то, что озерная вода в этом пункте содержала значительное количество кислорода. В общем же водородные бактерии из этого водоема развиваются сильнее метановых.

В качестве водоема не заморного типа было выбрано Глубокое озеро. Даже глубинные слои этого водоема вплоть до момента весенней циркуляции содержат кислород и сколько либо заметного выделения газа из донных отложений здесь не наблюдается.

Общее количество бактерий в воде Глубокого озера, как было видно из табл. XIX, заметным образом не отличается от заморных водоемов.

Опыты с выделением культур бактерий окисляющих метан и водород также дали положительные результаты; в табл. XV приведены данные анализа 7/VI-1933 г., из которых видно, что в Глубоком озере присутствуют и водородные и метановые бактерии, однако активность их значительно менее чем в заморных водоемах, т. е. развитие их в культурах накопления идет гораздо медленнее.

Можно, однако, отметить, что в придонных слоях активность метановых, а особенно водородных бактерий больше, чем в поверхностных.

Возможно, что некоторое количество газов все же выделяется из ила и это откладывает свой отпечаток на вертикальное распределение указанных групп бактерий.

Таким образом полученные данные можно кратко формулировать следующим образом.

1. Исчезновение кислорода в воде заморных водоемов не может быть объяснено поглощением иловыми отложениями.

2. Также за счет дыхания бактерий зоо- и фитопланктона может исчезнуть лишь незначительная часть кислорода.

3. Основным фактором поглощения кислорода в заморных водоемах является деятельность водородных и метановых бактерий, широко распространенных в толще водоема и окисляющих выделяющие со дна газы за счет растворенного в воде кислорода.

4. Бактерии окисляющие метан и водород были обнаружены во всех исследованных водоемах.

5. В большинстве случаев при обильном развитии метановых бактерий, развитие водородных бактерий из того же образца воды идет слабо, и обратно, при обильном росте водородных, метановые бактерии развиваются слабо. Такое преобладание развития определенной группы бактерий, возможно, связано с природой газа выделяющегося со дна водоема.

6. В Глубоком озере, водоеме не заморного типа, развитие водородных и метановых бактерий идет заметно слабее, чем в заморных водоемах.

7. Развитие метановых бактерий в летние месяцы в Белом озере идет слабее, чем зимой.

ЛИТЕРАТУРА.

- Alsterberg, G. Die Sauerstoffsichtung der Seen. Botaniska Notiser. 1927.
» » Neue Beiträge zur Sauerstoffsichtung der Seen. Lund 1928.
» » Die O₂ Primärkonstante in den verschiedenen Seenbereichen während des Jahres. Bot. Not. 1930.
Birge, E. and Juday, Ch. The inland lakes of Wisconsin; the dissolved gases of the water and their biological significance. Wisc. geol. and nat. Hist. Surv. Bull. 22 Sc. Ser. № 7; 1911.
Birge, E. and Juday, Ch. A second report on limnological apparatus. Trans. Wisc. Acad. of. Sc., Arts and Let. XX; 1922.
Birge, E. and Juday, Ch. The temperature of the bottom deposits of lake Mendota. Trans. Wisc. Acad. of Sc., Arts a. Let. XXIII; 1928.
Grohmann, G. Zur Kenntnis d. Wasserstoffoxydierende Bakterien. Centrbl. f. Bakter. Abt. II, Bd 61; 1924.

- Harvey, E. N. The oxygen consumption of luminous bacteria. Journ. Gen. Phys. Vol 1; 1928.
- Кузнецов, С. и Карзинкин Г. Метод количественного учета бактерий в воде. Рус. Гидроб. Журн. Т. 9; 1930.
- Kusnetzof, S. and Karzinkin, G. Direct method for the quantitative study of bacteria. Centralbl. f. Bakt. Abt. II Bd. 83; 1931.
- Кузнецов С. Сравнительное изучение азотного, фосфорного и кислородного режима Глубокого и Белого озера. Тр. Лимнолог. Ст. в Косине. Вып. 17; 1933 г.
- Munz, E. Zur Physiologie der Methanbakterien. Ing. Diss. Halle 1915.
- Rossolimo, L. Zur Frage der Sauerstoffsichtung der Seen. Arch. f. Hydrob. Bd. XIX; 1928.
- Россолимо, Л. Явления газотделения на Белом озере в Косине. Тр. Лимнолог. Ст. в Косине Вып. 15; 1932.
- Rossolimo, L. Über Gasausscheidung im Boleje-See zu Kossino (Zusammenfassung). Arb. d. Limnologische Station zu Kossino. Lief. 15; 1932.
- Ворещанин Г., Анчикова Н., Предтеченский Н., Толмачев В., Форш Т. Опыт гидрологической съемки озера Масси-Лампи Ленингр. у. Токс. вол. Сборн. Кинловача, Москва 1927.
- Yoshimura, S. Horizontal Distribution of Dissolved Oxygen and Hydrogen ion Concentration in Several Japanese Lakes. Geofisical Magazine Vol III; № 1; 1930.