

РУССКИЙ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ,

издаваемый при Волжской Биологической Станции
под редакцией А. М. Бенинга.

RUSSISCHE HYDROBIOLOGISCHE ZEITSCHRIFT,

herausgegeben an der Biologischen Wolga—Station
unter der Redaktion von Dr. phil. A. L. Behning.

Том II. (Band II).

№ 1—2.

Январь—Февраль 1923.
Januar—Februar

Наблюдения над вертикальным распределением растворенного кислорода и сероводорода в Кристателлевом пруде (Петербургской губ.) и некоторые сведения о планктоне последнего.

В. М. Рылов (Петербург).

В настоящей статье я сообщаю некоторые результаты исследований над прудами окрестностей Старого Петергофа, производимых мною в 1920—1922 гг. при Петергофском Естественном-Научном Институте. Задачей этих исследований ¹⁾ было изучение биологии планктона (гл. обр. животного) преимущественно трех прудов. При этом были произведены различного рода гидрологические работы и значительная доля внимания уделялась (в 1921—1922 гг.) наблюдениям над растворенным кислородом. Неоднократно констатирувавшемуся при этом чрезвычайно низкое содержание, а иногда и полное отсутствие, кислорода, наводило на мысль об интенсивном поглощении этого газа илом. В связи с этим были предприняты исследования над растворенным в воде сероводородом и поставлены опыты над поглотительной способностью илов. Сообщаемые здесь результаты относятся к Кристателлевому пруду ²⁾, самому крупному из исследованных мною водоемов, в котором, ввиду его сравнительно значительной глубины и полного отсутствия зарастания водной поверхности, исследования над вертикальным распределением газов и планктона могли быть поставлены наиболее регулярно и полно.

Считаю необходимым остановиться на методике. Количественный анализ растворенного в воде кислорода производился мною по общизвестному методу Винклера, нашедшему себе широкое приложе

¹⁾ Краткое информационное сообщение об этих исследованиях—см. Рылов, В. „Об исследовании планктона прудов окр. Стар. Петергофа в 1920—1922 гг.“ Бюлл. Росс. Гидрол. Инст., № 5, 1922, стр. 7—8.

²⁾ Название дано по присутствию в этом пруде мшанки *Cristatella*.
Р. Гидр. Журн., т. II, 1923. 1.

ние в гидробиологии. Как показали исследования Хлопина¹⁾, а в последнее время Кунца²⁾, в чистых или слабо загрязненных водах этот метод весьма точен и вполне может заменять сложный газометрический метод. Так, неоднократные анализы на присутствие в Кристателлевом пруде азотистой кислоты дали отрицательные результаты, а растворенные органические вещества в этом водоеме представлены гл. обр. а м. б. и исключительно гуминовыми веществами,—весьма стойкими, инагильными соединениями, не нарушающими точности Винклеровского метода, то последний применялся в неизменном виде. Непосредственно вычисленные объемы O_2 в кб. см. ‰ приводились к O^o 760 мм. давления. При вычислении ‰ содержания O_2 относительно нормального насыщения при данной t^o и норм. давл. я пользовался таблицей Винклера³⁾. Сероводород титровался по методу Дюпасье-Фрезениуса⁴⁾; сильно изменяющийся титр иода перед каждым анализом на сероводород тщательно поверялся по заранее установленному титру серноватистокислового натрия⁵⁾.

Пробы воды для газового анализа брались батометром Лебединцева, а гл. обр. сконструированным мною из трехгорлой склянки (с тубусом внизу) ок. 2 литров вместимостью батометром. В среднее горло склянки вставлена доходящая до дна сосуда вводная стеклянная трубка, в одно из боковых горл вставлен защищенный снаружи особым футляром термометр, а в другое горло—короткая выводная стекл. трубка, на которую надевается гуттаперчевая трубка ок. 5 метров длиной; свободный конец этой трубки выводится наружу, над поверхностью воды. Батометр опускается в закрытом виде, причем конец его вводной трубки запирается резиновым колпачком; к последнему привязан лить, дергая за который открывают батометр на любой глубине. Описываемый батометр отличается от батометра⁶⁾ «Воронков и Гальцов» лишь полным отсутствием клапана, замененного выводной гуттаперчевой трубкой. При моих работах такой упрощенный батометр оказался чрезвычайно практичным; перед Лебединцевским он имеет то преимущество, что при взятии пробы у дна вовсе не захватывает ила, т. к. вода в него поступает сверху (в употребляемой мною модели—30 см. от дна).

Неоднократные анализы воды, одновременно взятой обоими батометрами, дали весьма сходные цифры,—разница не превышала 0,01—0,02 кб. см. ‰, при чем батометр Лебединцева давал обычно даже большие цифры, почему и употреблялся преимущественно другой батометр, к тому же почти совершенно лишенный металлических частей, что имеет известное значение при взятии пробы на сероводород.

1) Хлопин Г. В. „К методике определ. раствор. в воде кислорода“. Диссертация, Москва, 1896.

2) Kunz R. W. „Vergleichung d. gasvolumetr. mit d. titrimetr. Bestimmung des im Wasser gelösten Sauerstoffs u. Bestim. d. v. Züricher Seewasser absorb. Sauerstoffs“. Mitt. physikal. Ges. Zürich, 16, 1914. (реферат в Int. Rev. ges. H. u. H. Bd. VIII, № 4, 1918).

3) Kluth H. „Untersuch. des Wassers an Ort u. Stelle“. 2 Aufl., Berlin 1911, p. 79.

4) Волжин В. А. „Анализ воды“. Екатеринослав 1912, стр. 143—144.

5) Установка и проверка этого титра производилась в химич. лаборатории Петроградского Университета химиком Э. Х. Фрицманом.

6) Воронков Н. В. и Гальцов П. С. „Дешевый батометр для озер средней глубины“. Тр. Гидробиол. Ст. на оз. Глубоком, т. III, 1910, стр. 213—216, рис. стр. 214. Этот же батометр вторично описан Гальцовым в его работе „Исследов. Косинских озер“. Дн. Зоол. Отд. Об. Л. Е., А. и Этн. т. III, № 11, 1913, стр. 28, рис. 14.

Кристателлевый пруд—водоем искусственный. Его ложе представляет возвышенную начальную часть глубокого оврага, спускающегося к Невской губе, вероятно около 100 лет тому назад ¹⁾ перегороденную прекрасно устроенной каменной дамбой (дл. ок. 50 м.). Благодаря этой дамбе, стекающие в овраг воды стали задерживаться в его отгороженной части и так. обр. возник довольно обширный водоем. В нем можно различить три отдела,—собственно пруд и отходящие от него в Ю. и Ю. З. направлениях два широких рукава. Прежде эти рукава кольцом охватывали большой участок суши—„остров“, но в настоящее время рукава почти разобщены, т. к. позади острова (близ его южн. берега) они отделены заросшим болотом.

Стокм Кристателлевого пруда служит широкий и совершенно плоский желоб, проложенный под аркой дамбы, на ее середине. При высоком уровне по этому желобу вода каскадами стекает в овраг (весной и осенью здесь образуется настоящий маленький водопад), по дну которого протекает ручей, впадающий в Невскую губу и местами прудообразно расширяющийся. Так как повышение уровня и связанное с ним функционирование стока играет довольно крупную роль в газовом режиме пруда (см. ниже), то считаем нелишним привести нижеследующую таблицу (I) колебаний уровня. За нуль принята плоская поверхность сточного желоба. Знак минус стоит при цифрах, относящихся к уровням ниже нуля, знак плюс—к цифрам, показывающим, насколько уровень пруда выше уровня поверхности желоба; последние цифры, следовательно, совпадают с моментом слива вод по желобу.

	Уров. см.	Примечания.		Уров. см.	Примечания.
1921.			1922.		
5. IV.	+1/2	Спад воды.	9. III.	+ 2	Слаб. спад воды.
28. IV.	— 8		25. III.	+ 3	„ „ „
12. V.	— 8		22. IV.	+14	Мощн. спад воды.
29. V.	— 8		5. V.	+13	„ „ „
5. VI.	— 8		17. V.	+ 3	Слаб. спад воды.
12. VI.	— 8		30. V.	+1,5	оч. слаб. спад в.
19. VI.	— 2		11. VI.	0	
26. VI.	— 2		22. VI.	+ 5	
3. VII.	— 2		2. VII.	+3,5	
9. VII.	— 2		13. VII.	0	Желоб сух.
16. VII.	+1/2	Спад воды.	23. VII.	0	
30. VII.	+1/2	„ „	6. VIII.	+ 5	Спад воды.
6. VIII.	+1/2	„ „	19. VIII.	+ 2	„ „
13. VIII.	—2—3		3. IX.	— 1	
19. VIII.	— 3		17. IX.	+3,5	Спад воды.
27. VIII.	— 3		5. X.	+4,5	„ „
25. IX.	— 3				
1. X.	— 3				
16. X.	+10	Сильн. спад воды.			
2. XI.	+20	„ „ „			
19. XI.	+ 2	Слаб. спад воды.			
16. XII.	—	Стока нет.			

Табл. I. Колебания уровня Кристателлевого пруда в 1921—1922 г.г.

¹⁾ По данным местных старожилов. Возможно, цифра эта несколько преувеличена, во всяком случае, давность пруда не свыше 100 лет.

Длина береговой линии собств. пруда—около 500 метров. Наиб. длина пруда ок. 170 м., наиб. ширина ок. 105 м. Район наибольших глубин лежит в сев.-вост. части пруда, где его ширина (напротив дамбы) равна 50 метрам. Максимальная глубина—3,2 м., преобладающая в этом районе—2—2,5 м. Дно почти везде покрыто черным, марким, мелкозернистым илом, в котором часты крупные растит. остатки гл. обр. опавшие листья прибрежных деревьев; листья попадают в различных стадиях разложения. Мощность ила в районе наиб. глубин достигает 50 см.; наиболее частая толщина ила—30—40 см. Местами, особенно близ дамбы, дно покрыто крупными камнями. Преобладающим элементом растительности, локализованной по периферии пруда, является *Elodea canadensis* и *Carex* (несколько видов). Первая доходит лишь местами до глуб. 2 метров, образуя заросли до глуб. 1 метра. Заросли *Carex* не спускаются глубже $\frac{1}{2}$ метра. Кое где у берегов имеются незначительные заросли *Scirpus*, *Helocharis palustris*, *Alisma plantago*, *Glyceria fluitans*, *Equisetum* и нек. др. У западного берега и в рукавах есть довольно обширные скопления *Potamogeton natans* достигающего до глуб. $1\frac{1}{2}$ метров; в сев.-вост., наиболее глубокой, части пруда их нет.

Следующие цифры дадут представление о прозрачности воды, измеренной диском Секки (числа не удвоены!): в 1920 г. наиб. прозрачность 1,5 м. (22. X, 5 и 18 XII), в 1921 г.—1,65 м. (15.IV), в 1922 г. 1,25 м. (18.I). Наименьшие прозрачности: в 1920 г.—0,8 м. (9.VIII), в 1921 г.—0,71 м. (27.VIII), в 1922 г.—0,71 м. (10.III). Преобладающий цвет воды довольно точно определяется № 22—23 шкалы Саккардо Мищенко (изд. Уч. Комит. Мин. Земл. Петроград 1915).

В таблицах II и III сведены результаты кислородных и сероводородных анализов ¹⁾ воды Кристателлевого пруда за 1921—1922 г.г. Донные пробы во всех случаях брались на расстоянии ок. 30 см. от дна (высота батометра), т. е. приблизительно на глубине 3 метров.

В конце сентября 1921 г. установилась полная гомотермия (осенняя циркуляция)—вся толща воды приняла $t=9,5^{\circ}$ C. Постепенное охлаждение началось уже в конце августа, но 10.IX гомотермия еще не вполне выражена: поверхн. $+14,3^{\circ}$, $\frac{1}{2}$ м. $+13,9^{\circ}$, 1 м. $+12,0^{\circ}$, 2 м. $+11,8^{\circ}$, дно $+11,2^{\circ}$ C. 17.IX она выражена уже более и близка к полной: пов. $+11,4^{\circ}$, 1 м. $+11,6^{\circ}$, 2 м. $+11,5^{\circ}$, дно $+11,1^{\circ}$ C.

В момент циркуляции, характерная для лета и начала осени прямая стратификация кислорода нарушается, —24 IX его содержание одинаково во всех слоях (около 96—94,5% норм. насыщ.). Безкислородный придонный слой при этом исчезает,—происходит полная аэрация всей толщи воды. Так как уровень с половины августа до начала сентября стоял низко (см. табл. I), то причину подобного распределения кислорода надо искать исключительно в циркуляции, т. е. в термических условиях.

1) Анализы от I, II, III и IV 1921 г. (в таблице внизу справа) сделаны ассист.-химиком Петроградск. Унив. Э. Х. Фрицманом, равно как и некот. анализы на кислород в поверхн. слое воды весной и в первой половине 1921 г. С половины июля 1921 г. все анализы производились лично мною.

Глуб. mt.	t° C.	O₂.	Глуб. mt.	t° C.	O₂.	Глуб. mt.	t° C.	O₂.	Глуб. mt.	t° C.	O₂.	Глуб. mt.	t° C.	O₂.
19. VIII. 921.			4. I. 922.			25. III. 922.			11. VI. 922.			6. VIII. 922.		
0	21,2	7,1	0	0,2	1,1	0	0,0	4,00	0	20,0	7,83	0	16,5	6,70
1/2	18,8	6,6	1	2,8	1,0	1	1,4	1,50	1	14,2	6,05	1	15,1	4,64
1	17,6	4,3	2	4,1	0,3	2	4,2	0,00	2	9,4	1,06	2	11,9	0,57
2	14,5	2,0	дно	4,6	0,3	дно	4,5	0,00	дно	8,4	0,70	дно	9,9	0,00
дно	12,4	0,00	H₂S с глуб. 1 м.			H₂S с глуб. 2 метров. у пов. H₂S нет.			у дна H₂S.					
24. IX. 921.			18. I. 922.			22. IV. 922.			22. VI. 922.			19. VIII. 922.		
0	9,5	7,65	0	0,0	0,90	0	0,6	9,11	0	18,1	5,80	0	14,6	5,89
1/2	9,5	7,65	1	2,2	0,60	1	1,2	9,10	1	15,7	3,08	1	13,6	4,21
1	9,5	7,6	2	3,7	0,20	2	2,1	8,33	2	9,8	0,47	2	11,8	0,34
2	9,5	7,45	дно	4,2	0,00	дно	2,5	8,10	дно	7,4	0,18	дно	10,4	0,00
2 1/2	9,5	7,55	H₂S во всех слоях.						у дна H₂S.					
16. X. 922.			17. II. 922.			5 V. 922.			2. VII. 922.			5. X. 922.		
0	5,6	6,26	0	0,0	0,70	0	10,1	6,88	0	17,0	7,15	0	7,2	9,93
1 1/2	5,6	6,2	1	2,1	0,07	1	9,1	7,24	1	14,8	3,76	1	7,2	9,43
дно	5,5	10 (?)	2	4,2	0,00	2	8,4	7,2	2	11,0	0,79	2	7,2	9,09
			дно	4,6	0,00	дно	6,8	5,24	дно	8,5	следы	дно	7,2	7,68
			H₂S во всех слоях.											
19. XI. 921.			9. III. 922.			17. V. 922.			13. VII. 922.			15. I. 921.		
0	0,0	6,60	0	0,0	1,77	0	10,0	8,10	0	20,8	6,70	0	1,6	0,08
1	1,6	5,04	1/2	?	1,26	1	10,0	7,16	1	17,8	1,52	15. II 921.		
2	3,7	3,49	1	1,6	0,21	2	9,9	7,10	2	11,4	0,84	0,4		
дно	4,8	1,45	2	4,0	0,00	дно	7,3	7,10	дно	8,8	0,00	0,00		
									у дна H₂S.					
16. XII. 921.			дно			30. V. 922.			23. VII. 922.			1. III. 921.		
0	0,0	3,83	H₂S с глуб. 1 метра.			0	14,6	7,20	0	19,2	7,11	—		
1	2,2	3,82	у пов. H₂S нет.			1	14,6	7,03	1	17,9	2,16	15. IV 921.		
2	3,9	1,46				2	13,7	3,73	2	11,6	0,46	7,8		
дно	4,6	0,91				дно	8,3	1,14	дно	10,0	0,00	7,8		
									у дна H₂S.					

Табл. II. Вертик. распределение кислорода (кб. см. ‰) в Кристателлевом пруде в 1921—1922 г.г.

I. III. 921.		18. I. 922.		17. II. 922.		9. III. 922.		25. III. 922.		13. VII. 922		23. VII. 922		6. VIII. 922		19. VIII. 22	
Глуб. м.	H ₂ S	Глуб. м.	H ₂ S	Глуб. м.	H ₂ S	Глуб. м.	H ₂ S	Глуб. м.	H ₂ S	Глуб. м.	H ₂ S	Глуб. м.	H ₂ S	Глуб. м.	H ₂ S	Глуб. м.	H ₂ S
0	26,334	0	0,303	0	2,744	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4. I. 922.		1	0,480	1	2,761	1	1,540	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
0	0	2	0,704	2	2,420	2	2,892	2	3,962	2	0	2	0	2	0	2	0
1	следы	дно	?	дно	2,381	дно	3,225	дно	4,107	дно	следы	дно	следы	дно	следы	дно	следы
2	0,347																
дно	0,674																

Табл. III. Вертикальное распределение сероводорода (mgr. ⁰/100) в Кристателлевом пруде в 1921—1922 г.г.

Гомотермия продолжается довольно долго. Она констатирована вплоть до 21 октября, т. е. охватывала почти месяц, продолжаясь почти до ледостава.

24/X наблюдаем уже ясную тенденцию к обратной стратификации поверхн.+3°, 1/2 м.+3,7°, 1 м.+4,0°, 1 1/2 м.+4,0°, 2 1/2 м.+4,5°, дно+4,6° С. а 31.X она была еще более выражена. Обратная термическая стратификация в 1921 г. окончательно установилась к 2 ноября, что приблизительно, совпало с моментом ледостава,—пруд окончательно покрылся льдом 27 октября. К сожалению, обстоятельства не позволили произвести достаточное количество анализов за рассматриваемый промежуток времени. Данные за 16.X, однако, показывают, что с начала гомотермии до этого срока вся толща воды была богата кислородом, и вряд-ли можно сомневаться, что такое распределение кислорода продолжалось весь гомотермический период, т. е. приблизительно до ледостава. В газовом режиме водоема момент ледостава, как известно, играет огромную роль, так как после него в течение всей зимы, до вскрытия, водоем живет насчет запасов кислорода, устанавливающихся при осенней циркуляции, которые затем и расходуются при процессах дыхания животного населения водоема и потребляются при процессах окисления илов. В 1921 г. после ледостава наблюдалось ¹⁾ заметное повышение уровня (см. табл. I), что вызвало функционирование стока, но не нарушило целости ледяного покрова (лед только вздулся). При таких условиях возникало предположение об обогащении кислородом уже после ледостава, относя таковое всецело на влияние повышения уровня, так как в ноябре фитопланктон был развит крайне слабо (в оч. небольшом колич. *Croglana volvox*, *Pandorina morum*, *Eudorina elegans*, *Synura uvella*; преобладает зоопланктон). Хотя прямыми данными это предположение не оправдалось (2.XI в поверхн. слое O₂=82%, а 19.XI—64,7% норм. насыщ.), я всё-же считаю крайне вероятным, опираясь на наблюдения в марте 1922 г. (см. ниже), что фактически некоторое повышение содержания кислорода в поверхностных слоях в данном случае имело место. Дело в том, что, судя по интенсивности поглощения кислорода илом (см. ниже), можно ожидать, что при нормальных условиях (при полном застое воды) содержание O₂ в период с начала ледостава до середины ноября должно было-бы падать. При функциониро-

¹⁾ В конце X—начале XI. 921 г. была кратковременная оттепель (t₀ воздуха +2,2° С.).

вании стока эта потеря могла пополняться, вследствие чего мы и находим довольно высокое (64,7%) содержание кислорода в поверхн. слое 19. XI. Если-бы уровень не повышался и сток не функционировал, то, весьма вероятно, к 19. XI содержание O_2 было-бы много меньше. Что в период 2/XI—19/XI процесс поглощения кислорода действительно имел место, ясно указывает его вертикальное распределение 19. XI. В это время, т. е. приблизительно через три недели после ледостава, наблюдаются уже весьма крупные изменения.

В поверхностн. слое содержание кислорода несколько понижается, а главное, оно резко падает в слое глубже 1 метра, причем в придонном слое достигает лишь 16% норм. насыщ., против 94,5% в конце сентября. К 16. XII содержание кислорода во всех слоях падает очень сильно, сравнительно с 19. XI уменьшаясь почти вдвое, но сероводорода в придонном слое нет. В течении следующих 2—3 недель падение шло еще интенсивнее. 4. I. 1922 в поверхн. слое оказалось лишь 1,1 кб. см. O_2 (ок. 11% норм. насыщ.), т. е. насыщенность этого слоя приблизительно равнялась таковой придонного слоя в середине декабря. Вместе с тем начинается проникновение сероводорода в толщу воды,—на глуб. 2 м. 0,347 mgr., у дна—0,647 mgr. ‰, при ничтожном количестве кислорода. За следующие 2 недели, к 18. I, верхние слои обезкислородились еще более, а в придонном слое я не нашел даже следов кислорода (на глуб. 2 м. следы). Сероводород обнаружен во всей толще воды (см. табл. III),—взятая у поверхности проба воды явственно пахнет H_2S . 17. II. 1922 г. на глуб. 1 м. оказались лишь следы O_2 , а на глуб. 2 м. этого газа уже вовсе не содержалось. H_2S во всех слоях, причем его количество значительно возросло.

Любопытное распределение обоих газов мы находим в марте (1922 г.). К 9 марта содержание кислорода в слое 0—1 м. неожиданно повысилось (против 6,8% в феврале, теперь 17%); при этом верхний слой потерял весь сероводород, здесь уже нацело окислившийся. Этим процессом захвачен отчасти и слой 1 м., в коем содержание H_2S с 2,761 mgr. упало до 1,540 mgr. ‰. Еще резче эта картина выражена 25. III, когда в поверхностном слое сод. O_2 достигло 39%, а на глубине 1 м.—15% норм. насыщ., причем до глубины 1 м. H_2S нет; этот процесс, однако, не захватил слои воды 2 м.—дно, где содержание H_2S к 25. III заметно возросло с 3,225 mgr. до 4,107 mgr. ‰ у дна). Так. обр. к концу марта образовалось характерное послойное вертикал. распределение газов—наверху лежит свободный от H_2S кислородный слой, а под ним находится анаэробная, богатая H_2S толща воды. Причина подобной стратификации в то время, когда уже заранее можно было ожидать дальнейшего израсходования кислорода (I. III 1921 г. во всех слоях обильный H_2S при отсутствии O_2), лежит в изменении уровня пруда. Из таблицы I видно, что после продолжительного застоя воды в декабре и январе, в марте уровень повысился и начался сток воды, продолжающийся и 25. III. Очевидно, что при этом произошло обогащение кислородом в силу притока свежей воды, которое, однако, не проникло до глубины 2 м. и ниже, где застой воды продолжался и сероводород накапливался всё более и более, не окисляясь. Роль фитопланктона в данном случае сводилась к нулю, что можно заключить из след. состава планктона ¹⁾ в феврале—марте:

¹⁾ Ловы 0—дно, колич. сетью.

17. II. 1922.	10. III. 1922.	25. III. 1922.
Paramaecium sp. — един.	Loxodes rostrum — един.	Loxodes rostrum — един.
Loxodes rostrum — един.	Infusoria n. det. — един.	Infusoria n. det. — един.
Infusoria n. det. — един.	Cyclops strenuus juv 1 экз.	Cyclops strenuus самка ad.
Rotifer (vulgaris?) — 6 экз.	. . . sp. juv. . . 1 экз.	1 экз.
Triarthra longiseta — 2 экз.		Растит. организмов не
Лич. Corethra — един.	Растит. организмов не	найденно.
Oscillaria sp. — 1 нить.	найденно.	

В середине апреля 1922 г. термическая стратификация была еще обратной, — у пов. ок. $+1^{\circ}\text{C}$, у дна $+4,2^{\circ}\text{C}$. Пруд вскрылся между 24—29 апреля. 22 апреля, когда пруд освободился от льда лишь на протяжении нескольких кв. сажен (близ дамбы), толщина льда (посередине) была 21—25 см. (25. III—46 см.). Лед разрыхлен и насыщен водой. Снег на льду отчасти стоял (сев. часть пруда), отчасти находился в состоянии таяния, образуя на пов. льда лужи. Сток сильный (18—19 апреля он был еще мощнее). Вся толща воды (см. табл. II и III) лишена H_2S и богата кислородом (92% у поверхн. и 85% норм. насыщ. у дна). Так. обр. 22/IV мы находим почти полную гомооксигению, хотя термическая стратификация еще есть, менее резко, однако, выраженная, нежели зимой. Обращает на себя внимание понижение температуры всех слоев воды, что объясняется без сомнения, мощным притоком талых вод с температурой близкой к 0°C . Причина подобного распределения температуры (выравнивания нет) и кислорода для меня не вполне ясны. Очень может быть, что оно объясняется тем, что ему предшествовал момент гомотермии (между 18—20 апреля), мною пропущенный. Вероятно, что большое значение здесь имел чрезвычайно мощный сток воды 18—19. IV.; к 22. IV он сильно уменьшился, причем в нижних слоях воды образовался застой, вследствие чего и оказалось возможным обратное распределение температур при охлаждающем влиянии талой воды.

Так как соответственные измерения, к сожалению, не были произведены, то приведенное объяснение весьма, однако, вероятное, носит лишь предположительный характер.

1 мая мы находим уже прямую термическую стратификацию: пов. $+8,4^{\circ}$, 1 м. $+7,4^{\circ}$, 2 м. $+6,8^{\circ}$, д. о. $+6,6^{\circ}\text{C}$; в течении мая последняя становится всё резче выраженной. До 17. V включительно вся толща воды богата кислородом (17. V. 103 % у пов. и 81% норм. насыщ. у дна), при полном отсутствии сероводорода. Такое распределение нарушается к 30. V, когда слой 2 м.—дно заметно обеднен кислородом; —начинается прямая стратификация O_2 , держащаяся затем до осенней циркуляции, как и в 1921 г.

В течении июня содержание кислорода в указанном слое постепенно падает, в то время как поверхностный слой воды богат этим газом. Колебания содержания кислорода в этом слое, отмеченные в июне 1922 г., вполне соответствуют колебаниям в составе планктона и без сомнения, стоят в связи с возрастанием или убылью количества растительных организмов, что иллюстрируем след. данными (глуб. 0 м.):

30. V. $\text{O}_2 = 101\%$ норм. насыщ. — массовое развитие *Dinobryon divergens*.

11. VI. $\text{O}_2 = 123\%$, „ „ — тоже, + оч. много *Uroglena volvox*. Чрезвычайно обильный фитопланктон, количественно совершенно подавляющий животные организмы.

22. VI. $O_2=88^0/0$, норм. насыщ. —Очень резкая убыль *Dinobryon*, заметная убыль *Uroglena*. Сильное развитие *Anuraea cochlearis*, главная масса которой находится в слое 0—1 м.

В начале июля содержание O_2 в придонном слое падает до минимума (следы); H_2S в этом слое, однако, еще отсутствует, появляясь в явственных следах к 13. VII, при полном отсутствии у дна кислорода. Такое распределение газов характерно и далее,—в течении июля, августа и на верное начала сентября придонный слой лишен кислорода и содержит, правда в незначительных количествах, сероводород. Взятая в это время придонная проба обнаруживает ясный запах H_2S и при титровании иодом дает окрашивание с крахмалом постоянно лишь после прибавления нескольких капель иодного титра. Произведенное 6. VIII. 1922 г. исследование горизонтального распределения сероводорода (титрование на плоту) показало, что на всей территории района наиб. глубин (см. выше) придонный слой заражен сероводородом и кислорода не содержит. Таким образом, распределение газов летом и зимою принципиально одинаково. Однако, в то время как зимой обеднение кислородом охватывало всю толщу воды, летом поверхностный слой постоянно богат кислородом, а заражение сероводородом ограничивается лишь придонным слоем (см. табл. IV)

Лето и осень.	1921. VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	1921. VI.	VII.	VIII.	X.
Поверхн. . .	5,5 кб.см. —6,5 кб.	6,8 к.с.	113,4— 113,8 ^{0/0}	81,1— 109 ^{0/0}	71— 110 ^{0/0}	88— 123 ^{0/0}	106— 110 ^{0/0}	83— 98,2 ^{0/0}	117,5 ^{0/0}
Глуб. 1 м. . .			64, ^{0/0}	96 ^{0/0}	71 ^{0/0}	45— 85 ^{0/0}	23 — 53 ^{0/0}	58— 66 ^{0/0}	111,5 ^{0/0}

Период ледостава.	1921. 2.XI.	19.XI.	16.XII.	1922. 4.I.	18.I.	17.II.	III.	
Поверхн.		82 ^{0/0}	64,7 ^{0/0}	37,5 ^{0/0}	11 ^{0/0}	8,8 ^{0/0}	6,8 ^{0/0}	17— 39 ^{0/0}
Глуб. 1 м.			52 ^{0/0}	39 ^{0/0}		6,2 ^{0/0}	ок.1 ^{0/0}	2—15 ^{0/0}

Табл. IV. Колебания содерж. кислорода (^{0/0} норм. нас.) в верхних слоях воды Крестателлевого пруда в 1921—1922 г.г. (лето, осень и период ледостава).

Приведенные в таблице данные показывают, что у поверхности летом содержание O_2 не падает ниже 80^{0/0} (осенью до 71^{0/0}) и порою превышает нормальное при данной t насыщение. На глубине 1 метра содержание O_2 колеблется от 96^{0/0} (осенью) до 23^{0/0}, а в большинстве случаев равно, приблизительно, 45—66^{0/0} норм. насыщ. Напротив, во время ледостава в поверхностном слое и на глубине 1 метра оно падает до ничтожной цифры (6,8^{0/0}—1^{0/0}), а в 1921 г. в феврале—марте в этих слоях O_2 не оказалось даже и следов.

Высокое содержание этого газа в поверхн. слоях летом объясняется, конечно, непосредственным соприкосновением водной поверхности с атмосферой, а равно и деятельностью фитопланктона, подавляющая масса которого в Крестателлевом пруде концентрируется

именно в слое 0—1 метр, в силу наиболее благоприятных для фотосинтеза световых условий этого слоя воды.

Отметим значительное повышение содержания кислорода на глубине 1 м. 6 и 19 августа 1922 г. (см. табл. II). Так как в это время (и вообще в августе 1922 г.) фитопланктон был развит слабо (мало *Gomphosphaeria naegelianae*, *Croglana volvox* и *Ceratium hirundinella*, единично *Dinobryon*, *Eudorina* и нек. др. водоросли), то это повышение нельзя объяснить деятельностью растительных организмов. Причина его та же, что и в марте рассматриваемого года. После застоя воды в июле, как раз 6 и 19 августа функционировал сток (см. табл. I); влияние повышения уровня, однако, и на этот раз не простиралось до глубины 2 метров, где колебания O_2 оказались крайне малыми, и притом даже в сторону понижения (19. VIII).

К 5 октября устанавливается полная гомотермия (осенняя циркуляция) и вместе с ней, как и в прошлом году, происходит обогащение кислородом всей толщи воды,—поверхностный слой несколько пересыщен (117,5%), придонный близок к насыщенности (ок. 91%). В это время, при относительно слабо развитом зоопланктоне, сильно размножилась *Synura uvella*. Ряд измерений в сентябре и начале октября показал, что окончательное выравнивание температуры произошло между 3 и 5 октябрём. 19. IX разница между температурами поверхности и придонного слоя была равна 3° C, 25. IX—около 1,5° C, 3. X—только ок. 0,5° C. Таким образом, сравнительно с предидущим годом, в 1922 г. гомотермия установилась с некоторым запозданием, приблизительно на 1½—2 недели.

Вышеизложенные факты приводят к след. заключениям:

1. И летом и зимою в Кристателлевом пруде наблюдается прямая стратификация кислорода.

2. И летом и зимою происходит сильное падение содержания кислорода,—летом в слое глубже 1 метра, зимой во всех слоях воды.

3. Летом придонный слой совершенно теряет кислород и заражается сероводородом, в незначительной, однако, степени.

4. Процесс обезкислороживания зимой может повести к полному исчезновению кислорода даже в поверхностном слое (зима 1921 г.).

Параллельно с этим зимой происходит постепенное обогащение сероводородом, начинающееся придонным слоем, а затем захватывающее и поверхность.

5. Колебания уровня оказывают сильное влияние на вертикальное распределение обоих газов. При функционировании стока верхние слои воды начинают обогащаться кислородом, причем во время ледостава теряют сероводород вследствие полного окисления последнего.

На слоях придонных (2 м.—дно) это влияние не отражается, за исключением, быть может, лишь очень высоких уровней (апрель 1922 г.).

6. Повышение уровня может обогащать поверхн. слой и при ледоставе, и тем самым предотвращать полную потерю кислорода (март 1922 г.).

7. Процесс обогащения сероводородом, в связи с прочими условиями, временами приводит к послойному распределению газов,—наверху кислородный, внизу сероводородный слой.

8. Осенью и весной происходит гомоокисления, стоящая в тесной связи с осенней и весенней циркуляцией.

9. Вследствие интенсивных окислительных процессов, в период ледостава осенний запас кислорода расходуется чрезвычайно быстро, и может быть использован нацело задолго до вскрытия пруда (зима 1921 г.).

Факт быстрого израсходования кислородного запаса, да еще при развитии сероводорода, заражающего всю толщу воды, чрезвычайно неблагоприятно отражается на фауне пруда и в частности на его планктоне. В Кристателлевом пруде зимой весь зоопланктон почти целиком исчезает, при чем неблагоприятные условия среды переносятся организмами в стадиях покоя. В течении зимы в иловых отложениях пруда весьма обыкновенны зимние яйца *Bosmina longirostris*, покоющиеся яйца *Asplanchna priodonta*, *Aspl. brightwelli*, *Triarthra longiseta*, *Polyarthra platyptera* и нек. др. организмов.

Следующий опыт показывает, что жизнеспособность покоющихся стадий при этом не теряется, несмотря на пребывание в течении нескольких месяцев в илу, в котором интенсивно протекают процессы образования сероводорода и развивается обильная микробная флора. 17 февраля 1922 г. когда газовые условия были особенно неблагоприятны (см. табл. II и III), мною была взята (илососом Б. В. Перфильева) проба придонного ила. Состав планктона 17. II был приведен выше. Сильно пахнувший сероводородом взятый ил был помещен на дно маленького плоского аквариума, долитого водопроводной водой, предварительно профильтрованной через бумажный фильтр и вату. За исключением одной личинки *Corethra*, невооруженным глазом в аквариуме ничего не замечено. Под микроскопом в илу найдены лишь мелкие инфузории и бесцветные *Flagellata* (мало). Уже 18 марта в аквариуме оказались живые *Bosmina longirostris* (typ.), частью с зародышем в выводковой камере (в илу—пока яйца этого рачка). К 3 апреля появились *Anuraea aculeata* f. *brevispina* (некоторые только с одним правым задним отростком панцыря), *Anuraeopsis hypelasma*, *Triarthra longiseta* (typ.), *Diglena* sp., не считая ряда инфузорий, флагеллат и *Gastrotricha* (*Chaetonotus maximus*). Аналогичные результаты были получены и для илов из двух других, исследованных мною прудов. Несомненно, огромное большинство представителей зоопланктона Кристателлевого пруда в стадиях покоя сохраняется до весны, и следовательно здесь устанавливается прямая преемственная связь зоопланктона предидущего лета с таковым последующего.

Резистентность зоопланктонных организмов по отношению к недостатку кислорода и влиянию сероводорода, однако, чрезвычайно различна. Ряд организмов, в нормальных условиях в планктоне развивающихся и зимой (*Anuraea cochlearis*, *Triarthra longiseta* и др.), переносит зимние условия нашего пруда в течении лишь некоторого времени, и в конце концов из планктона выпадает. Так напр. *Triarthra longiseta* в 1921 г. выпала из планктона в конце февраля, в 1922 г.—в половине февраля, а *Polyarthra platyptera* в 1921 г.—в середине января, а в 1922 г.—в начале января. В очень мелком и маленьком Плумателлевом пруде, где зимнее заражение H_2S еще более значительно, в 1921 г. *Tr. longiseta* выпала в конце января, а *Pol. platyptera*—в конце декабря 1920 г. Некоторые организмы, однако, гораздо более стойки. Таковы напр. различные инфузории—*Loxodes rostrum*, *Spirostomum*, *Frontonia leucas* и нек. др., неоднократно находимые при полном отсутствии кислорода и при наличии сероводорода. Биология таких организмов будет рассмотрена мною в другом месте, здесь же я укажу еще лишь на чрезвычайную стойкость *Cyclops strenuus*. В 1922 г. в Кристателлевом пруде этот рачек был найден (живым) 4.I., 10.III,

25.III., в 1920—21 г.г.—18.XII, 18.I и 19.III, и держался вплоть до вскрытия водоема.

В Плумателлевом пруде *Cyclops strenuus* в 1922 г. был найден 4.I (у пов. 0,2 кб. см. $\frac{0}{100}$ O₂ и 0,962 mgr. $\frac{0}{100}$ H₂S), 18.I (у пов. нет H₂O₂ и еще больше, чем 4.I, H₂S) и 17.II (у пов. нет O₂ и ок. 11 mgr. $\frac{0}{100}$ H₂S). Вследствие провала льда, в марте 1922 г. в этом пруде пробу было взять невозможно, но так как 22.IV того же года пойман 1 экз. этого рачка, то можно думать, что в 1921—1922 г. он продержался в этом водоеме всю зиму.

В заключение я должен остановиться на вопросе зимнего обеднения кислородом, отмеченного выше. Еще в 1908 г. покойный А. А. Лебединцев ¹⁾ показал, что в озере Пестово (Новгор. губ.) главная масса кислорода в период ледостава идет на окислительные процессы, происходящие в придонном илу. По вычислениям Лебединцева, в оз. Пестово за зиму 6% расхода кислорода падает на планктон, 11% потребляется рыбами, и 83%—грунтом (зима 1902—1903 г.). Цифры эти, конечно, надо принимать с большой осторожностью, и лишь как весьма приблизительные. Тем не менее они, во всяком случае, дают верное указание на крайне интенсивное поглощение кислорода грунтом. Влияние последнего в этом смысле тем более можно было ожидать в небольшом заиленном водоеме, на дне которого скопляется значительное количество опадающих листьев, остатки планктогенного происхождения и проч. органические элементы. По недостатку места я не останавливаюсь здесь на примененной мною методике взятия пробы ила ²⁾ и на микроскопическом характере ила Кристателлевого пруда. Отмечу лишь, что его поверхностный, легко взмучивающийся слой содержит, помимо остатков высш. растений, в значит. количестве панцыри диатомовых водорослей (*Tabel-laria*, *Navicula*, *Meridion*, *Nitzschia*, *Synedra*, *Cymbella*, *Epithemia* и мн. др.), нередко панцыри *Trachelomonas*, остатки *Arcella*, *Diffugia*, створки раковин *Daphnia*, *Bosmina*, *Chydorus* и проч. элементы, частью планктонного, частью бентонического происхождения.

Присутствие сернистого железа придает илу характерный черный цвет, на воздухе, вследствие окисления, переходящий в светло-серый; самый верхний горизонт ила имеет коричневатую окраску. Опыт над поглощением кислорода илом был поставлен мною 10.VIII. 1922 года.

В течении опыта температура воды (в отдельной банке) колебалась от 11,1 до 13,8° С., держась гл. обр. около 12° С, что приблизительно соответствовало температуре придонного слоя воды—ок. 10° С.

Получились след. результаты:

10.VIII.	Первоначальное сод. O ₂ в испытуемой воде	7,01	кб. см.	(ок. 97,2% норм. нас.)
11.VIII.	После 12 часов стояния	5,07	„ „	(ок. 68,1%).
„ „	Через след. 12 часов стояния	5,06	„ „	(ничтожн. поглощение!).
12.VIII.	Через след. 18 часов стояния	4,42	„ „	(ок. 59% норм. нас.).
13.VIII.	Через след. 24 часа стояния	3,33	„ „	(ок. 45% норм. нас.).
17.VIII.	Через след. 4 суток стояния	1,10	„ „	(ок. 14,3% норм. нас.).

¹⁾ Лебединцев А. А. „Попытка определить запас рыбы в озере по его кислородному балансу“. Из Ник. Рыбов. Завода, № 11, 1908, стр. 81—111, особенно стр. 96—100.

²⁾ Факт анаэробности придонного слоя позволил брать ил вместе с водою; при этом были соблюдены все предосторожности для предохранения ила от окисления воздухом и водой вышележащих слоев. Подробное описание методики будет дано мною в другом месте.

Не вдаваясь в подробное рассмотрение этих результатов, можно прийти к тому заключению, что поглотительная способность поверхностного ила Кристателлевого пруда весьма значительна, и что в этом отношении ил является энергичным деятелем. Образец ила, ок. 63,6 кв. см. поверхностью и ок. 2 см. толщиной (влажный вес, определенный по окончании опыта, ок. 90 грамм), в течении недели поглотил почти весь кислород, и нетрудно себе представить, насколько энергично протекает этот процесс обезкислороживания воды (придонного слоя летом и всей толщи зимой) в самом пруде. Бесспорно, главным образом вследствие энергичной деятельности ила происходит потеря кислорода летом в придонном слое, и именно ил играет первостепенную роль в потреблении кислорода в период ледостава, когда роль зоопланктона, ввиду его крайнего обеднения, сводится почти к нулю, а значение бентонических животных вряд ли сколь либо значительно. Принимая во внимание количество и характер этих животных в нашем пруде, и тот факт, что огромное большинство их зимой в нем пребывает в состоянии ничтожной окислительной деятельности, можно утверждать, что необычайно тяжелые зимние условия Кристателлевого пруда создаются главным образом вследствие биохимических процессов, протекающих в толще иловых отложений, и что в биологии этого водоема последним принадлежит роль первостепенного значения.

Beobachtungen über die verticale Verteilung des aufgelösten Sauerstoffs und Schwefelwasserstoffs im Kristatella--Teich (Gouv. Petersburg) und einige Mitteilungen über dessen Plankton.

V o n

V. M. Rylov (Petersburg).

(Aus dem Hydrobiologischen Laboratorium des Peterhofer Naturwissenschaftlichen Instituts).

In den Jahren 1920—1922 habe ich hydrobiologische, hauptsächlich planktonische, Untersuchungen der Teiche in Alt-Peterhof vorgenommen. In einem der von mir untersuchten Teiche („Kristatella“—Teich), und zwar dem grössten und tiefsten, gelang es während den Jahren 1921—1922 besonders eingehend die hydrobiologischen Verhältnisse zu studieren. Es wurde hier u. a. die Untersuchung über die verticale Verteilung des Planktons und des aufgelösten Sauerstoffs und Schwefelwasserstoffs im Laufe etwas mehr als eines Jahres angestellt.

Der Kristatella—Teich ist ein künstliches Wasserbecken und hat ein Alter von ungefähr 100 Jahren. Die Länge seiner Uferlinie beträgt etwa 500 m. (seine zwei Arme ungerechnet), die grösste Tiefe 3,2 m. Die grössten Tiefen nehmen den ziemlich grossen nordöstlichen Teil des Teiches ein. Der Boden ist bis zu 0,5 m. von schwarzem schmierigem Schlamm bedeckt, dessen obere Schicht ziemlich reich an Humusstoffen ist. Die Vegetation (vorzüglich Elodea und Carex) ist auf die Uferregionen beschränkt, nur stellenweise bis auf eine Tiefe von 1,5 m. vordringend. Die Oberfläche des Teiches verwächst nicht. Ein Abfluss ist vorhanden. Im Sommer findet eine direkte, im Winter eine verkehrte Schichtung der Temperatur statt; im Frühling und Herbst herrscht Homothermie (Zirkulation). Auf Grund meiner Beobachtungen gelangen wir zu folgenden Schlüssen:

1. Im Sommer und im Winter findet eine direkte Schichtung des Sauerstoffs statt. Im Frühling und Herbst herrscht Homooxygenie.

2. Unterhalb 1 m. Tiefe nach der Zirkulation ist der O₂-Gehalt stark gemindert, so dass im Juli, August und Anfang September die

Бодenschicht kein O_2 mehr enthält und von Schwefelwasserstoff infiziert ist.

3. Besonders starke Verminderung des O_2 -Gehalts ist charakteristisch für die Winterzeit, während welcher die ganze Masse des Wassers nur sehr geringe Mengen von Sauerstoff enthält und ist sogar bis zur Oberfläche von H_2S infiziert (im Februar u. März 1921 liessen sich O_2 -Spuren nicht einmal an der Oberfläche nachweisen).

4. Nach der herbstlichen Homooxygenie geht der O_2 -Verbrauch (nach dem Zufrieren) sehr rasch von statten, wobei die überwiegende Menge bei der Oxydation des Schlammes verbraucht wird.

5. Die verticale Verteilung der beiden Gase steht in innigem Zusammenhang mit den Wasserstands-Schwankungen.

6. Der Prozess der Schwefelwasserstoffausscheidung (in dem Zusammenhang mit einigen anderen Bedingungen) führt zu eigenartiger Verteilung der Gase: es ist nämlich das O_2 -haltige Wasser in der oberen, und das H_2S -haltige in der unteren Schicht gelagert.

Der rasche O_2 -Verbrauch in der Bodenschicht, und die Entwicklung des Schwefelwasserstoffs (besonders energisch im Winter) stellen sehr ungünstige Lebensbedingungen dar. Die planktonischen Organismen sterben im Winter fast ganz ab. Die von mir angestellten Versuche haben aber gezeigt, dass die Dauerstadien (Wintereier von *Bosmina longirostris*, Dauereier von verschiedenen Rotiferen—*Asplanchna priodonta*, *Triarthra longiseta*, *Anuraea aculeata* und a.) unter solchen Umständen ihre Lebensfähigkeit durchaus nicht verlieren, obwohl die genannten Eier im Laufe von einigen Monaten in dem Schwefelwasserstoff-haltigen Schlamm liegen.

Zweifellos, erhalten sich die Plankton-Organismen in unserem Teiche bis zum Frühjahr des nächsten Jahres, so dass auf diese Weise eine ununterbrochene Reihe von Generationen der Planktonen entsteht.



Наблюдения над весенним планктоном реки Урала и его стариц.

С. Д. Муравейский (Ташкент).

(Из Кабинета Зоологии Беспозвоночных и Гидробиологии Туркестанского Университета).

В виду крайне незначительного количества проб, характеризующих планктон реки Урала, дать цельную картину жизни уральских планктонтов, конечно, нельзя. Однако и имеющиеся пять проб, взятых весной 1918 и осенью 1917 года, дают нам кое-какие сведения о планктоне реки, которые до сих пор отсутствовали в литературе. Все пробы брались в одном и том же месте, а именно с пешеходного мостика в зауральную рощу в центре реки в г. Оренбурге (весной пробы брались в этом же месте с лодки). Данные полученные при исследовании этих проб рисуют картину весеннего и осеннего периода жизни планктонтов реки Урала. Пробы относятся к 12, 26 мая и 23 июня 1918 г. и 19 октября 1917 г.

Говорить о каком либо планктоне, как биологически самостоятельной единице в половодье реки Урала не приходится, так как физико-химические условия настолько ухудшают условия среды, при которых планктонным организмам приходится функционировать, что