

Н. С. ХАРКЕВИЧ

МАТЕРИАЛЫ ПО МАЛЫМ ЛЕСНЫМ ОЗЕРАМ (ЛАМБАМ) КАРЕЛИИ

Известно, что многие озера Карелии испытывают в той или иной мере влияние болотных вод и поэтому богаты гумусом. Эти озера, как правило, малопродуктивны и их народнохозяйственная роль низка (Герд, 1947, 1951; Мельянцев, 1949).

Особенно резко выражена гумификация среди малых лесных озер-ламп, которых в КАСССР насчитывается до 32 000. Создание водохранилищ в условиях Карелии также ведет к образованию новых водоемов, богатых гумусовыми веществами, так как затопляются обширные площади болот и лесов.

Многочисленность указанных водоемов, необходимость повышения их хозяйственного значения обусловили потребность их исследования.

Целью наших исследований было следующее: 1) установить физико-химические условия водной среды гумусовых водоемов и некоторые закономерности их режима; 2) выяснить причину слабого заселения их фитопланктоном как первичной продукцией в водоеме; 3) выяснить влияние гуминовых веществ, растворенных в воде, на интенсивность развития фитопланктона; 4) наметить пути повышения первичной биопродукции в этих водоемах.

Работы проводились двумя путями: 1) изучались гидрохимические и частью гидрологические условия, существующие в гумусовых водах, а также интенсивность развития фитопланктона в них; 2) ставились эксперименты на водоеме и в лабораторных условиях.

Результаты экспериментальных работ опубликованы отдельно. Данная статья посвящена первому вопросу.

В качестве объектов изучения был подобран ряд ламб в Петровском районе (близ с. Кончезера), относящихся к бассейну р. Шуи: Малая Линдаламба, Коверламба, Польламба, Безымянная, Крюкламба и Глухая (рис. 1).

Эти ламбы явились удобными объектами исследования. Благодаря малой площади и слабой расчлененности они характеризуются почти полной однородностью химического состава воды по всей площади. В них наиболее типично выражены все явления, связанные с гумификацией воды. На ламбах отчетливее прослеживается связь химического состава их воды с характером водосборной площади. И, наконец, среди ламб, лежащих близко друг от друга, нетрудно было подобрать ламбы с различной степенью гумификации воды и различной морфологией.

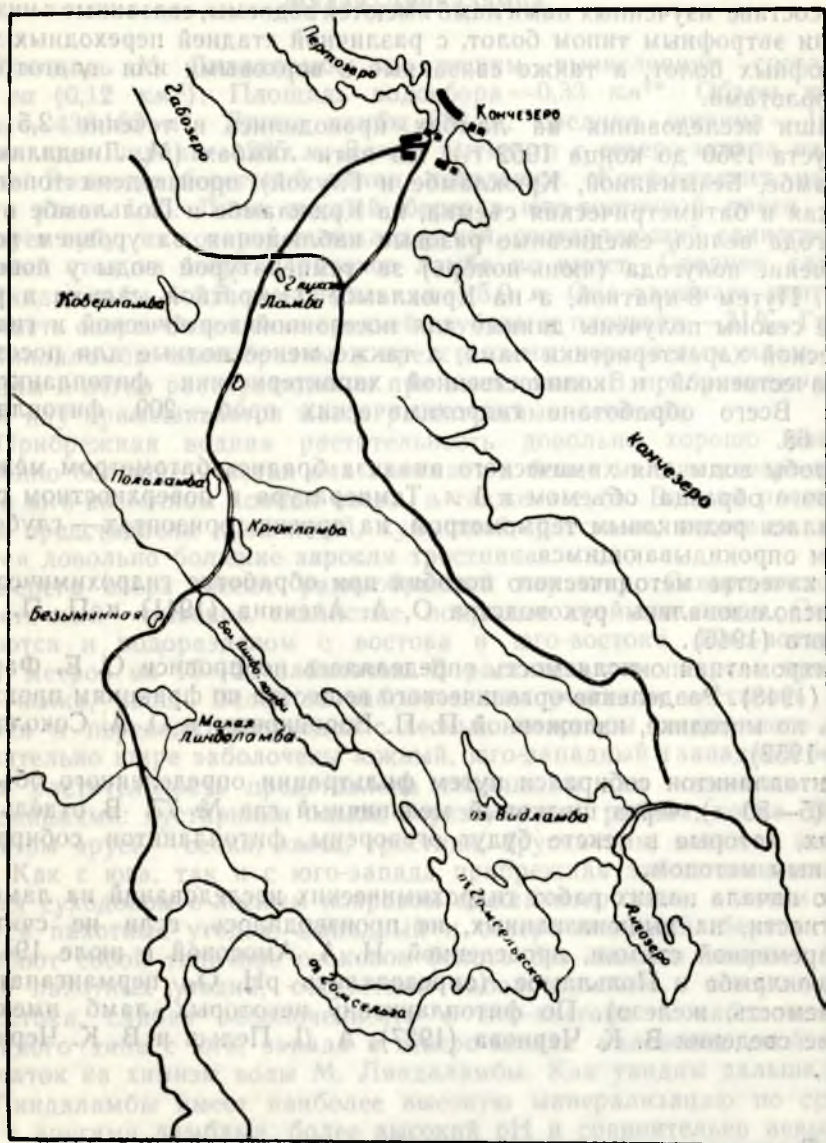


Рис. 1. Карта района изученных ламб.

Ламбы являются следствием резко выраженной расчлененности рельефа, связанной с деятельностью ледника. Своеобразные формы рельефа создают многочисленные разветвления системы озер с массой мелких местных водоразделов.

Водосборные площади ламб, как правило, ограничены: подавляющую часть их составляют болота различного типа.

Воды ламб, как и вообще воды Карелии, характеризуются низкой минерализацией, обусловленной подзолистым характером почв в сочетании со слабо растворимыми коренными породами (гнейсы, габбро, диабазы). Однако особенности химического состава воды каждой ламбы определяются, в конечном счете, типом болота, входящего в состав водосборной площади.

В составе изученных нами ламб имеются водоемы, связанные с низинным или эвтрофным типом болот, с различной стадией переходных или мезотрофных болот, а также связанные с верховыми или олиготрофными болотами.

Наши исследования на ламбах проводились в течение 2,5 лет (с августа 1950 до конца 1952 г.). На пяти ламбах (М. Линдаламбе, Польшамбе, Безымянной, Крюкламбе и Глухой) произведена топографическая и батиметрическая съемка, на Крюкламбе и Польшамбе в течение года велись ежедневные разовые наблюдения за уровнем воды и в течение полугода (июнь-ноябрь) за температурой воды у поверхности¹. Путем 8-кратной, а на Крюкламбе 11-кратной съемки в различные сезоны получены данные для посезонной термической и гидрохимической характеристики ламб, а также менее полные для посезонной качественной и количественной характеристики фитопланктона в них. Всего обработано гидрохимических проб — 209, фитопланктона — 68.

Пробы воды для химического анализа брались батометром международного образца объемом в 1 л. Температура в поверхностном слое измерялась родниковым термометром, на других горизонтах — глубокowodным опрокидывающимся.

В качестве методического пособия при обработке гидрохимических проб использовались руководства О. А. Алекина (1941) и П. П. Кашинского (1946).

Бихроматная окисляемость определялась по прописи О. Е. Фатчиной (1948). Разделение органического вещества по фракциям производилось по методике, изложенной П. П. Воронковым и О. А. Соколовой (1951, 1952).

Фитопланктон собирался путем фильтрации определенного объема воды (5—50 л) через шелковый мельничный газ № 77. В отдельных случаях, которые в тексте будут оговорены, фитопланктон собирался отстойным методом.

До начала наших работ гидрохимических исследований на ламбах, в частности, на вышеназванных, не производилось, если не считать единовременной съемки, проведенной Н. А. Амосовой в июле 1945 г. на Крюкламбе и Польшамбе (определялись рН, O_2 , перманганатная окисляемость, железо). По фитопланктону некоторых ламб имеются краткие сведения В. К. Чернова (1927), А. Д. Пельш и В. К. Чернова (1939).

Гидрологическая и гидрохимическая характеристика ламб

В основу подбора ламб для исследования была положена степень гумификации воды. Она возрастала в следующем порядке: Глухая ламба — М. Линдаламба — Коверламба — Польшамба — Безымянная — Крюкламба. Уже предварительный анализ показал, что вода их также закономерно отличалась величиной рН, которая уменьшалась соответственно увеличению степени гумификации. Исключение составила Глухая ламба, вода которой при самой низкой гумификации имела самый низкий рН. Как будет видно дальше, и по другим показателям она ближе стоит к сильно гумифицированным ламбам. Поэтому описание Глухой лампы оставим на конец.

¹ Топографическая съемка ламб произведена мл. науч. сотрудником отдела гидрологии и водного хозяйства Карельского филиала АН СССР Л. К. Попенко.

Малая Линдаламба

Площадь М. Линдаламбы по нашим вычислениям составляет 11,9 га (0,12 км²). Площадь водосбора — 0,33 км²*. Объем водной массы — 438 152 м³. Длина ламбы 688 м, средняя ширина — 162 м, наибольшая ширина — 285 м. Ламба вытянута с северо-запада на юго-восток. Развитие береговой линии небольшое. Коэффициент извилистости равен 1,45. Лишь южный берег в юго-восточной части озера образует губу, из которой вытекает ручей, составляющий единственный видимый сток из озера. Притоков ламба не имеет. Средняя глубина М. Линдаламбы — 3,7, максимальная — 5,0 м. Она занимает центральную часть озера. Отношение средней глубины к площади — 31%. Грунты М. Линдаламбы однообразны и представлены коричневым илом, светлеющим и легко растирающимся при высыхании. В прибрежных участках к илу примешивается масса растительных остатков.

Прибрежная водная растительность довольно хорошо развита. Особенно большие участки она занимает в более мелких северо-западном и юго-восточном концах озера, а также в губе. Водная растительность представлена кувшинкой, кубышкой, рдестами, хвощами, встречаются довольно большие заросли тростника.

Берега озера имеют разнообразный характер. Северо-восточный и восточный — высокие, скалистые, покрытые хвойным лесом. Они же являются и водоразделом с востока и юго-востока. Юго-восточный берег метров на 15—20 заболочен. В растительном покрове преобладает осока, хвощ. Вслед за заболоченным участком местность повышается и переходит в суходол с лесным покровом смешанного типа. Значительно шире заболочены южный, юго-западный и западный берега. Здесь растительность представлена типичными для низинных болот ассоциациями: кустарники ольхи, береза, осина, рябина, сосна. В травянистом ярусе — осока, хвощ, тростник, брусничник, местами зеленые мхи. Как с юга, так и с юго-запада прибрежная заболоченность сменяется суходолом с лесным покровом смешанного типа, а затем начинаются пахотные угодья. Западный и северо-западный берега представляют собой типичное осоковое болото без лесного покрова. Близость пахотных угодий, отсутствие заболоченности с северо-востока и востока, слабая заболоченность с юго-востока и заболоченность низинного типа с юга, запада и северо-запада наложили свой яркий отпечаток на химизм воды М. Линдаламбы. Как увидим дальше, вода М. Линдаламбы имеет наиболее высокую минерализацию по сравнению с другими ламбами, более высокий pH и сравнительно невысокое содержание гуминовых веществ.

Вода М. Линдаламбы светло-желтого цвета с некоторым увеличением желтизны в придонных горизонтах, без запаха, с обычными вкусовыми качествами.

Прозрачность воды по белому диску (Секки) колеблется от 1,2 до 2,2 м, в среднем 2,0 м.

По своему термическому режиму М. Линдаламба относится к типу неглубоких озер умеренных широт (табл. 1). Летом ясно выражена прямая стратификация температур при довольно хорошем прогревании всей толщи воды. Такому прогреванию способствуют небольшие глубины озера (при данной площади) и его незащищенность с северо-запада от ветрового перемешивания. В начале сентября при темпера-

* Площадь водосбора ламб вычислил Ю. Б. Литинский.

туре 15° наступает гомотермия с довольно длительным периодом осенней полной циркуляции. С конца октября или начала ноября устанавливается обратная стратификация температуры, длящаяся вплоть до мая. Весенняя гомотермия большей частью кратковременная. В первых числах июня уже снова отчетливо выражена прямая стратификация с температурой у поверхности 16,2, у дна 6,3°. Характерно повышение температуры придонного слоя воды в течение зимы, связанное с теплоотдачей иловых отложений (табл. 1). Наивысшие температуры поверхностного слоя относятся к концу июня и к июлю. Максимальная температура воды М. Линдаламбы 23°. Амплитуда колебаний температуры поверхностного слоя в течение года равна 22,7, придонного — 11,5°. Относительно горизонтального распределения температуры можно сказать следующее: температура воды прибрежных участков зимой и ранней весной обычно на несколько десятых градуса ниже температуры воды центральной части, а летом несколько выше. Здесь сказывается действие берега: охлаждающее зимой и обогревающее летом.

Таблица 1

Температура воды (°С) М. Линдаламбы в различные месяцы (станция в центральной части озера)

Горизонт (м)	1950		1951					1952	
	VIII	XII	IV	VI	VII	IX	XI	IV	VI
0,25	16,6	1,3	1,2	16,0	20,4	15,2	1,2	1,1	16,2
2,0	16,6	—	2,5	—	—	—	—	—	13,5
3,0	14,9	—	—	—	—	—	3,1	4,2	9,5
4,2—4,5	12,3	4,3	4,5	9,6	11,8	15,1	3,5	4,7	6,3

Озеро ежегодно замерзает почти на 6 месяцев (в 1951/52 гг. с 7—8 ноября по 10 мая, т. е. на 185 дней). Мощность ледового покрова возрастает постепенно, достигая максимума в марте (52 см).

Для кислородного режима характерна отчетливо выраженная прямая стратификация в течение всего года с резким дефицитом кислорода в придонном слое в период летней и зимней стагнаций. На максимальной глубине этот дефицит составлял в июле 94% (в 0,3 м от дна), в августе — 88, в апреле перед вскрытием озера — 97% (концентрация O_2 равнялась 0,39 мг/л). Однако слой воды на 1 м выше придонного в критический момент для озера (за 25 дней до вскрытия) содержал O_2 3,07 мг/л (24% насыщения). На более мелководных участках дефицит в течение всего года также не превышает 50%. Резкий дефицит кислорода в более глубоководной (центральной) части М. Линдаламбы можно объяснить большим потреблением O_2 на биохимическое окисление органических веществ иловых отложений. Сюда, очевидно, скатываются также обедненные кислородом воды концевых более мелких участков озера, чему способствует отчетливо выраженный наклон их к центру. Содержание кислорода в поверхностном слое воды (0—0,3 м) в течение всего года благоприятное. Наибольшие концентрации относятся к холодному времени года (табл. 2). В процентном отношении максимум наблюдается в периоды после полной весенней и осенней циркуляции, т. е. максимальное насыщение связано с чисто физико-химическими явлениями, а не фотосинтезом. Однако

Таблица 2

Распределение кислорода в воде М. Линдаламбы в различные месяцы
(центральная станция)

Горизонт (м)	1950				1951								1952					
	30/VIII		24/XII		17/IV		12/VI		20/VII		10/IX		24/XI		15/ V		4/VI	
	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)
0,3	8,30	83	10,43	74	10,48	74	9,32	80	8,28	89	7,26	71	13,25	90	12,57	88	9,57	95
2,0	—	—	—	—	8,55	62	—	—	—	—	—	—	11,23 (2,5 м)	83	3,07	23	9,37 (1,5 м)	88
3,0	—	—	—	—	4,36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,95 (2,5 м)	61
4,0—4,5	1,34	12	—	—	0,39	3	5,84	50	0,57	5	7,03	68	8,55	64	0,19	2	6,04	48

Сезонные изменения рН и концентраций
(центральная)

Горизонт (м)	1950											
	30/VIII			24/XII			17/IV			12/VI		
	рН	CO ₂	HCO ₃ '	рН	CO ₂	HCO ₃ '	рН	CO ₂	HCO ₃ '	рН	CO ₂	HCO ₃ '
0,3	7,50	3,0	40,0	7,10	4,0	27,3	6,78	6,2	15,0	7,40	2,2	34,8
2,0	—	—	—	—	—	—	6,90	8,8	30,9	—	—	—
3,0	—	—	—	—	—	—	6,85	—	—	—	—	—
4,5	6,80	15,0	45,4	7,00	8,3	41,5	6,95	19,1	58,6	6,80	10,0	35,4

перенасыщения и даже 100% насыщения кислорода в М. Линдаламбе не наблюдалось. В течение лета насыщение колеблется в пределах 87—89%. В абсолютных единицах концентрации кислорода в поверхностном слое воды испытывают колебания от 7,26 мг/л (в сентябре, при только что наступившей гомотермии) до 13,2 мг/л (в ноябре); летом около 8 мг/л.

В период осенней и весенней циркуляций происходит значительное обогащение кислородом всей толщи воды, в том числе и придонного слоя. Распределение кислорода в воде М. Линдаламбы в различные месяцы представлено в табл. 2.

Распределение двуокиси углерода в М. Линдаламбе представляет совершенно обратную картину распределению кислорода. Содержание ее в поверхностном слое воды в течение года колеблется в пределах 2,0—13,2 мг/л¹. Минимальные концентрации CO₂ относятся к летнему периоду (с июня по август включительно) в связи с потреблением ее в это время фитопланктоном для процессов фотосинтеза. Практически полного исчезновения CO₂ не наблюдалось. В придонном слое содержание CO₂ варьирует от 4,8 до 21,5 мг/л. Минимальные концентрации CO₂ в толще воды связаны с периодами полных циркуляций. Однако в период осенней полной циркуляции толща воды значительно полнее освобождается от CO₂, чем весной. Осеннюю концентрацию поверхностного и придонного горизонтов почти выравниваются (4,58—4,84 мг/л), весной и в начале лета концентрация CO₂ в придонном слое остается высокой (в июне 15,0 мг/л при 3,2 мг/л в поверхностном слое). Максимальные концентрации CO₂ в придонном слое и вообще в глубинных слоях накапливаются к концу летней и зимней стагнаций. В мелководных участках озера CO₂ по глубине распределяется почти равномерно во все периоды года. Но зимой концентрации ее в поверхностных слоях прибрежных участков выше, чем в том же слое центральной части. Это объясняется тем, что в прибрежных участках, вследствие малых глубин, CO₂ легко поступает из придонных слоев, где она образуется за счет разложения органического вещества, в поверхностные.

¹ Двуокись углерода определялась методом титрования проб воды щелочью по фенолфталеину. При этом оттитровываются все слабые кислоты, но для М. Линдаламбы практическое значение имеет только уголекислота. Это подтверждает продувание пробы в течение 30 мин с последующим титрованием щелочью. Кислотность после продувания была равна 0.

Таблица 3

С О₂ и НСО₃' в воде М. Линдаламбы (мг/л)
станции)

1951									1952								
20/VII			10/IX			24/XI			15/IV			4/VI					
pH	CO ₂	HCO ₃ '	pH	CO ₂	HCO ₃ '	pH	CO ₂	HCO ₃ '	pH	CO ₂	HCO ₃ '	pH	CO ₂	HCO ₃ '	pH	CO ₂	HCO ₃ '
7,55	2,0	—	7,35	4,6	40,5	7,30	4,1	11,3	6,90	3,2	14,6	7,30	3,2	29,6			
—	—	—	—	—	—	7,35	4,4	40,9	—	—	—	6,90	6,8	30,2			
—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,70	18,3	50,8	(2,5 м)	6,80	9,6	—		
6,80	15,4	—	7,30	4,8	41,1	7,10	12,3	44,3	6,95	21,4	60,4	6,80	15,1	40,1			

Концентрации CO₂ в воде М. Линдаламбы в различные периоды представлены в табл. 3.

Активная реакция воды М. Линдаламбы в течение года колеблется около нейтральной. Она обуславливается в основном соотношением форм угольной кислоты, представленной практически в виде «свободной» CO₂ и в форме HCO₃'.

В поверхностном горизонте pH изменяется от 6,60 до 7,55, в придонном — от 6,80 до 7,30. Наиболее высокое значение (7,55) имеет летом. С глубиной pH снижается и в летнее время обнаруживает в придонном слое самые низкие значения в годовом цикле (6,80). С наступлением осенней гомотермии, когда вода значительно освобождается от CO₂, pH придонного слоя поднимается до 7,30 и почти уравнивается с pH поверхностного слоя. После ледостава наблюдается некоторое снижение pH во всей толще воды (до 7,0—7,1) с чуть заметным превышением его значений в поверхностном слое над придонным.

К концу подледного периода pH воды М. Линдаламбы еще более снижается. Однако это понижение не захватывает придонного слоя, так как в нем, наряду с резким увеличением концентрации CO₂, возрастает и количество HCO₃'. Поэтому в конце подледного периода наиболее высоким pH оказывается в придонном слое (6,95), в поверхностном несколько ниже (6,90) и самым низким на глубине 3—4 м (табл. 3). Весной после вскрытия озера быстро устанавливается картина, характерная для лета.

Касаясь различных участков ламбы, следует сказать, что, соответственно указанному выше более высокому содержанию CO₂, в подледный период в прибрежных участках pH ниже, чем в центральной части. Например, в ноябре в поверхностном горизонте центральной части pH — 7,30, у юго-западного берега — 7,00, в декабре — в центральной части — 7,10 (CO₂ — 4,1 мг/л), у юго-западного берега — 6,70 (CO₂ — 7,9 мг/л).

По глубине значения pH в прибрежной части почти одинаковы зимой и летом.

Общая минерализация воды М. Линдаламбы при суммировании шести главных ионов и окисной формы железа составляла в июне 1952 г. 45,9 мг/л. С глубиной минерализация возрастает. Повышается также и к концу лета и зимой. Наиболее низкая минерализация в поверхностном слое в паводковый период.

Основными катионами ионного состава являются Ca^{++} и Mg^{++} (табл. 4). Концентрации их в общем небольшие (в июне: Ca^{++} —6,25 мг/л; Mg^{++} —3,45 мг/л), но в пределах карельских вод это довольно высокие значения. Так, например, по данным И. В. Баранова (1951), в оз. Сямозере кальция 3,78 мг/л, в таком евтрофированном водоеме Карелии, как Миккельское озеро, наивысшая концентрация Ca^{++} —5,13 мг/л, в Крошнозере — 4,27 мг/л (Харкевич, 1956).

Таблица 4

Концентрации основных ионов солевого состава
воды М. Линдаламбы

Дата	Горизонт (м)	Ca^{++}		Mg^{++}		$\text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$		HCO_3^{-}		SO_4^{--}		Cl^{-}	
		(мг/л)	(в эк-мг)	(мг/л)	(в эк-мг)	(мг/л)	(в эк-мг)	(мг/л)	(в эк-мг)	(мг/л)	(в эк-мг)	(мг/л)	(в эк-мг)
4/VI 1952 г.	0,3	6,25	0,31	3,45	0,28	0,5	0,02	29,59	0,48	5,32	0,11	0,57	0,02
	4,4 (придон- ный)	10,57	0,53	—	—	—	—	40,09	0,66	—	—	0,99	0,03

Основным анионом ионного состава воды М. Линдаламбы в течение всего года является гидрокарбонатный ион (HCO_3^{-}). В течение года его концентрации колеблются в поверхностном горизонте от 11,3 до 40,6 мг/л (в среднем 31,4 мг/л), в придонном — от 35,4 до 60,4 мг/л (в среднем 45,4 мг/л). Наибольшие концентрации HCO_3^{-} относятся в поверхностном слое ко второй половине лета (летняя межень), в придонном — к концу зимы, когда по мере накопления CO_2 гидрокарбонаты поступают в раствор из донных отложений (табл. 3). Наиболее низкие концентрации в поверхностном слое связаны с весенним и осенним паводковыми периодами, в придонных слоях они заметно снижаются к концу полных циркуляций воды.

В вертикальном распределении HCO_3^{-} в воде М. Линдаламбы наблюдается возрастание концентраций ко дну в течение всего года. Однако в течение летнего периода разница в концентрациях HCO_3^{-} в придонном и поверхностном слоях небольшая: с началом ледостава увеличивается, к концу ледового периода достигает максимальной величины (табл. 3). Весенняя и осенняя циркуляции более или менее равномерно распределяют HCO_3^{-} во всей толще воды.

Гидрокарбонатный ион распределяется по различным участкам озера почти одинаково.

По концентрации HCO_3^{-} вода М. Линдаламбы близка к воде Ладожского озера (40,2 мг/л; Алекин, 1948) и значительно превосходит по ней воды целого ряда уже исследованных озер Карелии. Среди изученных ламб в М. Линдаламбе также самые высокие концентрации HCO_3^{-} .

В табл. 5 приводим для сравнения данные Баранова (1951) по некоторым карельским озерам.

Следует отметить, что в М. Линдаламбе в течение всего года концентрации HCO_3^{-} выше концентраций CO_2 . Для зимнего периода многих карельских озер характерно обратное соотношение. Примером может быть оз. Шотозеро (Баранов, 1951), а также ряд описываемых ниже ламб.

Таблица 5
Концентрации HCO_3' в некоторых озерах Карелии (мг/л)

Горизонт	Сямозеро		Шотозеро		Логм-озеро	Петрозавод-ская губа Онежск. оз.		М. Линда-ламба (наши данные)	
	18/VIII 1947 г. ст. 4	7/IV 1947 г. ст. 14	14/VII 1947 г. ст. 2	14/IV 1948 г. ст. 4	2/VII 1947 г. ст. 2	4/VII 1947 г. ст. 2	29/III 1948 г.	30/VIII 1950 г. ст. 2	17/IV 1951 г. ст. 2
Поверхность	17,1	16,5	10,9	10,4	18,9	22,2	24,4	40,0	15,0
Дно	17,7	16,5	10,9	11,6	—	25,0	24,4	45,4	58,6

Сульфаты и хлориды по своим концентрациям значительно уступают гидрокарбонатам. Так, в середине апреля (1952 г.) в поверхностном слое воды М. Линдаламбы концентрация $\text{SO}_4^{''}$ составляла 2,67, Cl' —0,71, а в июне соответственно—5,32 и 0,57 мг Si/л.

Биогенные элементы, имеющие чрезвычайно важное значение для жизни фитопланктона, в М. Линдаламбе представлены в различных концентрациях. Так, концентрация кремния в поверхностном слое колеблется около 2,0 мг/л, ко дну содержание его несколько увеличивается.

Содержание железа подвержено значительным сезонным колебаниям. В поверхностном слое воды оно испытывает колебания от 0,05 до 0,56 и в прибрежных участках даже до 0,76 мг Fe/л. Как правило, в течение всего года концентрация железа ко дну возрастает. В придонном слое концентрация железа колеблется от 0,28 до 2,08 мг/л. Наименьшие концентрации железа в поверхностном слое установлены к концу зимы и к концу лета. В придонном слое к этому времени относятся наивысшие концентрации в годовом цикле. По-видимому, в верхних слоях за летний и зимний периоды часть железа выпадает из раствора (а летом и потребляется растительными организмами), в придонном же слое идет растворение железа (в виде гидрокарбоната) из илов углекислотой, накопившейся за период стагнации (рис. 2). Максимальные

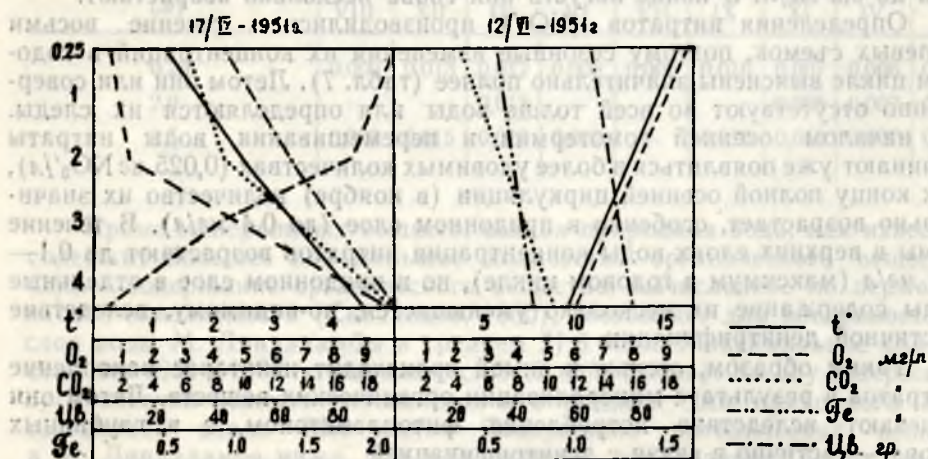


Рис. 2. Распределение температуры, O_2 , CO_2 , Fe и цветности в воде М. Линдаламбы в конце зимы и начале лета.

концентрации железа в поверхностном слое появляются весной как за счет глубинных запасов, поднявшихся в период циркуляции, так и поступления с паводковыми водами.

В растворе железо в это время удерживается органическим комплексом, так как в период паводка вода также обогащается гуминовыми веществами (рис. 2). Затем летом железо вместе с органическим комплексом частично выпадает. Осеннее длительное полное перемешивание воды значительно снижает концентрацию железа во всей толще воды, особенно в придонном слое (табл. 6).

Таблица 6

Концентрации железа в воде М. Линдаламбы в различные месяцы (мг/л) (центральная станция)

Горизонт (м)	1950		1951				1952	
	30/VIII	24/XII	17/IV	12/VI	10/IX	24/XI	15/IV	4/VI
0,3	0,10	0,18	0,16	0,56	0,23	0,14	0,05	0,44
2,0—3,0	—	—	0,17	—	—	0,31	0,56	0,44
4,0—5,0 (придонный)	0,95	0,28	2,08	0,76	0,44	0,39	—	1,60

Сезонный ход железа в воде М. Линдаламбы почти повторяет сезонный ход гидрокарбонатов.

Из минеральных соединений азота в воде М. Линдаламбы установлены нитраты и аммонийный азот. Нитриты (NO_2) в период исследования не были обнаружены (определялись качественно в день взятия пробы). По аммонийному азоту имеются данные трех съемок (апрельской, июньской и августовской). Наибольшая концентрация NH_4^+ (0,15 мг/л в поверхностном слое и 0,3 мг NH_4^+ /л — у дна) определена в апреле (подледный период). За период весенней циркуляции, к июню, концентрации NH_4^+ снижаются в поверхностном слое до 0,05—0,07 и у дна до 0,2 мг/л. В конце августа они снова несколько возрастают.

Определения нитратов (NO_3^-) производились в течение восьми полевых съемок, поэтому сезонные изменения их концентраций в годовом цикле выяснены значительно полнее (табл. 7). Летом они или совершенно отсутствуют во всей толще воды или определяются их следы. С началом осенней гомотермии и перемешивания воды нитраты начинают уже появляться в более уловимых количествах (0,025 мг NO_3^- /л), а к концу полной осенней циркуляции (в ноябре) количество их значительно возрастает, особенно в придонном слое (до 0,4 мг/л). В течение зимы в верхних слоях воды концентрации нитратов возрастают до 0,1—0,2 мг/л (максимум в годовом цикле), но в придонном слое в отдельные годы содержание их несколько уменьшается, по-видимому, вследствие частичной денитрификации.

Таким образом, осенью и зимой происходит некоторое накопление нитратов в результате минерализации органических веществ. Летом они исчезают вследствие потребления фитопланктоном, а в глубинных слоях — частично в связи с денитрификацией.

Концентрация фосфатов (P) в поверхностном слое воды М. Линдаламбы колебалась за период исследования в пределах 0,001—0,016 мг/л, в придонном — в пределах 0,007—0,023 мгP/л.

Таблица 7
Концентрации NO_3' (мг/л) в воде М. Линдаламбы
(центральная станция)

Горизонт (м)	1950			1951				1952
	30/VIII	24/XII	17/IV	12/VI	1/VII	10/IX	24/XI	15/IV
0,3	следы	0,05	0,10	следы	следы	0,025	0,05	0,25
2,0—3,0	следы	—	0,15	—	—	—	0,025	0,30
4,5	следы	0,25	0,20	0,00	0,025	0,025	0,40	следы

Из приведенных крайних границ видно, что ближе ко дну концентрации фосфатов возрастают. Как показано в табл. 8, в минимальных концентрациях фосфаты находятся летом. К концу лета в придонных слоях они частично регенерируют и с начала осенней циркуляции воды равномерно распределяются во всей ее толще (в начале сентября $0,016 \text{ мг/л}$). Однако за период полной осенней циркуляции в начале ледостава концентрации фосфатов снижаются, особенно в верхних слоях воды (до $0,007 \text{ мг/л}$). По-видимому, это снижение происходит частично за счет развития холодолюбивых форм фитопланктона, а частично фосфаты увлекаются с органическим комплексом (и железом), выпадение которого наблюдается в период осенней циркуляции.

Зимой в отдельные годы происходит регенерация фосфатов. Так, в 1951 г. к концу зимы содержание фосфатов в поверхностном слое составило $0,012 \text{ мг/л}$, в придонном — $0,023 \text{ мг/л}$. В другие годы (1952) эта регенерация ослаблена, и озеро к весне оказывается бедным фосфатами (табл. 8), которые уже в самом начале вегетационного периода почти целиком потребляются.

Таблица 8
Сезонная динамика фосфатов в М. Линдаламбе (мг/л)

Горизонт (м)	1950		1951					1952	
	VIII	XII	IV	VI	VII	IX	XI	IV	VI
0,25	0,009	0,013	0,012	0,008	0,006	0,016	0,007	0,006	0,001
2,0	—	—	0,013	—	—	—	0,008	0,007	0,001
4,5	0,009	0,015	0,023	0,009	—	0,016	0,013	0,007	0,013

Кроме минеральных веществ, всякая природная вода, как известно, содержит большее или меньшее количество органического вещества. Общее содержание органического вещества, вычисленное по перманганатной окисляемости (Скопинцев, 1950), составляет для поверхностного слоя воды М. Линдаламбы в среднем $21,8 \text{ мг/л}$. Максимальное количество для 1951—1952 гг. выражается $31,1 \text{ мг/л}$ (июнь). Ко дну содержание органических веществ повышается и в среднем для придонного слоя составляет около $28,0 \text{ мг/л}$. Содержание органических веществ в М. Линдаламбе ниже, чем минеральных, что отличает ее от других изученных нами ламб. При самых высоких концентрациях органического вещества — $31,1 \text{ мг/л}$ (в июне) концентрация минеральных веществ составляла $45,9 \text{ мг/л}$. Разделение органических веществ по фракциям

показало, что около 21% (по бихроматной окисляемости) органического вещества поверхностного слоя воды М. Линдаламбы в июле приходится на истиннорастворенные вещества и 79% представлено в виде коллоидного органического вещества. Около 17% последнего принадлежит к группе гуминовых кислот и 62% — к группе фульвокислот.

Воронков и Соколова (1950) для поверхностных вод Карельского перешейка приводят следующие данные по различным фракциям органических веществ (%):

Ручей Болотный:	фульвокислот — 74;	гуминовых — 7;	истиннорастворенных — 19;
Оз. Красавица:	» 66;	» 9;	» 25

Сравнивая приведенные данные, видим, что в воде М. Линдаламбы процент группы гуминовых кислот почти вдвое выше, чем в оз. Красавица, а фульвокислот несколько ниже. По-видимому, в М. Линдаламбе процесс выпадения фульвокислот, на который указывают Воронков и Соколова (1950), идет энергичнее, чем в оз. Красавица. Возможно также, что воды, поступающие в М. Линдаламбу с водосбора, уже имеют несколько иное соотношение упомянутых групп органических веществ, поскольку водосборная площадь М. Линдаламбы представляет собой не верховое болото, а низинное и частично пахотные угодья и лесные почвы.

Сезонные изменения концентраций и состава органического вещества довольно значительны. Цветность воды в поверхностном слое центральной части испытывает колебания от 17 до 85 (по имитационной платиново-кобальтовой шкале), а в прибрежных участках от 68 до 140°. В придонном слое цветность изменяется в пределах 60—120°. Перманганатная окисляемость за период исследования изменялась от 2,7 до 16,2 мгО/л в поверхностном слое и от 11,1 до 16,4 — в придонном. Значения бихроматной окисляемости за тот же период в поверхностном слое колебались в пределах 13,5—38,5 мгО/л.

Наибольшее обогащение воды М. Линдаламбы органическим веществом происходит в весенний паводковый период, а иногда (при обильных дождях) и глубокой осенью. Цветность воды и перманганатная окисляемость весной и в начале лета достигают своих максимальных значений в годовом цикле. Судя по величине отношения перманганатной окисляемости к бихроматной (52%) и цветности к перманганатной окисляемости (5—6) в это время поступают преимущественно окрашенные соединения типа гуминовых, стойкие к биохимическому окислению.

В течение лета происходит некоторая дегумификация и к концу лета прирост органического вещества планктонного происхождения. Так, в начале сентября при почти неизменившейся по сравнению с летом цветности и перманганатной окисляемости значительно возрастает значение бихроматной окисляемости. При этом процент перманганатной окисляемости от бихроматной снижается до 32. Это свидетельствует о том, что увеличение общего содержания органического вещества произошло за счет органического вещества, нестойкого к биохимическому окислению.

Увеличение нестойкого органического вещества произошло благодаря выносу с началом осеннего перемешивания из придонного слоя отмершего планктона, скопившегося за лето, а также за счет высокого развития фитопланктона (свыше 1 млн. клеток в 1 л воды), наблюдавшегося в это время.

Полная осенняя циркуляция приводит к значительному освобождению воды от органических веществ. В ноябре вскоре после ледостава вода М. Линдаламбы имела цветность около 22° (против 75 в сентябре)

и перманганатную окисляемость 4,9 мгО/л (против 12 мг/л в сентябре). Отношение цветности к перманганатной окисляемости снизилось до 4,5.

За длительный период полной осенней циркуляции часть органических веществ, по-видимому, минерализуется. Некоторая часть стойкого органического вещества (гуминовых соединений) выпадает из раствора вместе с гидратом окиси железа и марганца.

Зимой в верхних слоях воды концентрации органических веществ еще более снижаются. Даже в годы, когда глубокой осенью наблюдается сильное обогащение воды окрашенным органическим веществом, связанное с осенними дождями и оттепелями, к концу зимы содержание органических веществ становится минимально низким. В придонных слоях к концу зимы имеет место некоторое увеличение концентраций органического вещества, по сравнению с осенними, что связано с диффузией его из иловых отложений. В прибрежных участках цветность и перманганатная окисляемость зимой выше, чем в центральной части.

БПК поверхностного слоя воды М. Линдаламбы летом равно 1,8 мг/л.

Коверламба

По площади и глубинам, а также ряду других морфологических и гидрологических признаков Коверламба имеет сходство с М. Линдаламбой.

Площадь Коверламбы составляет около 10 га. Площадь водосбора — 1,75 км². Длина озера — 500 м, максимальная ширина — 350 м. Ламба вытянута с севера на юг. Северная половина ее тянется в виде узкой (шириною 30—40 м) полосы. Южная часть, наоборот, представляет собой широкий плес (около 300 м ширины и такой же длины). Коверламба — слабопроточное озеро. Ее максимальная глубина 4,2 м, средняя — 3 м. Отношение средней глубины к площади — 30%. Берега обрывистые, торфянистые, местами сплавинные. Глубина у берега 0,5—0,7 м. Дальше падение дна идет более полого. Дно котловины плоское. Грунт на всем протяжении озера представлен коричневым илом, приобретающим при высыхании темно-серый цвет. В прибрежных участках в иле наблюдается масса растительных остатков.

Как показывает анализ (Кузнецов и др., 1939), ил Коверламбы высокой влажности (94,8%), средней зольности (48,25%). Из безазотистых веществ основную массу составляют гемицеллюлозы (4,25%). Наибольшая часть органического вещества представлена в виде лигнинно-гумусового комплекса. Щелочная вытяжка ила имеет высокую цветность, что свидетельствует о влиянии на илы Коверламбы окружающих болот.

В Коверламбе довольно мощные заросли водной растительности. В широкой южной части она простирается до 5—10 м в глубь озера. В северном конце она занимает значительно больше пространства, расселяясь не только в прибрежных участках, но и посредине. Растительность представлена рдестами, кубышкой, элодеей, ежеголовником.

Коверламба со всех сторон окружена топким болотом типа переходных болот, в лесном ярусе которого преобладает сосна. Под травянистым и моховым покровом окружающих болот залегают торфяные скопления. В связи с этим вода, поступающая с водосборной площади в Коверламбу, значительно обогащена органическим веществом типа гуминовых соединений, имеет более низкую минерализацию, чем заметно отличается от воды М. Линдаламбы.

Следует отметить, что проточность Коверламбы и ее небольшие глубины, а также отсутствие барьеров из возвышенностей рельефа, способствуют глубокому перемешиванию водной массы в период весенней и осенней циркуляций, а также при сильных ветрах в период стагнаций и этим в некоторой степени сглаживают влияние болотного окружения. Как увидим дальше, на последующих ламбах (Польламба, Безымянная, Крюкламба), имеющих такой, примерно, характер водосборной площади, но обладающих большими глубинами, лучше защищенных от действия ветра и особенно лишенных проточности, действие болотного окружения оказалось более сильным и тяжелым.

Вода Коверламбы в большом слое желто-коричневого цвета. Прозрачность ее в центральной части летом 1,0—1,2 м, в прибрежной — 0,7 м. Таким образом, действие болотного окружения сказалось прежде всего на снижении прозрачности воды по сравнению с М. Линдаламбой.

Температурные режимы Коверламбы и М. Линдаламбы сходны. Летом в Коверламбе вся толща воды прогревается хорошо, но прямая стратификация сохраняется с конца мая до сентября. В начале сентября наблюдается полная гомотермия (при 13,9°). Осенняя циркуляция водных масс длительная. Вода перемешивается хорошо до дна. Как и М. Линдаламба, Коверламба замерзает в конце октября или начале ноября, оставаясь подо льдом в течение 6 месяцев. Зимой вся водная толща ее имеет более низкие температуры, чем в М. Линдаламбе. Повышения температуры придонного слоя воды в течение зимы не наблюдается.

По газовому режиму Коверламба также в основном напоминает М. Линдаламбу. В распределении кислорода почти в течение всего года наблюдается прямая стратификация. Исключение составляет период осенней гомотермии, когда кислород более или менее равномерно распределяется во всей толще воды (табл. 9). Однако концентрации кислорода в воде Коверламбы несколько ниже, чем в воде М. Линдаламбы и, наоборот, концентрации углекислоты выше. Содержание кислорода в поверхностном слое воды за период исследования колебалось от 6,6 до 12,7 и в придонном от 1,9 до 9,2 мг/л. Наибольшие концентрации во всей толще воды связаны с периодами полной осенней циркуляции, а в поверхностном слое наблюдались весной. Максимальное насыщение в поверхностном слое не превышало 95 (в июне), в придонном слое — 69% (в ноябре).

Наиболее низкие концентрации кислорода в поверхностном слое (63% насыщения) наблюдались в начале осени при только что устано-

Таблица 9

Распределение кислорода в воде Коверламбы
в различные месяцы (центральная станция)

Горизонт (м)	1950				1951								1952			
	6 IX		26 XII		11 VI		21 VII		11 IX		26 XI		17 IV		5 IV	
	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)
0,3	7,72	73	8,46	58	9,63	95	7,72	79	6,63	63	12,70	89	10,19	71	8,86	86
2,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,38	54	7,83	71
3,5—4,0 (придон.)	6,43	58	5,64	43	4,22	37	—	—	6,33	59	9,20	69	1,89	14	5,61	47

вившейся гомотермии, когда обедненные кислородом воды начали выноситься из придонных слоев на поверхность. Минимум кислорода в придонном слое относится к концу зимы (дефицит составлял 85%). На глубине 2,5 м насыщение не падает ниже 50%. В поверхностном слое прибрежных участков и узкой северной части дефицит кислорода зимой выше, чем в центральной.

Содержание двуокиси углерода в Коверламбе колеблется в поверхностном горизонте от 2,7 до 10,1 и в придонном слое от 6,3 до 19,6 мг/л¹. Минимальные концентрации в поверхностном слое относятся к летнему периоду, но полного исчезновения CO_2 не установлено.

В толще воды и придонном слое наименьшие концентрации наблюдались в период осенней циркуляции. Зимой подо льдом происходит накопление CO_2 во всей толще воды, давая максимум к концу подледного периода (табл. 10). В период весенней циркуляции водная масса значительно освобождается от CO_2 , но в виду кратковременности этого периода, а также в связи с обильным стоком болотных вод, богатых CO_2 , концентрация ее остается высокой (табл. 10).

Активная реакция воды Коверламбы также близка к нейтральной, но все же значения рН ниже, чем для воды М. Линдаламбы. Так, для воды М. Линдаламбы средняя величина рН в поверхностном слое равна 7,2, для воды Коверламбы—6,9. Это связано с более высокими концентрациями CO_2 в Коверламбе при более низких концентрациях HCO_3' . рН воды Коверламбы в течение года мало изменяется: от 6,6 до 7,1 в поверхностном слое и от 6,4 до 6,9—в придонном. В отличие от М. Линдаламбы здесь в течение всего года рН поверхностного слоя выше рН придонного. Только в период осенней циркуляции рН всей толщи воды выравнивается. Наиболее высокие значения его определены после осенней циркуляции (в начале ледостава). В течение зимы соответственно накоплению CO_2 при неизменной концентрации HCO_3' рН снижается во всей толще воды, принимая к концу подледного периода минимальные значения в годовом цикле (табл. 10). Во время весенней циркуляции рН повышается только в поверхностном слое воды за счет удаления CO_2 . В нижележащих слоях наряду с уменьшением CO_2 понижается концентрация HCO_3' , равновесие между ними не изменяется, и рН остается прежним. Летом в связи с низкой интенсивностью фотосинтеза рН возрастает очень незначительно (на 0,2).

Общая минерализация воды Коверламбы в начале лета равна 23,2 мг/л (включая и окисную форму железа), что почти в 2 раза ниже, чем в М. Линдаламбе в этот период. В меженные периоды она немного выше.

Основным анионом является гидрокарбонатный. Концентрации его, а также и сезонные колебания значительно ниже, чем в М. Линдаламбе. В поверхностном слое концентрация HCO_3' изменяется от 12,5 до 19,5, в придонном от 14,1 до 23,2 мг/л. Паводковые периоды ведут к уменьшению концентраций гидрокарбонатов (табл. 10) вследствие разбавления озерной воды еще менее минерализованными болотными и атмосферными водами. Возможно также некоторое выпадение CaCO_3 вследствие удаления в воздух равновесной CO_2 в момент циркуляции. В течение летней межени, а также зимой происходит небольшое нарастание концентраций HCO_3' с некоторым преимуществом в придонном слое (происходит обратное растворение CaCO_3 при накоплении CO_2).

¹ При вычислении CO_2 поправка на нелетучие кислоты не вычтена. Однако в воде Коверламбы они составляют около 15% от всей кислотности.

Таблица 10

Сезонные изменения pH и концентраций форм угольной кислоты (мг/л) в воде Коверламбы
(центральная станция)

Горизонт (м)	1950						1951												1952					
	5/IX			26/XII			11/VI			21/VII			11/IX			26/XI			17/IV			5/VI		
	pH	CO ₂	HCO ₃ '	pH	CO ₂	HCO ₃ '	pH	CO ₂	HCO ₃ '	pH	CO ₂	HCO ₃ '	pH	CO ₂	HCO ₃ '	pH	CO ₂	HCO ₃ '	pH	CO ₂	HCO ₃ '	pH	CO ₂	HCO ₃ '
0,3	7,1	4,2	19,4	6,9	10,1	17,1	6,9	3,0	17,1	7,1	2,7	—	6,9	5,8	16,8	7,1	4,4	19,5	6,6	8,4	13,7	6,8	4,4	12,5
2,0— —2,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,6	10,6	20,8	6,6	6,4	12,9
3,5— —4,0	6,9	6,9	23,2	6,6	14,7	18,0	6,4	2,6	18,6	6,7	—	—	6,9	6,3	19,2	6,8	9,7	18,6	6,4	19,6	21,8	6,4	11,8	14,1

Концентрации сульфатного и особенно хлоридного ионов значительно уступают гидрокарбонатным (табл. 11).

Главнейшими катионами являются Ca^{++} и Mg^{++} .

Таблица 11

Концентрации главнейших ионов воды Коверламбы

Дата исследования	Горизонт (м)	Ca^{++}		Mg^{++}		$\text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$		HCO_3^{-}		SO_4^{--}		Cl^{-}	
		(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)
17/IV 1952 г.	поверхн.	—	—	1,54	0,127	—	—	13,70	0,225	4,96	0,103	0,43	0,012
5/VI 1952 г.		2,86	0,143	2,88	0,237	—	—	12,46	0,204	3,99	0,083	0,71	0,020

Из биогенных элементов наиболее существенным количеством представлен кремний. В июне его концентрации составляли в поверхностном слое — 3,2, на глубине 2 м — 2,1 и в придонном слое — 1,8 мгSi/л. Поскольку общее содержание кремния в исследуемых озерах сравнительно большое, а потребность в нем у растений не велика (Гусева, 1952), то за сезонными изменениями его концентраций наблюдений не велось.

Железо содержится в меньших количествах и колеблется от 0,16 до 0,59 в поверхностном слое и от 0,20 до 1,67 мг/л — в придонном. Как в поверхностном, так и глубинных слоях наблюдается два максимума и два минимума. Первый максимум в поверхностном слое приурочен к весеннему паводку, когда железо поступает с водосборной площади и удерживается в растворе органическим комплексом. Второй — к началу осени, когда в результате начавшегося перемешивания воды железо выносятся из глубинных слоев. Летом и зимой концентрации железа снижаются. Минимум наблюдается после осенней циркуляции водной массы.

В толще воды и придонном слое накопление железа связано с периодом стагнаций, когда оно по мере накопления CO_2 переходит из ила в раствор. В период осенней и весенней циркуляции железо выпадает из раствора.

Из минеральных форм азота в воде Коверламбы установлены аммонийный и нитратный. Концентрации NH_4^{+} выше, чем в М. Линдаламбе: в поверхностном слое они составляют около 0,20—0,25, в придонном — 0,25—0,5 мг/л (тенденция накопления к концу зимы).

Концентрации нитратов, наоборот, ниже, чем в М. Линдаламбе. Процесс нитрификации в Коверламбе протекает медленнее. Этим и объясняется большое накопление здесь аммонийного азота. В поверхностном горизонте содержание нитратов колеблется от следов до 0,20 мг/л, в придонном — от следов до 0,25 мг NO_3^{-} /л.

Летом во всей толще воды нитраты определяются в едва уловимых количествах или отсутствуют вовсе. С началом осенней циркуляции в поверхностном слое появляются их концентрации порядка 0,025 мг/л. Более значительное накопление нитратов во всей водной массе происходит после осенней циркуляции (до 0,08—0,10 мг/л) и продолжается в течение зимы (до 0,20—0,25 мг/л к концу зимы).

Концентрации нитратов и фосфатов (мг/л)
(центральная)

Горизонт (м)	1950				19	
	6/IX		26 XII		11 VI	
	NO ₃ '	P	NO ₃ '	P	NO ₃ '	P
Поверхн. (0,3) . .	следы	0,006	следы	0,016	следы	0,008
2,0—3,0	—	—	—	—	—	—
3,5—4,5	нет	0,010	0,05	0,018	следы	0,009

Фосфаты в Коверламбе содержатся в несколько больших количествах, чем в М. Линдаламбе. По-видимому, это связано с тем, что весной 1948 г. Коверламба известковалась и удобрялась суперфосфатом. Это вызвало вспышку в развитии фитопланктона и водной растительности (Гордеев, 1950); благодаря этому фосфор был аккумулирован. После разложения отмершей растительности он снова частично освобождается и, таким образом, эффект от фосфорного удобрения из года в год проявляется. И действительно, если сравнить концентрации фосфатов в Коверламбе до удобрения с данными последних лет, то последние оказываются заметно выше. Так, 30/III 1948 г. (до удобрения) в поверхностном слое содержалось 0,010 мгР/л, в придонном 0,012, а 16/IV 1952 г. (через 3 года после удобрения) соответственно 0,007 и 0,037 мг/л.

В поверхностном слое воды концентрации фосфатов за период исследования колебались в пределах 0,003—0,025, в придонном — 0,007—0,037 мг/л. Отчетливо выражено увеличение концентраций ко дну. Картина сезонного распределения фосфатов та же, что и в М. Линдаламбе. Наблюдается два максимума: один в начале осени (сентябрь), другой — в конце зимы. Максимумы сменяются минимумами: один после осенней циркуляции, другой в самом начале лета, т. е. после весенней циркуляции (табл. 12).

Такая приуроченность снижения концентраций фосфора к периодам после осенней и весенней циркуляций водной массы дает основание думать, что наряду с потреблением фосфатов фитопланктоном, часть их увлекается из раствора вместе с выпадающим в это время органическим комплексом. В литературе имеются указания (Гесснер, 1931), что в водах, богатых гуминовыми веществами, фосфаты находятся в прочном адсорбированном состоянии с мицеллами органических коллоидов. Таким образом, регенерирующие фосфаты выпадают из раствора раньше, чем могут быть использованы водорослями.

Характер водосборной площади Коверламбы отложил яркий отпечаток на органическом веществе Коверламбы. Вода последней по органическому веществу значительно богаче воды М. Линдаламбы. Это отчетливо видно из средних величин цветности и перманганатной окисляемости обоих озер:

для Коверламбы ср. цветность 123°, ср. перм. окисл. 19,1 мг О/л
для М. Линдаламбы » 74°, » 11,9 »

Кроме того, сравнительно с суммой минеральных веществ в Коверламбе органического вещества почти в 2 раза больше, тогда как

Таблица 12

в воде Коверламбы в различное время
станции)

5 I				1952			
11/IX		26 XI		17/IV		1/VI	
NO ₃ '	P	NO ₃ '	P	NO ₃ '	P	NO ₃ '	P
0,025	0,026	0,09	0,014	0,20	0,007	—	0,003
—	—	0,09	0,015	0,25	0,009	—	—
следы	0,026	0,08	0,015	0,25	0,037	—	0,007

в М. Линдаламбе обратное соотношение. Например, в начале лета сумма минеральных веществ в Коверламбе составляла 23,2, а органическое вещество — 45,6 мг/л.

Разделение по фракциям (в июльских пробах) показало, что 28% органического вещества Коверламбы находится в истинном растворе, 65 составляет группа фульвокислот и 7 — группа гуминовых кислот. По-видимому, как и для вод Карельского перешейка (Воронков, Соколова, 1950), группа гуминовых кислот представлена ульминовой кислотой.

В распределении органического вещества в воде Коверламбы характерным является незначительная стратификация по вертикали (отчетливо выражена только в конце зимы), а также небольшая амплитуда сезонных колебаний.

Как видно из табл. 13, перманганатная окисляемость в различные сезоны изменяется от 17,1 до 23,0 в поверхностном слое и от 16,7 до 23,2 мгО/л — в придонном, цветность от 106 до 140 в поверхностном и от 122 до 149° — в придонном слое. И только в самом поверхностном слое незадолго до вскрытия определена значительно более низкая цветность (50°) и перманганатная окисляемость (11,1 мг/л), что связано с заметным подтаиванием льда снизу.

В отличие от М. Линдаламбы в Коверламбе обогащение воды органическим веществом извне происходит непрерывно. Исключение составляет только глубокая зима, в течение которой его поступление прекращается и уменьшается содержание в верхних слоях воды. С весенним оттаиванием болот начинается поступление аллохтонного органического вещества, количество которого затем мало меняется в течение последующих сезонов. Кроме аллохтонного, в Коверламбе образуется также автохтонное вещество за счет развития фитопланктона и водной растительности. Как свидетельствуют данные соотношения цветности и перманганатной окисляемости (коэффициент цветности в июне — 5,7, в июле — 7,3 и в сентябре 8,0) и процент окисления органического вещества перманганатом (в июне и июле — 42%, в начале сентября 54%), наибольшее количество местного органического вещества растительного происхождения, стойкого к окислению перманганатом, образуется в первой половине лета. Это подтверждается также количественным учетом фитопланктона.

Некоторое постоянство количества органического вещества в Коверламбе связано с тем, что наряду с его поступлением и образованием внутри водоема идет вынос его через ручей, а также частичное

Сезонные изменения цветности (°),
в воде Коверламбы

Горизонт (м)	1950						цветность	окисляемость перманганатная
	6/IX		26/XII			11/VI		
	цветность	окисляемость перманганатная	цветность	окисляемость				
				перманганатная	бихроматная			
0,3	105	22,6	120	23,0	44,6	125	21,4	
2,0—3,0	—	—	—	—	—	—	—	
3,5—4,0	130	22,3	140	23,2	46,0	150	21,7	

выпадение и минерализация. Последним двум процессам способствуют хорошее прогревание озера и возможность аэрации путем ветрового перемешивания (вследствие небольших глубин и отсутствия барьеров, защищающих от ветра).

Польламба

Польламба по ряду показателей имеет близкое сходство с Коверлабмой. Водосборная площадь ее представляет собой топкое болото в основном переходного типа, местами с признаками верхового. Озеро также слабопроточное. Большое сходство в количестве и характере органического вещества; рН воды Польлабмы только немного ниже, чем Коверлабмы.

Однако Польламба резко отличается от Коверлабмы меньшей площадью водной поверхности и большими глубинами, что накладывает свой отпечаток на распределение температуры и гидрохимических факторов как по вертикали, так и в сезонном разрезе. Озеро имеет площадь 1,44 га (14392 м²). Объем водной массы около 82000 м³. Длина—220, средняя ширина—65, максимальная—99 м. Ламба имеет форму овала, вытянутого с северо-запада на юго-восток. Максимальная глубина ламбы—8,8, средняя—5,7 м. Уже в 10 м от восточного и западного берегов глубины около 5 м и только у самого берега—1,2—2,5 м. Берега обрывистые. Степень их извилистости равна 1,2. Отношение средней глубины к площади—395%. Дно ламбы покрыто коричневым жидким илом с примесью растительных остатков в прибрежных участках. Ил Польлабмы еще в августе 1936 г. был подвергнут химическому анализу (Кузнецов и др., 1939). Ниже приводятся некоторые данные анализа.

Водная растительность в Польлабме развита значительно слабее, чем в Коверлабме. В июне ее еще нет. Максимум развития приходится на средину и конец лета. Она развивается узкой полосой у берега, так как более широкому распространению ее препятствуют быстро возрастающие глубины. Растительность представлена кубышкой, тростником (мало), урутью. У самого берега растет вереск, осока.

Таблица 13

перманганатной и бихроматной окисляемости (мг О/л)
(центральная станция)

1951							1952					
12/VII			11/IX			26/XI		17/IV		5/VI		
цветность	окисляемость		цветность	окисляемость		цветность	окисляемость перманганатная	цветность	окисляемость перманганатная	цветность	окисляемость	
	перманганатная	бихроматная		перманганатная	бихроматная						перманганатная	бихроматная
125	17,1	40,1	140	17,6	32,5	120	17,8	50	11,1	120	21,8	51,4
—	—	—	—	—	—	—	—	90	18,6	120	24,2	—
—	—	—	150	16,8	40,6	110	16,7	120	22,9	125	20,0	48,5

Берега озера болотистые, топкие. С запада, юга и юго-востока оно окружено сфагновым болотом, покрытым сосновым лесом. С севера и северо-востока заболоченность несколько иного характера. Здесь в лесном покрове представлены береза, ольха, сосна, в травянистом — осока и местами кочки из зеленых мхов. Весной обильно цветет болотный лютик. Метрах в 30 от северного берега ламбы заболоченный кустарник сменяется лугом. Озеро со всех сторон окружено лесом. В 20—30 м от восточного берега местность круто поднимается, образуя водораздел. Озеро лежит в глубокой впадине и хорошо защищено от воздействия ветра. Площадь водосбора Польшамбы — 0,18 км².

Колебания уровня воды Польшамбы небольшие (рис. 3). Их максимальная амплитуда равна 54 см. Наблюдается два максимума: весенний паводковый (в 1952 г. пик 5 мая) и осенний (первая половина сентября). Наиболее низкий уровень воды относится к концу ноября и второй, чуть повыше, к концу первой декады июля. Характерным является небольшое плавное поднятие уровня воды в течение зимы. Последнее обстоятельство, наряду с наличием в придонных слоях большого количества железа (до 17,0 мг/л), почти постоянными низкими температурами у дна (3,98—5,40°), почти постоянной величиной рН и низким содержанием или полным отсутствием кислорода, может свидетельствовать о существовании заметного грунтового питания ламбы.

Таблица 14

Анализ ила Польшамбы с глубины 3 м
(% к абсолютно сухому илу)

Влажность	Зольность	Вещества спиртовой вытяжки	Сахара и гемацеллюлозы	Клетчатка	Лигнино-гумусовый комплекс	Цветность щелочной вытяжки ила (баллы)	Общий азот	Общий углерод	С общ.	С усв.
									N общ.	N усв.
91,63	68,78	1,74	2,04	2,33	20,35	18,3	0,98	16,3	16,6	11,8

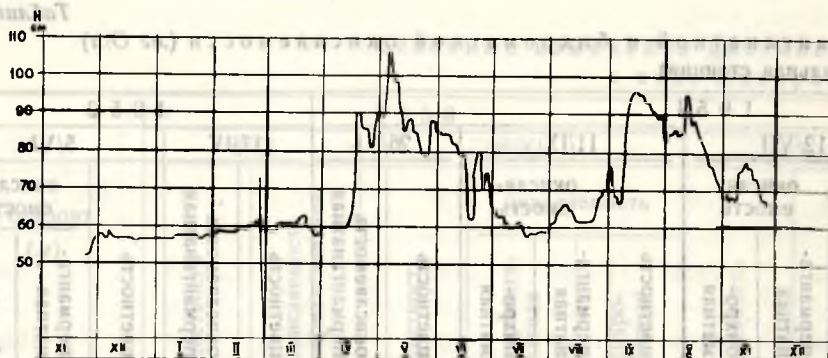


Рис. 3. График колебания уровня воды Польшамбы по наблюдениям 1951—1952 гг. (сточная).

Изменение уровня воды Польшамбы не влияет на размер площади зеркала озера, поскольку берега ламбы обрывисты.

Вода Польшамбы в большом столбе имеет коричневатый оттенок, в бесцветной стеклянной посуде отмечается светло-желтый цвет. С глубиной цвет воды становится интенсивнее, и в самом придонном слое она имеет темно-коричневый цвет. Прозрачность воды летом 1,20—1,25, в декабре — 1,1 м.

Температурный режим Польшамбы носит своеобразный характер. Температура поверхностного слоя воды изменяется соответственно температуре воздуха, и в теплое время этот слой нагревается хорошо. Ежедневные наблюдения за температурой у берега показывают максимум ее в 25° (11/VII). Средняя температура воды поверхностного слоя в июне составляла 10,9, в июле — 19,3, в августе — 18,5, в сентябре — 10,9°. Подобно другим озерам, Польшамба замерзает сроком на 6 месяцев. Так, в 1951/52 г. озеро находилось подо льдом с 4—5/XI по 11/V. В 1952 г. покрылось льдом в конце октября. Ледовый покров довольно мощный: до марта толщина льда у берега до 40 см, в марте до 50 см. Подтаивание начинается только с середины апреля.

Своеобразие температурного режима Польшамбы проявляется в вертикальном распределении температур. В придонном горизонте (в 0,5 м от дна, на глубине 7 м) в течение всего года наблюдаются низкие температуры: от 3,98 в декабре до 5,40° в середине июля. Однако и вышележащие слои воды, даже летом, нагреваются слабо. Вследствие наличия в воде значительного количества гуминовых веществ, сильно поглощающих энергию солнечных лучей, а также слабой подвижности водной массы (значительные глубины при малой площади озера и исключительно большая защищенность лесом и возвышенностями рельефа от деятельности ветра) в течение лета хорошо прогревается только слой воды в 1,5—2,0 м. В начале лета основную толщу воды (с 2 м до дна) занимает гипolimнион с температурой на 2 м — 5,5 и на 7 м — 4,0°. К концу лета нижняя граница эпилимниона продолжает лежать в слое до 2 м, но верхняя граница гипolimниона сдвигается на глубину 4 м за счет разрастания слоя термоклина с температурным градиентом в 15°. Таким образом, летом ламба характеризуется очень резкой температурной микрослоистостью (табл. 15).

Гомотермия наступает только в октябре, незадолго до ледостава. Полная осенняя циркуляция кратковременна. Глубинные слои очень слабо затрагиваются циркуляцией. Зимой господствует обычная обрат-

ная стратификация. Весенняя циркуляция еще более кратковременна и еще меньше вовлекает в движение придонные слои, так как, сохраняя в течение зимы температуру 4° , они оказываются наиболее тяжелыми. Конвекционные токи без деятельности ветра не в состоянии их сдвинуть. Быстрое нагревание поверхностных слоев вскоре исключает и действие конвекционных токов.

Частичное нагревание толщи воды летом происходит благодаря теплообмену между выше- и нижележащими слоями, а также благодаря слабым движениям воды, вызванным разными причинами (стоком в ручей, компенсационными токами, имеющими иногда место при более усиленном ветре, и т. д.).

Нерегулярность действия этих факторов способствует созданию резкой слоистости температур на каждом метре глубины. Низкие, почти постоянные температуры поддерживаются, по-видимому, и значительным подтоком грунтовых вод.

Описанный термический режим и созданная им слоистость водной массы, слабая подвижность ее в период стагнаций и кратковременность периодов циркуляций резко отражаются на газовом режиме Польшамбы. Уже в поверхностном слое наблюдается более низкое содержание кислорода и более высокое углекислоты, чем в Коверламбе и М. Линдаламбе. Концентрации кислорода в этом слое испытывают колебания от 6,8 до 11,3 мг/л. Содержание CO_2 (без поправки на летучие кислоты)¹ колеблется от 4,2 до 14,7 мг/л.

Наиболее насыщен кислородом (73—74%) и обеднен двуокисью углерода поверхностный слой весной, с началом подтаивания льда, и летом. Он наиболее обеднен кислородом и обогащен CO_2 в период частичной осенней циркуляции, когда глубинные, бедные кислородом и богатые углекислотой и закисным железом воды начинают поступать на поверхность. Однако и к началу ледостава содержание кислорода здесь мало увеличивается, так как только к этому периоду загрязняется циркуляцией и выносятся на поверхность самый придонный слой воды. По вертикали в течение всего года имеет место резкая прямая стратификация кислорода и такая же резкая обратная стратификация двуокиси углерода. На глубине 3—4 м насыщение кислородом колеблется от 16 до 52%. В придонном слое (0,5—1,0 м от дна) оно не превышает 9% (1,2 мг/л). Большую часть года содержание кислорода у дна еще ниже, а к концу зимы он совершенно отсутствует (табл. 15).

Двуокисью углерода, в противоположность кислороду, толща воды Польшамбы чрезвычайно насыщена. На глубине 3—4 м концентрация CO_2 колеблется в пределах 15,0—30,0, а в придонном слое от 36,6 до 51,3 мг/л. Максимальные концентрации двуокиси углерода, как и минимальные кислорода в глубинных слоях, определяются к концу зимы, а также лета. Наибольшее обогащение глубинных слоев кислородом и освобождение от углекислоты происходит к концу осенней циркуляции и в меньшей степени весенней. Однако из-за кратковременности периодов полной циркуляции как к зиме, так и к лету глубинные слои воды подходят крайне бедными кислородом (табл. 15) и с большим запасом CO_2 (табл. 16).

Большое накопление CO_2 в Польшамбе, по-видимому, связано не только с минерализацией органического вещества. Часть ее приносится с грунтовыми водами, а некоторая часть освобождается в процессе

¹ Нелетучие кислоты составляют в поверхностном слое 10, для среднего горизонта 20 и придонного 2% от общей кислотности.

Таблица 15

Температура воды и концентрации кислорода в воде Польялмбы

Горизонт (м)	1 9 5 0			1 9 5 1									1 9 5 2					
	XII			VI			IX			XI			IV			VI		
	t°	O ₂		t°	O ₂		t°	O ₂		t°	O ₂		t°	O ₂		t°	O ₂	
		(мг/л)	(%)		(мг/л)	(%)		(мг/л)	(%)		(мг/л)	(%)		(мг/л)	(%)		(мг/л)	(%)
0,3	0,4	9,75	67	18	6,03	62	13,6	6,85	65	1,9	8,56	61	0,4	11,35	73	14,4	7,60	73
2,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,7	5,60	41	5,5	—	—
4,0	—	—	—	—	—	—	9,3 (3 м)	2,24 (3 м)	29	3,7	7,97	52	3,5	2,24	17	4,1	6,04	46
6,0—6,5	3,98	0,49	4	—	—	—	4,5	0,34	3	4,1	1,20	9	4,0	0,00	0	4,0	0,09	1

Таблица 16

Сезонные изменения pH, концентраций CO_2 и HCO_3' (мг/л) в водной толще Польяамбы
(центральная станция)

Горизонт (м)	1951									1952					
	VIII			IX			X			IV (подо льдом)			VI		
	pH	CO_2	HCO_3'	pH	CO_2	HCO_3'	pH	CO_2	HCO_3'	pH	CO_2	HCO_3'	pH	CO_2	HCO_3'
0,3	7,30	4,2	23,50	6,85	7,5	17,39	6,70	12,8	34,84	6,25	8,6	7,52	6,50	8,4	10,13
2,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,40	16,1	19,89	6,40	10,9	—
4,0	—	—	—	6,00 (3 м)	20,5	12,39	6,65	12,8	19,83	6,10	28,6	21,42	6,30	15,8	16,31
6,0—6,5	—	—	—	7,10	50,7	54,00	6,80	41,8	56,36	7,00	51,3	47,07	6,90	36,6	70,10

окисления закисного железа при участии железобактерий. С окислением закисного железа в значительной мере связан дефицит кислорода.

Активная реакция воды Польшамбы колеблется около нейтральной с некоторой тенденцией к слабокислой (табл. 16). Подобно другим факторам рН отчетливо отражает резкую слоистость воды по вертикали. Для Польшамбы характерно то, что наиболее низкое значение рН в течение всего года относится к среднему слою воды (летом нижняя часть слоя термоклина). Колебания рН в этом слое от 6,00 до 6,55. В поверхностном слое рН колеблется от 6,25 до 7,30, а в придонном от 6,60 до 7,00. Значения рН поверхностного и придонного слоев довольно близки, особенно в течение летнего периода. Осенью и зимой рН придонного слоя выше, чем поверхностного.

Для сезонного хода величин рН поверхностного и придонного слоев характерно возрастание летом и затем постепенное падение с начала частичной осенней циркуляции и до конца зимы; при этом рН поверхностного слоя понижается значительно больше, чем придонного. В среднем слое минимальные значения рН определены к концу летней и зимней стагнаций и наиболее высокие значения — к концу полной осенней циркуляции. Приуроченность наиболее низких значений рН к промежуточному слою (над придонным) может быть объяснена прежде всего тем, что здесь, как в слое термоклина, в основном сосредоточены разлагающиеся органические вещества и более активно совершаются биохимические процессы, сдвигающие карбонатное равновесие в сторону накопления CO_2 . Кроме того, здесь определен наибольший процент нелетучих кислот (фульвокислот и гуминовых), в результате диссоциации которых увеличивается количество ионов Н.

Некоторые авторы (Баранов, 1949) такое своеобразное снижение рН в промежуточном слое воды объясняют сдвигом карбонатного равновесия в сторону накопления CO_2 и снижения концентраций HCO_3' благодаря окислению гидрокарбоната железа на границе перехода от слоев воды, лишенных кислорода, к слоям, содержащим кислород. Наши наблюдения на других водоемах (Крюкламба, Безымянная) также показывают, что наиболее низкий рН воды наблюдается на границе появления кислорода.

Более или менее высокое (с небольшими колебаниями) значение рН в придонном слое поддерживается, нам кажется, значительным поступлением грунтовых вод. Фотосинтетические процессы в Польшамбе очень мало изменяют рН воды.

Гидрокарбонатный ион своим распределением также четко отражает указанную вертикальную слоистость воды Польшамбы. В поверхностном слое его концентрации изменяются от 5,5 в декабре и 7,5 в апреле до 34,8 мг/л в ноябре, после осенней циркуляции. В периоды низких концентраций HCO_3' в поверхностном слое во всей толще воды наблюдается обратная стратификация его распределения. Летом и осенью с повышением концентраций HCO_3' в поверхностном слое складывается прямая стратификация с минимумом на 4—5-метровом горизонте (в слое наиболее низкого рН). Наиболее низкая концентрация HCO_3' в этом слое составляет 12,4 (в начале сентября) и наиболее высокая — 21,4 мг/л (в апреле). Концентрации HCO_3' в придонном слое в течение всего года в несколько раз выше, чем в поверхностном и среднем слоях и в основном колеблются около 50,0 мг/л (табл. 16). Характерно, что в Польшамбе они очень близки к концентрациям CO_2 , особенно в придонном и среднем слоях (табл. 16). В отдельные периоды (апрель) это относится и к поверхностному слою.

Все вышеописанные факторы показывают резко выраженную слоистость воды Польшамбы по вертикали. Каждый слой характеризуется своим особым гидрохимическим и температурным состоянием. Обусловлена слоистость чрезвычайно слабой подвижностью водных масс не только в периоды стагнаций, но и циркуляций и наличием довольно заметного донного питания. Солевой анализ воды (табл. 17) показал, что несмотря на низкие концентрации HCO_3' в отдельные периоды, он все же является главным анионом ионной группы Польшамбы. Даже при самых низких концентрациях HCO_3' в поверхностном слое (в апреле) концентрация SO_4'' (мг-экв) в два раза меньше, чем концентрация HCO_3' . При этом в апреле содержание SO_4'' было выше, чем в июне (3,17 мг/л в апреле и 2,94 — в июне). Хлоридный ион представлен очень незначительным количеством — 0,30—0,99 мг/л; он имеет тенденцию к увеличению от апреля к июню.

Содержание кальция и магния в поверхностном слое воды Польшамбы также невысокое. Кальция в середине апреля — 2,90, магния — 1,49 мг/л. В июне их концентрации несколько возрастают (табл. 17). К сожалению, оба анализа относятся к более или менее высокому уровню (начало и конец паводка). При низком уровне концентрации Ca^{++} и Mg^{++} надо полагать, несколько выше. Безусловно, заметно выше их концентрации и в придонном слое. K^+ и Na^+ непосредственно не определены и определенных катионов оказалось невозможным вследствие того, что сумма мг-экв Ca^{++} и Mg^{++} превышает сумму мг-экв HCO_3' , SO_4'' и Cl' . В апреле это превышение составляло 0,01, а в июне — 0,07—0,08 мг-экв. По-видимому, недостающую анионную часть представляют органические кислоты. Исследования показали, что в июне вода ламбы почти вдвое богаче гуминовыми веществами. На подобное явление указывают Воронков и Соколова (1950, 1951) для вод болотных рек и ручьев Карельского перешейка. Как будет видно ниже, в ламбах с более высоким содержанием гуминовых веществ доля органических кислот в связывании катионной группы возрастает.

Общая минерализация воды (без Na^+ и K^+) в апреле составляла 15,9, в июне — 20,1 мг/л. Поскольку к осени концентрация HCO_3' возрастает, то и минерализация становится выше. В придонном горизонте, судя по величине гидрокарбонатного иона, общая минерализация в течение всего года значительно выше минерализации поверхностного слоя.

Содержание кремния в основной толще воды Польшамбы в июне было равно 2,8—3,0, в придонном горизонте — 6,0 мг Si/л. Концентрация

Таблица 17

Концентрации главных ионов в поверхностном слое воды Польшамбы (центральная станция)

Дата	Ca^{++}		Mg^{++}		$\text{K}^+ + \text{Na}^+$		HCO_3'		SO_4''		Cl'	
	(л/2м)	(мг-экв/л)	(л/2м)	(мг-экв/л)	(л/2м)	(мг-экв/л)	(л/2м)	(мг-экв/л)	(л/2м)	(мг-экв/л)	(л/2м)	(мг-экв/л)
17/IV 1952 г.	2,90	0,144	1,49	0,122	—	—	7,52	0,123	3,17	0,066	0,28	0,008
1/VI 1952 г.	3,94	0,196	1,64	0,135	—	—	11,13	0,166	2,94	0,061	0,99	0,028

железа в воде Польялмбы в верхних слоях такая же, как и в Коверламбе. В поверхностном горизонте она колеблется от 0,18 до 0,54 мг Fe/л, с глубиной заметно возрастает, но на 4-метровом горизонте не выше 1,2 мг/л (в отдельные сезоны опускается до 0,46 мг/л). Отличительной чертой вод Польялмбы является резкий скачок в содержании железа в придонном слое (1—1,5 м от дна). Концентрации железа в нем колеблются от 11,0 в апреле до 17,6 мг/л к концу лета.

Наибольшие концентрации железа в поверхностном слое и более глубоких слоях, кроме придонного, обнаруживаются в период осенней циркуляции и после нее. Это происходит за счет выноса из придонного слоя, в котором содержание железа понижается. Обогащенная железом толща воды покрывается льдом. Зимой концентрации железа несколько снижаются. Минимум в верхних слоях наблюдается к концу лета, в придонном, наоборот, в это время наиболее высокое содержание железа. Источником железа в Польялмбе являются донные ключи.

Минеральный азот в Польялмбе представлен в форме аммонийного, нитритного и нитратного. Нитриты были обнаружены в начале лета в 2—4-метровом слое в количестве около 0,001 мг NO_2 /л. В Польялмбе еще отчетливее, чем в Коверламбе, выявляется ослабление процессов нитрификации, особенно в придонном слое. Это связано с наличием анаэробных условий, при которых процесс нитрификации затухает. В поверхностном и среднем слоях весной и летом нитраты находятся в следах. В более уловимых количествах появляются к концу лета (0,025 мг/л) и затем в тех же концентрациях определяются осенью и в начале зимы. К концу зимы количество нитратов возрастает до 0,2 в поверхностном и до 0,1 мг/л — в среднем слое. В придонном слое они в течение весны, лета и осени отсутствуют вообще, начинают появляться в следах в декабре и к концу зимы составляют около 0,025 мг/л. Таким образом, в противоположность выше описанным ламбам здесь нитратов меньше вообще и вместо обратной стратификации по вертикали наблюдается прямая стратификация.

Концентрации аммонийного азота в Польялмбе, наоборот, выше. Летом они составляют в поверхностном слое около 0,2, на глубине 4 м — 0,4 и в придонном слое — около 1,0 мг NH_4 /л.

Фосфаты в воде Польялмбы присутствуют в больших концентрациях, чем в Коверламбе. Для поверхностного слоя отмечены колебания концентраций от 0,005 до 0,035 мг/л. Ко дну в течение всего года концентрации возрастают, испытывая колебания от 0,009 до 0,385 мг/л. Максимум фосфаты дают в придонном слое к концу летней стагнации, а во всей толще воды и в поверхностном слое — в начале частичной осенней циркуляции (сентябрь) за счет выноса из более глубоких слоев. К этому периоду в Польялмбе относится наиболее высокое развитие фитопланктона. Второй максимум фосфатов в конце зимы, но он значительно меньше первого, что свидетельствует о более замедленном процессе минерализации зимой по сравнению с летом и меньшем подтоке грунтовых вод, с которыми фосфаты также поступают в значительном количестве.

В период полных осенней и весенней циркуляций, как и в двух первых ламбах, концентрации фосфатов резко снижаются. Летом в зоне фотосинтеза их запас не превышает 0,005 мг/л. Запасы глубинных слоев остаются недоступными для растительных организмов из-за слабой подвижности водной массы. Фитопланктон и водная растительность в придонном слое и вообще в более глубоких слоях не развивается из-за отсутствия в них света. Как известно, гуминовые вещества, раство-

ренные в воде, сильно поглощают солнечный свет. Так, фотометрические измерения показали, что в озере с цветностью воды 264° на глубину в 1 м проходит только 1,1% всего видимого света (Скопинцев, 1950).

Органическое вещество Польлабмы, как и Коверламбы, представлено преимущественно гуминовыми соединениями (65% фульвокислот, 12% группы гуминовых кислот и 23 — истинно растворенных органических веществ).

Концентрация органических веществ в поверхностном слое в два раза выше суммы минеральных веществ (в июне сумма минеральных веществ составляла 20,1, органических — 41,0 мг/л).

Сезонные колебания, а также по вертикали несколько больше, чем в Коверламбе. Так, в поверхностном горизонте цветность воды изменяется от 59° до 128° , а перманганатная окисляемость от 7,6 до 21,2 мг О/л. В среднем горизонте (3—4 м) цветность колеблется от 111 до 138° , перманганатная окисляемость от 16,8 до 22,7 мг/л. В придонном горизонте крайние границы цветности — 380° и 650° , перманганатной окисляемости — 24,5 и 35,4 мг О/л. Высокая цветность придонного слоя почти на 50% обусловлена железом. Из литературных данных известно (Скопинцев, 1950 а), что 1 мг железа создает цветность в 20° . В сентябре, например, из 600° цветности 350 обуславливается железом и только 250 приходится на долю органического вещества.

Основное обогащение воды органическим веществом происходит в весенний паводок и осенью (за счет аллохтонного органического вещества типа гуминовых веществ). К концу зимы и к концу лета содержание органических веществ значительно уменьшается, а, главное, меняется их характер. К концу зимы за счет минерализации и трансформации, а также благодаря частичному выпадению из раствора менее окрашенной группы фульвокислот в растворе остается довольно сильно окрашенное органическое вещество (отношение цветности к перманганатной окисляемости равно 8). Весной в основном поступает менее окрашенное вещество, но стойкое к биохимическому окислению — фульвокислоты (отношение цветности к перманганатной окисляемости равно 5,3—5,8, перманганатная окисляемость от бихроматной составляет 50%).

К осени снова часть органических веществ минерализуется и часть фульвокислот выпадает. Общее количество органических веществ уменьшается, в растворе увеличивается процент группы более окрашенных веществ — гуминовых кислот. Вместе с тем в растворе появляются и менее стойкие к биохимическому окислению вещества (стойкие к окислению перманганатом) планктонного происхождения (% перманганатной окисляемости от бихроматной снизился до 38). Количественный учет фитопланктона подтверждает данные анализа воды (рис. 6).

Полная осенняя циркуляция в верхних слоях воды не только не снижает цветности, перманганатной окисляемости, как это указывалось для М. Линдаламбы, но даже несколько увеличивает значение этих показателей, по-видимому, за счет выноса органических веществ из более глубоких слоев. Частично в этот период вода обогащается ими благодаря осеннему паводку. Эти факторы маскируют предполагаемое частичное выпадение органических веществ в период полной циркуляции. БПК₅ в верхних слоях и придонном в Польламбе порядка 1,88—2,00 мг/л. Наиболее высокое БПК₅ на глубине 4—5 м (3,27 мг/лО₂).

Безымянная ламба

Площадь ламбы 0,63 га. Объем водной массы 32 639 м³. Озеро имеет яйцевидную форму, вытянутую с севера на восток. Коэффициент извилистости берега 1,07. При такой малой площади водоем обладает сравнительно большими глубинами: максимальная — 6,2, средняя — 5 м. 6-метровая изобата проходит в 10 м от берега. Отношение средней глубины к площади составляет 793%. Берега обрывистые, сплавинные. Глубина у берега 1—1,5 м. Падение дна крутое. Оно покрыто коричневым жидким илом. Озеро замкнутое. Со всех сторон окружено сфагновым болотом; местами сфагнум с осокой. Лесной ярус вблизи ламбы отсутствует, за исключением редких экземпляров низкорослой сосны и кустиков карликовой березы. Таким образом, Безымянная ламба отличается от Польламбы меньшей площадью, меньшей защищенностью от ветра и характером водосборной площади, которая почти целиком представлена верховым болотом. Площадь водосбора — 0,23 км². Водная растительность (кувшинка, кубышка, осока, рдесты) развита хорошо у берега; дальше не распространяется из-за быстрого нарастания глубин более двух метров. Вода имеет желто-коричневую окраску. Прозрачность в начале лета 1,2, к концу — 1,1 м.

Температурный режим Безымянной ламбы повторяет режим Польламбы. Летом сравнительно хорошо (до 20°) нагревается слой воды 0—1,5 м. На глубине 5 м температура в течение года колеблется в пределах 3,8—5,2°, а у самого дна от 4,0 до 4,5°. В слое воды 1—4 м — резко выраженная температурная слоистость с градиентом до 12° (табл. 18). Осенняя гомотермия и циркуляция водной массы кратковременны. Весенняя гомотермия еще короче. Подо льдом озеро находится в течение 6 месяцев.

Таблица 18

Распределение температуры в толще воды
Безымянной ламбы летом

Месяцы Горизонт (м)	VIII/1950	VI/1951	VII/1951	IX/1951
0,25	16,2	17,0	20,1	16,3
1,0	15,6	11,1	—	15,8
1,5	12,5	—	—	—
2,0	8,4	8,0	—	—
3,0	5,9	5,0	8,5	10,2
4,0	4,6	—	—	—
5—5,5	4,3	—	5,0	5,2
6,0	4,2	4,5	—	4,4

Газовый режим Безымянной ламбы значительно тяжелее, чем в Польламбе. Факторами, обуславливающими его, являются: 1) слабая подвижность водной массы (большие глубины при малой площади, отсутствие проточности и др.); 2) большая концентрация органических веществ (гуминовых); 3) исключительная бедность кислородом вод, поступающих с водосборной площади (верхового болота).

Концентрация кислорода в самом поверхностном слое летом сравнительно благоприятные (70—92% насыщения), но с началом частичной

осенней циркуляции (в сентябре) в связи с поступлением более глубинных вод, обедненных кислородом, падают до 60,9% (6,13 мг/л). Льдом озеро покрывается, уже имея концентрацию O_2 в воде лишь 4,4 мг/л (31,3% насыщения). В конце подледного периода O_2 в поверхностных слоях становится больше, так как происходит подтаивание снизу льда и растворение освобождающихся при этом пузырьков воздуха.

На глубине 3 м в течение лета установлены только следы кислорода. В начале частичной циркуляции определено 0,19 мг/л (1,7%) и только после полной осенней циркуляции концентрация поднялась до 4,07 мг/л (30% насыщения). Придонный слой в течение всего года лишен кислорода. Небольшие концентрации его (2,4 мг/л), появившиеся после осенней циркуляции, к началу декабря уже целиком исчезают. Весной обогащение глубинных слоев кислородом еще слабее, поэтому летом, особенно к концу его, кислородный режим в толще воды оказывается наиболее тяжелым. Двуокись углерода испытывает колебания от 5,0 до 21,3 мг/л в поверхностном слое и от 29,5 до 69,5 мг/л — в придонном (поправка на нелетучие кислоты не вычтена). Сезонное распределение CO_2 представляет полную противоположность распределению кислорода: минимум — летом в поверхностном и среднем слоях, максимум — после осенней циркуляции. В придонном слое наибольшее накопление к концу лета и зимы.

Весенняя циркуляция снижает концентрацию CO_2 только в поверхностном слое воды. Концентрация CO_2 в течение большего времени вдвое выше концентрации HCO_3' . В связи с этим рН воды Безымянной ламбы значительно ниже, чем в Польламбе. В поверхностном слое воды рН изменяется от 5,60 до 6,55, в придонном от 6,00 до 6,35. Как правило, с глубиной рН понижается, но в апреле, июне, июле и сентябре наиболее низкое значение его было на глубине 3 м (граница исчезновения кислорода). В поверхностном слое наиболее высокое значение рН имеет летом, в придонном — зимой.

Общая минерализация поверхностного слоя воды составляла в мае 15,0, в июне 16,4 мг/л (без Na^+ и K^+). Характерной особенностью воды Безымянной ламбы является то, что весной перед вскрытием льда (при начавшемся подъеме уровня) она имеет отчетливо выраженный сульфатный характер (табл. 18а). В июне вода приобретает гидрокарбонатный характер, который, судя по концентрации гидрокарбонатного иона, сохраняется в течение лета и зимы. В придонном слое весь год вода сохраняет гидрокарбонатный характер. Концентрации HCO_3' в поверхностном слое испытывают колебания от 3,23 до 13,49 мг/л. Минимальные концентрации отмечены весной и в начале лета. Наиболее высокая концентрация определена вскоре после осенней циркуляции. В среднем и придонном слоях концентрации выше. В придонном слое концентрации HCO_3' испытывают колебания от 12,51 в ноябре до 42,10 мг/л в июне. Концентрация сульфатного иона в апреле выше, чем в июне (табл. 18а). Содержание Ca^{++} и Mg^{++} , наоборот, в июне выше, чем в апреле (табл. 18а). В Безымянной ламбе $E_{мг-экв} Ca^{++} + Mg^{++} > E_{HCO_3' + SO_4'' + Cl'}$. Кремния в ней летом около 3,0 мг/л.

Железо в поверхностном слое воды Безымянной ламбы имеет сравнительно небольшие концентрации (от 0,02 до 0,35 мг Fe/л). С глубиной количество его возрастает, испытывая в придонном слое колебания от 0,43 до 3,76 мг/л. Наименьшие концентрации железа в поверхностном и среднем слое (глубина 3 м) определены летом с явным понижением к концу его. Осенью содержание железа начинает возрастать (на поверхность выходят глубинные воды). Максимальные концентрации установлены перед вскрытием льда за счет начавшегося

Таблица 18а

воды Безымянной ламбы

K + Na		HCO ₃		SO ₄		Cl	
(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)
не опр.		3,23	0,053	5,51	0,115	0,71	0,020
.		33,13	0,54	4,37	0,091	—	—
.		5,36	0,088	4,42	0,092	0,42	0,012
.		5,17	0,085	3,33	0,069	0,78	0,022

70% органического вещества составляет группа фульвокислот, 13% — группа гуминовых кислот и 17 — истиннорастворенные органические вещества. К концу лета (начало сентября) процент фульвокислот снижается (до 57%) и возрастает процент истиннорастворенных.

В содержании органического вещества наблюдаются значительные сезонные колебания. Цветность воды испытывает колебания в поверхностном слое от 67 до 250, в придонном — от 190 до 365°; перманганатная окисляемость в поверхностном слое колеблется от 9,9 до 31,4 мг О/л, а в придонном слое — от 28,2 до 44,6. Большую часть года наблюдается обратная стратификация в распределении органического вещества, но в период осенней циркуляции его концентрации почти выравниваются. К этому времени относится минимум в придонном и максимальное содержание в поверхностном и среднем слоях. Самые низкие концентрации в поверхностном слое наблюдаются в конце зимы. Наибольшее поступление органического вещества происходит весной и осенью.

Крюкламба

Площадь водной поверхности Крюкламбы составляет 2,2 га (22 336 м²). Объем водной массы — 104 834 м³. Длина озера — 370, средняя ширина — 60, наибольшая — 85 м. Ламба имеет форму ковша или крюка. Степень извилистости берегов равна 1,9. Средняя глубина ламбы — 4,7, максимальная — 8 м. Падение берега довольно крутое: в 2 метрах от берега глубины в 2 м, которые очень быстро сменяются 3—4-метровыми. Отношение средней глубины к площади выражается 211%. Водосборная площадь ламбы — 0,17 км².

Грунт Крюкламбы однообразный, представлен мощным слоем темно-коричневого, почти черного, жидкого ила, образующего при высыхании черную трудноподдающуюся дроблению пластину. В прибрежной зоне к илу примешиваются остатки растительности.

Прибрежная водная растительность развита очень слабо. Редкими экземплярами у самого берега разбросана кувшинка; к ней в северо-западной части присоединяются хвощ и реже осока. У самого уреза воды растет местами тростник и сфагнум. Озеро со всех сторон окружено лесом. Берега болотистые, низкие, топкие. Восточный берег представляет собой сфагновое болото (типа верхового), покрытое чахлым сосняком. В нижнем ярусе клюква и у воды тростник. С юга и запада ламбу также окружает сфагновое болото шириной 40—50 м. Далее местность повышается, образуя водораздел. Северо-западный и северный берега представляют собой заболачиваемый лес смешанного типа с зелеными мхами, осокой, хвощами. Несколько дальше заболоченность

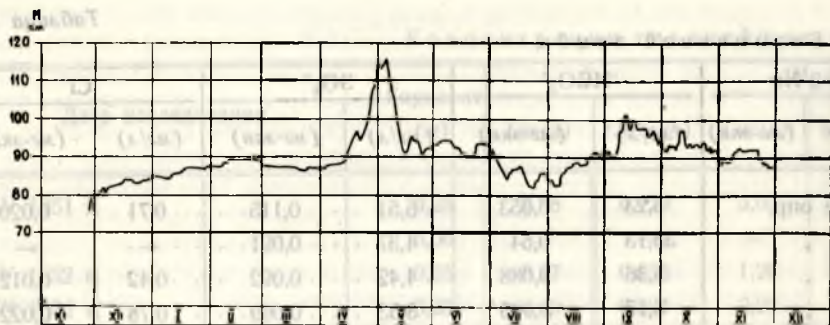


Рис. 4. График колебания уровня воды Крюкламбы по наблюдениям 1951—1952 гг. (бессточная).

теряется. Под растительным покровом болотных участков залегают торфяные массы.

Озеро Крюкламба — замкнутое (без притоков и стока). Ежедневные наблюдения за уровнем воды Крюкламбы, проводившиеся с 1/XII 1951 г. по 1/XII 1952 г., показали, что максимальная амплитуда колебания уровня составляет 0,43 м. Как и в Польшамбе, отчетливо выделяются два паводка: первый, наибольший, в начале мая (пик — 4 мая), второй на 13 см ниже — в начале сентября (рис. 4). В отличие от Польшамбы весенний паводковый период значительно короче. Наиболее низкий уровень относится к концу ноября. Летний минимальный уровень падает на вторую половину июля и первую половину августа.

Как в Польшамбе, так и в озере Крюкламба уровень воды возрастает постепенно от начала зимы к концу ее, что также связано с наличием донного питания. При этом кривая подъема уровня зимой в Крюкламбе несколько круче, что, надо полагать, связано с отсутствием поверхностного стока из нее.

Вода Крюкламбы при рассматривании ее в толстом слое характеризуется темно-коричневым цветом. В бесцветном стеклянном сосуде она также имеет довольно интенсивный желто-коричневый оттенок. Прозрачность воды дает колебания от 0,7 до 0,9 м в центральной и до 1,0 м в северной части. Максимальная прозрачность определена в августе (0,9—1,0 м). Такое же значение для летнего периода указывает В. Г. Мельянцева (1949).

Термика воды Крюкламбы характеризуется теми же особенностями, что и Польшамбы и Безымянной. Поверхностный слой 1,5—2,0 м нагревается хорошо. Максимальная температура достигает 23° в июне и июле. Средняя температура поверхностного слоя у берега в июне — 18,2, в июле — 19,1, в августе — 17,4, в сентябре — 12,3° (данные ежедневных наблюдений в 1952 г.). Ниже 1,5—2 м водная толща в течение лета прогревается слабо и характеризуется резкой температурной стратификацией с очень большим падением температуры в пределах каждого метра глубины (табл. 19). Эта слоистость обуславливается теми же причинами, что и в вышеуказанных лабах.

Для придонного слоя характерны почти постоянные низкие температуры (колебания от 3,9 до 5,5°). Гомотермия всей водной толщи осенью наступает поздно. Так, измерение температуры 2 октября 1952 г. показало, что гомотермия была распространена только до глубины 4—4,5 м. Нижележащий слой в 3—4 м еще не участвовал в циркуляции.

Таблица 19

Распределение температуры (°) в воде Крюкламбы
в различные месяцы

Горизонт (м)	1950		1951					1952			
	25/VIII	26/XII	16/IV	13/VI	21/VII	8/IX	24/XI	14/IV	31/V	12/VIII	2/X
0,3	15,5	1,0	1,4	17,0	18,6	17,0	1,0	0,3	14,6	16,7	6,5
1,0	15,2	—	—	14,5	—	—	—	—	—	16,2	—
2,0	13,5	—	2,8	11,2	—	—	—	2,5	7,7	11,1	—
2,5	10,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,0	7,8	—	—	7,0	7,5	8,8	3,5	—	—	7,0	—
4,0	5,1	—	3,8	—	—	—	—	3,5	4,2	5,0	6,5
5,0	—	—	4,0	—	—	—	—	—	—	—	4,6
7,0—7,5	4,3	3,9	4,1	4,5	5,5	4,3	4,0	4,0	3,9	4,2	4,5

22/X озеро уже стало покрываться льдом. Ледовый покров в 1952 г. достигал мощности 60 см (наибольшая мощность льда с начала марта до середины апреля). Сроки ледостава и вскрытия озера те же, что и для других ламб.

Газовый режим Крюкламбы такой же неблагоприятный, как и в Безымянной ламбе. Вся толща воды в той или иной мере содержит кислород только к концу осенней циркуляции и в ближайшие месяцы после нее. Так, в ноябре вскоре после ледостава в придонном слое концентрация кислорода составляла 4,03 мг/л (30% насыщения). В конце декабря в этом слое определено его только 0,05 мг/л (1% насыщения). В течение всех последующих месяцев (до середины октября) кислород в придонном слое отсутствует. При этом к концу зимней и летней стагнаций у дна наблюдается отчетливый запах H_2S . Резкий дефицит кислорода характерен и для более высоких слоев воды. В слое ниже 3 м в течение всего года кислорода меньше 1 мг/л (табл. 20). Наиболее резкий дефицит O_2 устанавливается в среднем слое воды к концу периода стагнаций.

В поверхностном слое воды содержание кислорода колеблется в пределах 6,43—11,47 мг/л. Максимальное насыщение в процентном отношении (87%) наблюдалось в июне. В абсолютных единицах поверхностный слой наиболее богат им в конце подледного состояния — за счет обогащения воды кислородом из пузырьков воздуха, освобождающимся при подтаивании льда.

На глубине 2 м максимальное насыщение составляет 66% (9,14 мг/л). Резко падают концентрации O_2 в верхних слоях воды Крюкламбы с началом частичной осенней циркуляции и в минимуме сохраняются почти до конца зимы (табл. 20).

Кислородный режим Крюкламбы обуславливается теми же факторами, что и в Безымянной ламбе. Следует только добавить, что определенная доля кислорода затрачивается на окисление H_2S в связи с наличием в некоторые месяцы сероводорода в придонном слое.

В середине августа 1952 г. было проведено наблюдение за кислородным режимом Крюкламбы в течение суток. Наиболее низкие

Таблица 20

Содержание кислорода в воде Крюкламбы в различные месяцы
(центральная станция)

Горизонт (м)	1950				1951										1952					
	25/VIII		26/XII		16/IV		13/VI		21/VII		8/IX		24/XI		14/IV		31/V		12/VIII	
	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)	(мг/л)	(%)
0,3	7,20	69	6,43	45	10,65	79	8,67	87	7,60	79	7,16	72	7,89	55	11,47	79	8,46	81	6,70	67
2,0	2,94 (2,5 м)	26	—	—	3,77	28	7,49	67	—	—	3,25	—	—	—	9,14	66	6,19	51	3,24	28
3,0	—	—	—	—	—	—	1,03	8	1,57	13	0,22	2	6,74	50	—	—	—	—	1,00	8
4,0	—	—	—	—	0,96	7	—	—	—	—	—	—	—	—	0,29	—	0,87	7	0,15	1
5,0	—	—	—	—	0,67	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7,0	0,0	0	0,05	0,4	0,0 присут- ствует H ₂ S	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	4,03	30	0,0	0	0,0	0	0,0	0

концентрации кислорода были определены в утренние часы, наиболее высокие в 17—18 ч.

Максимальный прирост концентраций кислорода для различных слоев воды представлен в табл. 21.

Таблица 21

Максимальные амплитуды суточных колебаний кислорода в разных слоях воды Крюкламбы 12—13 VIII 1952 г. (мг/л)

Горизонт (м) . .	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	7,0
Максимальный прирост O_2 . .	0,69	0,66	0,06	0,15	0,35	0,04	0,0

Как видно из таблицы, максимальная амплитуда суточного колебания кислорода, обусловленная фотосинтетической деятельностью фитопланктона, даже для самого освещенного и прогретого слоя воды Крюкламбы, крайне небольшая. Для такого ультраолиготрофного озера, как Телецкое, максимальная амплитуда суточных колебаний кислорода в поверхностном слое в июле составляла 1,29 мг/л (Алекин, 1934); в евтрофированном озере Миккельском в Карелии—2,04 мг/л (Харкевич, 1956). Обращает внимание изменение максимальной амплитуды суточных колебаний кислорода по вертикали. В слое воды ниже 4 м концентрация кислорода не испытывает колебаний. Почти не испытывает колебаний концентрация кислорода у верхней границы термоклина, по-видимому, как вследствие слабого развития фитопланктона, так и более энергичного потребления кислорода на окислительные процессы.

В заключение следует сказать, что в Крюкламбе содержание кислорода определялось также с учетом йодопоглощения (метод Скопинцева и Митягиной, 1939), так как в указанном водоеме высокая гумификация воды и придонные слои содержат H_2S . Анализы показали следующие результаты. В поверхностном слое воды (апрель 1952 г.) содержание кислорода, определенное по методу йодной пробы, было равно 12,70 мг/л, а без учета йодопоглощения—11,47 мг/л. В придонном слое соответственно 0,6 мг/л и нуль. В пробах от 31/V 1952 г., взятых с глубины 4 м, содержание O_2 , определенное методом йодной пробы, составило 1,44, а обычным методом—0,87 мг/л; в придонном слое—0,07 мг/л и нуль. К сожалению, определение O_2 методом йодной пробы не проводилось регулярно и поэтому данные по кислороду следует считать несколько заниженными.

Концентрация двуокиси углерода в Крюкламбе несколько ниже, чем в Безымянной. В поверхностном слое воды Крюкламбы средняя концентрация CO_2 равна 8,86 мг/л с крайними границами 4,2—17,2 мг/л. В придонном слое средняя концентрация CO_2 составляет 35,7 мг/л (колебания от 29,6 до 50,2 мг/л). Эти концентрации несколько завышены, особенно в поверхностном слое, где процент нелетучих кислот достигает 37—39. На глубине 3 м нелетучие кислоты составляют 12—13%, а в придонном слое—4—9. Если в процентном отношении наблюдается понижение нелетучих кислот ко дну (за счет резкого возрастания концентраций CO_2), то в абсолютных количествах их концентрации ко дну возрастают. Например, в сентябре нелетучие кислоты составляли в поверхностном слое воды 0,05 мг-экв/л, на глубине 3 м—0,07, у дна 0,08 мг-экв.

Наиболее низкая концентрация двуокиси углерода и титрационная кислотность в поверхностном слое, как и в других ламбах, относится

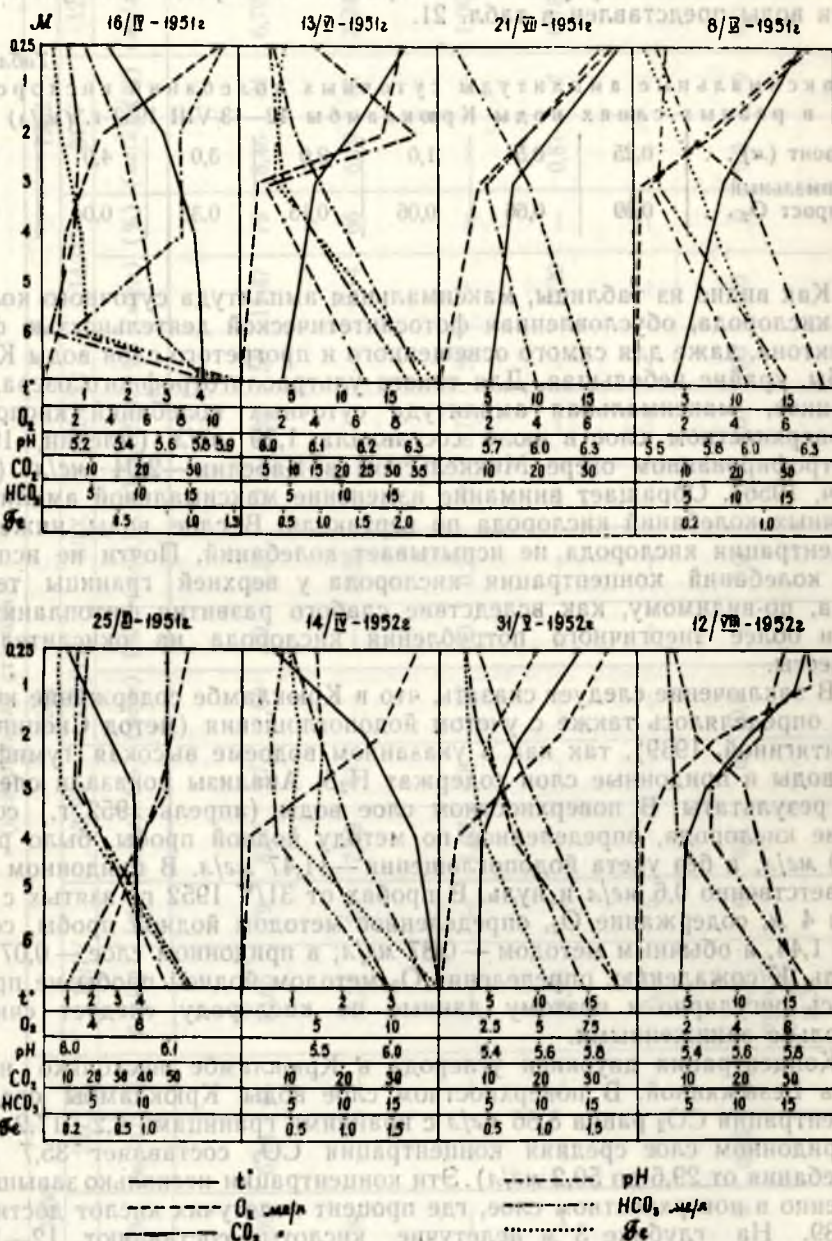


Рис. 5. Изменение содержания O₂, CO₂, HCO₃, pH и температуры в различные месяцы в воде оз. Крюк-Ламба.

к летнему времени с минимумом в июле (4,22 мг/л). Резкое увеличение концентраций CO_2 в этом слое наступает с начала полной циркуляции, вследствие выноса CO_2 из глубинных слоев (рис. 5). Высокие концентрации уголекислоты продолжают оставаться и зимой, и только к концу подледного периода снижаются параллельно возрастанию концентраций кислорода. В вертикальном распределении CO_2 в течение всего года наблюдается резко выраженная обратная стратификация (рис. 5). Летом и зимой происходит накопление CO_2 в глубинных слоях (рис. 5). В периоды циркуляций они частично освобождаются от уголекислоты. Однако придонный слой слабо затрагивается циркуляцией.

Несмотря на то, что в Крюкламбе концентрация CO_2 ниже чем в Безымянной ламбе и близка в поверхностном слое к концентрации ее в Польламбе, рН воды Крюкламбы ниже, чем в вышеназванных ламбах. Это связано с тем, что вода Крюкламбы значительно беднее гидрокарбонатами (углекислотное равновесие сдвинуто в сторону CO_2). Средняя величина концентрации гидрокарбонатного иона в поверхностном слое Крюкламбы составляет 4,25 против 8,04 в Безымянной и 15,87 мг/л в Польламбе. Вода, поступающая в Крюкламбу с водосборной площади, практически не содержит гидрокарбонатов (рН торфяной вытяжки равен ≈ 3). Однако на величину рН Крюкламбы, а следовательно, и на соотношение форм производных угольной кислоты, существенное влияние оказывает диссоциация нелетучих кислот (гуминовых), содержащихся в значительном количестве в воде Крюкламбы. РН воды Крюкламбы в поверхностном слое испытывает колебания от 5,5 до 6,4 (среднее значение — 6,0). В среднем слое (3—6 м), как и в Польламбе и по тем же причинам, рН почти в течение всего года ниже, чем в поверхностном и придонном слоях (среднее значение 5,6). В придонном слое колебания рН небольшие: в пределах 5,9—6,4 (в среднем — 6,0—6,1). Наиболее низкие значения рН в поверхностном и среднем слоях воды наблюдаются к концу зимы и в начале лета. Летом рН в поверхностном слое воды возрастает, давая максимум в июле и августе, а осенью незначительно снижается (рис. 5). В связи с повышенным количеством атмосферных осадков летом 1952 г. и соответственно большим стоком кислых вод с болотных берегов рН воды Крюкламбы в этом году был ниже, чем в 1951 (рис. 5). Как будет видно ниже, в 1952 г. было значительно выше и содержание органического вещества.

В результате осенней циркуляции рН всей толщи воды более или менее выравнивается.

Гидрокарбонатный ион в Крюкламбе испытывает колебания в поверхностном слое от 2,6 до 6,7, в среднем слое (3—4 м) от 1,7 до 4,4 и в придонном — от 9,08 до 17,43 мг/л. Таким образом, концентрации HCO_3^- в Крюкламбе очень низкие; наиболее низкие в слое воды, граничащем с придонным; самые высокие — в придонном (рис. 5). Наиболее низкие концентрации HCO_3^- в поверхностном слое наблюдались весной (май, июнь).

Гидрокарбонатный ион в основной толще воды Крюкламбы теряет свое первое место среди анионной группы (в экв. единицах). Анализ апрельских проб воды в течение двух лет, а также проб, взятых 31 мая, при спавшем паводке, показывает, что основным анионом ионного состава является сульфатный (табл. 22). Если в Безымянной ламбе сульфатный характер воды сохранялся только в течение паводка (до начала июня), то в Крюкламбе, несмотря на значительное снижение концентрации SO_4^{2-} к началу июня (с 7,20 до 4,98 мг/л), он по-прежнему оставался преобладающим (табл. 22). В самом придонном слое воды

Таблица 22

Концентрации главных ионов воды Крюкламбы
(центральная станция)

Дата взятия пробы	Горизонт (м)	Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		K ⁺ +Na ⁺		HCO ₃ [']		SO ₄ ^{''}		Cl [']	
		(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)
16/IV 1952 г.	0,3	4,11	0,205	2,15	0,177	не опр.		3,81	0,068	7,21	0,150	0,99	0,028
31/ V 1952 г.	0,3	4,14	0,207	1,64	0,135	.		2,56	0,042	4,98	0,104	1,06	0,036
	7,0(придон- ный)	7,28	0,363	2,95	0,243	.		14,14	0,232	не опр.	—	1,13	0,032
17/IV 1951 г.	0,3	не опр.	—	не опр.	—	.		4,88	0,080	5,14	0,107	0,78	0,022
	7,0	.	—	—	—	.		7,93	0,130	3,38	0,070	1,00	0,028

вследствие более высоких концентраций HCO_3^- в течение всего года преобладающим анионом является гидрокарбонатный (табл. 22). Хлоридный ион представлен в малых концентрациях (0,99—1,06 мг/л в поверхностном слое); он имеет тенденцию увеличения ко дну (до 1,34 мг/л на глубине 4 м).

Основными катионами ионного состава воды Крюкламбы являются Ca^{++} и Mg^{++} , с преобладанием кальция над магнием (в апреле $\text{Ca}^{++} : \text{Mg}^{++} = 1,9$, в мае — $\text{Ca}^{++} : \text{Mg}^{++} = 2,5$). Как и в вышеописанных ламбах, в Крюкламбе сумма мг-экв Ca^{++} и Mg^{++} больше суммы мг-экв HCO_3^- , SO_4^{--} и Cl^- (часть катионов связана с органическими кислотами). Этот избыток составляет в конце апреля 0,14 мг-экв/л, в конце мая — 0,17. В связи с этим количество Na^+ и K^+ подсчитать не удалось. Несомненно, эти катионы присутствуют в воде исследуемых ламб, поскольку коренные породы и почвы, участвующие в формировании химического состава данных вод, содержат их в значительном количестве.

По общей минерализации вода Крюкламбы близка к воде Безымянной ламбы. Так, в апреле она составляла около 21 мг/л (без Na^+ и K^+ , кремния и др. биогенных элементов), в конце мая — около 15 мг/л. Несмотря на более низкую общую минерализацию, в Безымянной ламбе и Крюкламбе кальция больше, чем в ламбах с более высокой минерализацией. Кремния в поверхностном слое воды Крюкламбы содержится до 2,5 мг Si/л. С глубиной его количество возрастает (на глубине 2 м — 3,15, 4 м — 3,4 и в придонном слое — 8,4 мг/л). Железа в поверхностном слое Крюкламбы несколько больше, чем в том же слое Безымянной ламбы; у дна — меньше. В поверхностном слое его содержание колеблется от 0,03 до 0,52, в придонном — от 0,26 до 2,48 мг/л.

Величина концентрации железа в озере связана с характером весеннего и осеннего паводков. В одни годы (1951) происходит большое поступление железа извне весной, и тогда максимальные концентрации падают на весенний период (рис. 5). В другие годы весной поступает железа меньше, его концентрации увеличиваются осенью, а затем еще больше возрастают к концу зимы. Летом и в начале осени наблюдалось наиболее низкое содержание железа.

Из минеральных форм азота наиболее значительные концентрации имеет аммонийный. В поверхностном слое они доходят до 0,3, в придонном — до 2,0 мг NH_4^+ /л. С глубиной концентрации NH_4^+ возрастают в течение всех сезонов. В сезонном распределении его в толще воды наблюдается определенная закономерность. В периоды стагнаций и особенно к концу их (апрель, август) концентрации NH_4^+ в глубинных слоях резко возрастают, причем к концу летней стагнации значительно больше, чем зимней (табл. 23). В периоды циркуляций они снижаются

Таблица 23

Концентрации NH_4^+ в воде Крюкламбы в различные сезоны (мг/л)

Горизонт (м)	1951	1952		
	16/IV	31/V	12/VIII	2/X
0,3	0,2	0,3	следы 0,4 (2 м)	0,1
4,0	0,3	0,2	0,7	—
7,0	1,5	0,5	1,2	0,5

Таблица 24

Концентрации нитратов в воде Крюкламбы (мг/л)

Горизонт (м)	1950		1951					1952
	VIII	XII	IV	VI	VII	IX	XI	IV
0,3	следы	0,025	0,20	следы	следы	0,01	0,04	0,25
2,0	0,025 (3 м)	—	0,15	—	—	следы	0,03	0,25
4,0	—	—	0,20 0,13 (6 м)	0,05	—	следы	—	0,25
7,0—7,5	0,00	следы	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

в 2—3 раза (до 0,5 мг/л у дна), а в поверхностном слое увеличиваются за счет выноса с глубинных слоев. Минимальные концентрации NH_4^+ — в поверхностных слоях во второй половине лета (август).

Нитриты в Крюкламбе определены только в апреле и августе (периоды наибольшего застоя воды) в слое металимниона. Их количества незначительны: в апреле около 0,001, в августе—0,002 мг $\text{NO}_2'/\text{л}$. В другие месяцы они отсутствовали.

Нитраты в придонном слое также отсутствуют на протяжении всего года. Процесса нитрификации вследствие полного отсутствия кислорода и низкого pH в придонном слое и в иле, по-видимому, не происходит. В верхних слоях воды Крюкламбы он также замедлен. Летом нитраты в поверхностном слое находятся в следах или вовсе отсутствуют. В среднем слое в это время они иногда определяются до 0,025—0,05 мг/л. Более уловимые количества нитратов в поверхностном слое иногда появляются в сентябре (0,01 мг/л). После осенней циркуляции содержание нитратов также несколько возрастает, оставаясь в общем довольно малым (табл. 24). Наибольшие концентрации нитратов во всей толще воды (за исключением придонного слоя) определены в конце подледного периода (табл. 24).

Несмотря на слабый процесс нитрификации и малые концентрации нитратов в воде Крюкламбы, добавление в нее нитратных солей, как показали наши эксперименты (Харкевич, 1958), не производит положительного эффекта на развитие фитопланктона. По-видимому, фитопланктон этого водоема отлично использует аммонийный азот, которого здесь достаточно.

Содержание фосфатов в Крюкламбе выше, чем в Безымянной и близко к содержанию их в Польшамбе. Как указывает Фр. Гесснер (1935), регенерация фосфатов может происходить и в стерильных условиях (хотя в присутствии бактерий она идет во много раз быстрее),

Концентрации фосфатов

Горизонт (м)	1950		1951	
	VIII	XII	IV	(м. VI)
0,3	0,008	0,019	0,015	0,005
2,0	0,009	—	0,025	—
4,0	—	—	0,027 0,096 (6 м)	0,005
7,0—7,5	0,007	0,078	0,166	0,100

а также и при недостатке кислорода. Поэтому в ламбах наблюдается заметная регенерация фосфатов и некоторое накопление их в придонном слое. Так, в Крюкламбе средняя концентрация фосфатов в придонном слое составляет 0,108 мг Р/л (колебания от 0,007 до 0,200 мг/л). К поверхности концентрация фосфатов уменьшается. Однако полного отсутствия их в Крюкламбе не установлено. В поверхностном слое концентрации фосфатов колеблются в пределах 0,005—0,025 мг/л, при этом минимальные количества определены летом в период максимального фотосинтеза, максимальные — в период частичной осенней циркуляции (табл. 25).

Несмотря на то, что фосфаты в Крюкламбе не исчезают полностью в течение всего года, а в придонном слое присутствуют в довольно больших количествах, наши экспериментальные наблюдения (Харкевич, 1958) показали, что добавление фосфатов в воду Крюкламбы производит очень хороший эффект на развитие фитопланктона и вообще микрофлоры. Еще лучший эффект производит добавление фосфатов совместно с известкованием. Таким образом, в воде Крюкламбы ощущается недостаток фосфатов, который можно объяснить, с одной стороны, слабой подвижностью водной массы, вследствие чего фосфаты придонного слоя остаются в течение вегетационного периода недоступными для использования водорослями; с другой стороны, часть фосфатов, находящихся в поверхностных слоях воды, недоступна для восприятия вследствие тесной адсорбционной связи фосфатов с гумусовыми коллоидами (Гесснер, 1933, 1935; Оле, 1935). Гесснер говорит, что рядом с теорией физиологической сухости болотной почвы можно поставить выдвинутую Науманном теорию физиологической бедности фосфатами болотной (гумифицированной) воды. Благодаря прочным адсорбционным связям фосфатов с гумусными коллоидами в период циркуляции воды вместе с органическим комплексом выпадает и часть фосфатов. Последнее нами неоднократно наблюдалось. Однако, как показали опыты Оле (1935), ионы кальция способствуют разрыхлению адсорбционной связи питательных веществ с гумусовыми коллоидами. Фосфаты становятся более доступными для восприятия. В этом и заключается положительное действие известкования маломинерализованных кислых почв, а также гумифицированных вод.

Крюкламба является самой гумифицированной из изученных ламб. Средняя величина цветности в поверхностном слое Крюкламбы составляет 175°, а перманганатной окисляемости — 25,6 мг О/л, в то время как в Безымянной ламбе средняя цветность составляла 137°, а перманганатная окисляемость — 22,9 мг/л. В придонном слое и цветность (ср. 275°), и перманганатная окисляемость (35,0 мг О/л) обеих ламб близки. В свя-

Таблица 25

в воде Крюкламбы (мгР/л)

			1952			
VII	IX	XI	IV	V	VIII	X
0,005	0,025	0,020	0,009	0,005	0,007	0,006
—	—	—	0,011	0,009	0,006	—
—	0,025	0,020	0,011	0,023	0,003	0,007
—	0,130	0,128	0,095	0,090	0,200	0,124

Сезонные изменения перманганатной (п), бихроматной (б)

Горизонт (м)	1950									1951				
	VIII			XII			IV			VI		VII		
	окисляе- мость		цветность	окисляе- мость		цветность	окисляе- мость		цветность	окис- ляе- мость	цветность	окисляе- мость		цветность
	п	б		п	б		п	б				п	б	
0,3	30,3	52,4	180	22,7	46,0	185	18,6	36,4	100	22,3	200	23,0	46,5	190
2,0—3,0	—	—	—	—	—	—	25,7	—	190	—	—	23,9	—	195
4,0	—	—	—	—	—	—	25,5	67,2	190	25,0	—	—	—	—
7,0	30,3	52,4	310	33,7	71,9	400	40,9	82,9	295	34,6	225	36,7	79,7	270

зи с более высоким содержанием органического вещества в верхних слоях воды в Крюкламбе отношение органического вещества к сумме минеральных веществ больше. Так, в июне в Безымянной ламбе органического вещества больше, чем минерального в 3 раза, а в Крюкламбе в 4 (65,5 мг/л органического и 15 мг/л минеральных веществ).

Наибольший процент органического вещества падает на группу фульвокислот (в конце мая—72, в июле—52%). Группа гуминовых кислот составляет 5% в мае (в период паводка) и 18 в июле. Истиннорастворенных органических веществ в мае определено 23, в июле—30%. Из этих данных видно, что в середине лета заметно уменьшается процент фульвокислот (на способность их к выпадению указывалось выше), увеличивается процент группы гуминовых кислот и истиннорастворенных веществ.

Содержание органического вещества ко дну возрастает. Сезонные изменения содержания и состава органического вещества можно видеть из табл. 26, где приведены данные перманганатной и бихроматной окисляемости и цветности воды. Как свидетельствует таблица, содержание органического вещества в верхних слоях воды в 1952 г. выше, чем в предыдущем, вследствие того, что в 1952 г. было больше осадков. Цветность воды Крюкламбы испытывает колебания от 100 до 220° в поверхностном слое и от 215 до 400° в придонном. Перманганатная окисляемость колеблется в пределах 8,9—31,2 в поверхностном слое и в пределах 30,3—40,9 мг О/л — в придонном.

Наиболее низкие показатели содержания органического вещества в поверхностном слое установлены в конце подледного периода. Это связано, по-видимому, с подтаиванием льда снизу, так как вся толща воды ниже двухметровой глубины имеет высокие показатели органического вещества. Сезонные колебания в содержании органического вещества в Крюкламбе слабо выражены. Однако к концу лета в его составе отмечается уменьшение доли окрашенных соединений (отношение цветности к перманганатной окисляемости падает с 8—9 в начале лета до 6,5) и небольшое возрастание количества нестойких соединений (процент перманганатной окисляемости от бихроматной снизился с 50 до 46). Весной и осенью (в периоды паводка) происходит наиболее заметное обогащение воды органическим веществом аллохтонного

Таблица 26
окисляемости (мг О/л) и цветности воды Крюклямы (°)

IX			XI			IV			V			VIII		
окисляе- мость		цветность	окисляемость перманганатная	цветность	окисляемость перманганатная	цветность	окисляе- мость	цветность	окисляе- мость	цветность	окисляе- мость	цветность	окисляе- мость	цветность
п	б						п	б			п	б		
24,7	52,9	165	26,4	170	8,9	100	31,2	62,7	160	30,5	57,1	220		
—	—	—	26,8	200	33,8	190	44,3	—	—	33,3	—	220		
25,4	56,2	180	—	—	30,8	175	—	—	170	25,6	—	225		
34,6	76,7	270	38,8	315	35,7	215	38,4	69,0	215	34,9	—	230		

происхождения. Это не дает возможности заметить частичного выпадения органического комплекса в периоды циркуляции. Однако оно должно иметь место. В противном случае концентрации органического вещества были бы значительно выше.

Глухая ламба

Отличительной чертой Глухой лампы является низкое содержание органического вещества (цветность не превышает 20°, перманганатная окисляемость не выше 7,2 мг О/л, в среднем 5,3 мг О/л) и кислая реакция воды (рН в среднем 5,70). Ламба расположена в глубокой впадине рельефа. Площадь ее водной поверхности равна 1,13 га. Площадь водосбора—0,12 км². Глубина—4—6 м. Дно топкое. Грунт представлен серым илом с очень большим количеством свежего мха. Озеро лишено притоков и стока. Оно очень сильно зарастает наплывающим с берегов ковром сфагнома с клюквой и роснянкой; почти на 1/3 уже заросло. Первоначальные берега были сухими, твердыми. Торфяной слой мохового настила, который окружает водоем, развит слабо. Поэтому вода озера не обогащается гумусовыми веществами. Незначительное повышение концентраций органического вещества происходит в паводковые периоды. Летом оно представлено преимущественно нестойким органическим веществом, перманганатная окисляемость составляет 36—38% от бихроматной. БПК₅ в поверхностном слое в июле равно 2,56 мг/л О₂. Отношение цветности к перманганатной окисляемости колеблется в пределах 2,1 (в апреле)—2,8 (летом). Газовый режим Глухой лампы более благоприятен чем в ламбах, богатых гуминовыми веществами. Дважды было установлено перенасыщение поверхностного слоя воды кислородом. Правда, оно связано не с фотосинтезом, характерным для евтрофных водоемов, а является следствием гистерезиса (осенью насыщение было 107%, весной 102). В гумусных ламбах подобного явления не наблюдалось. Летом концентрации кислорода находятся в пределах 7,6 мг/л (74—78% насыщения). К концу зимы дефицит в поверхностном слое составлял 32%. Глубинные слои, в том числе и придонный, в течение всего года содержат кислород, хотя и не в больших концентрациях: в декабре дефицит составлял 81% (содержалось 2,17 мг/л), в апреле

90% и на глубине 3 м — 86%. После осенней циркуляции у дна было 8,8 мг/л (66% насыщения). Концентрация двуокиси углерода небольшая. В поверхностном слое в среднем 4,2 мг/л: от 1,8 (после циркуляций) до 12,3 мг/л (в декабре). Летом CO_2 в поверхностном слое около 3,3—3,4 мг/л. В придонном слое значительное накопление CO_2 наблюдалось к концу зимы (с 8,4 мг/л в ноябре до 23,1 в апреле). Несмотря на низкие концентрации «свободной» уголекислоты, она все же значительно повышает концентрацию водородных ионов вследствие очень малой минерализации воды и незначительной забуференности ее. Поэтому рН Глухой ламбы испытывает колебания от 5,20 до 6,20, причем рН 6,20 определен лишь в ноябре при самой низкой концентрации CO_2 .

Концентрации HCO_3' в Глухой ламбе ничтожны. Чаше они выражаются десятными долями мг/л. Наиболее высокая концентрация HCO_3' —1,65 мг/л определена в апреле у берега. В придонном слое в это время содержание HCO_3' составляло 5,05 мг/л. В другие месяцы концентрация его у дна около 1,0 мг/л. В течение всего года вода Глухой ламбы носит ярко выраженный сульфатный характер при очень низкой общей минерализации. Перед вскрытием озера минерализация составляла 9,5 мг/л. Из этого количества 6,13 мг/л падало на SO_4'' . Преобладание сульфатного иона над другими анионами является характерной чертой болотных вод. Он образуется в процессе разложения растительных остатков (мха). Концентрация других ионов солевого состава представлена в табл. 27.

Таблица 27

Концентрация главных ионов воды Глухой ламбы
(анализ от 14 IV 1952 г.)

Горизонт (м)	Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		K ⁺ +Na ⁺		HCO ₃ '		SO ₄ ''		Cl'		E
	(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)	(мг/л)	(мг-экв)	
0,25	1,25	0,062	0,16	0,013	1,50	0,060	0,42	0,007	6,13	0,128	0,00	0,000	9,5

В Глухой ламбе, как видно из таблицы, $\Sigma \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} < \Sigma \text{HCO}_3' + \text{SO}_4'' + \text{Cl}'$. Концентрация кремнекислоты низкая (0,2 мг/л). То же можно сказать и относительно железа. Наибольшие концентрации железа, относящиеся к весеннему и осеннему паводкам, не превышают в поверхностном слое 0,08, в придонном — 0,3 мг Fe/л. Эти факты свидетельствуют о том, что в гумусных ламбах более высокие концентрации кремния и железа удерживаются в растворе благодаря образованию комплексов с органическим веществом.

Из минеральных форм азота, как и в гумусных ламбах, наибольшим количеством представлен аммонийный азот. В конце зимы в поверхностном слое он определялся в количестве 0,5, в придонном — 0,8—1,0 мг $\text{NH}_4'/\text{л}$. В июне концентрация его составляла 0,03 мг/л. В конце зимы были определены также и нитриты (около 0,002 мг $\text{NO}_2'/\text{л}$ на глубине 3 м и у берега). Хотя активная реакция воды и неблагоприятна для нитрификации, но в Глухой ламбе вследствие более благоприятных кислородных условий присутствуют и нитраты. Правда, летом они определяются только в следах, но после осенней циркуляции

в поверхностном слое обнаружены в количестве 0,03, в придонном — 0,05 мг $\text{NO}_3'/\text{л}$. К концу подледного периода концентрации их возрастают до 0,08—1,0 в поверхностном слое и 0,05 мг/л на глубине 3 м. Однако в придонном слое нитраты отсутствовали (наблюдения двух лет).

Концентрации фосфатов за период исследования колебались в пределах 0,001—0,014 мг P/л. Наиболее высокие концентрации определены в конце подледного периода. В 1952 г. как летом, так и зимой концентрации фосфатов были несколько ниже, чем в 1951 г.

Обобщение результатов сравнительного гидрохимического исследования ламб

Гидрохимическое исследование ламб отчетливо показало, что химический состав их воды тесно связан с характером водосборных площадей, которые существенно отличаются друг от друга. Так, в составе водосборной площади М. Линдаламбы представлены преимущественно лесные, пахотные угодья и заболоченные участки низинного типа. Коверламба и Польламба связаны, главным образом, с площадями типа переходных болот. В водосборной площади Безымянной ламбы и Крюкламбы преимущественное место занимают болота верхового типа. И, наконец, Глухая ламба, лежащая в твердых берегах со скалистой основой, имеет крайне ограниченную водосборную площадь, в составе которой вследствие зарастания озера значительную долю занимают участки со сфагнумовым покровом.

Характер водосборной площади прежде всего сказывается на степени гумификации воды и ее минерализации. С переходом от ламб, водосборная площадь которых представляет собой лесные и пахотные угодья, а также болото низинного типа, к ламбам с водосборной площадью типа верхового болота (через ряд переходных) возрастает степень гумификации и снижается степень минерализации воды.

Существенное влияние на гидрохимический, особенно газовый, а также температурный режим оказывают морфологические особенности ламб. Изученные ламбы имеют значительные различия в морфологическом отношении. Одни из них (М. Линдаламба, Коверламба) имеют небольшие глубины (макс. 4—5 м) при сравнительно большой площади (11,9—10 га). Индекс отношения средней глубины этих озер к их площади невысок (30—31%). Другие ламбы (Польламба, Крюкламба, Безымянная и Глухая) характеризуются большими глубинами (6,0—8,5 м) при меньших площадях (0,63—2,5 га). Индекс отношения их средней глубины к площади высок (213—792%).

Различное отношение глубин к площади озера и явилось той морфологической особенностью, которая в каждом отдельном случае создавала свои условия в формировании термики и гидрохимических особенностей ламб.

Среди исследованных ламб имеются слабо проточные (Коверламба), сточные (М. Линдаламба, Польламба) и замкнутые (Крюкламба, Безымянная, Глухая).

Летом поверхностные слои воды всех ламб нагреваются сильно (в июле до 25°). В ламбах с невысоким индексом отношения средней глубины к площади (М. Линдаламба, Коверламба) происходит прогревание всей толщи воды до дна, хотя в течение лета сохраняется прямая стратификация. Осенняя гомотермия в таких ламбах наступает к началу или середине сентября (при 13—14°). В ламбах относительно более глубоких и с меньшей площадью (Польламба, Безымянная, Крюкламба, Глухая), т. е. с высоким индексом отношения средней

глубины к площади озера, летом хорошо прогревается только верхний слой воды в 1—1,5 м (эпилимниона). В начале лета основную толщу воды занимает слой гипolimниона, а к середине и концу лета — слой температурного скачка с градиентом 7—9°. Резкая стратификация температуры выражена на каждом метре глубины. У дна температура не превышает 5,5° летом и 3,9° зимой. Ветровое перемешивание ничтожно. Осенняя гомотермия наступает поздно (октябрь). Полная циркуляция кратковременна как осенью, так и особенно весной. Придонные слои вовлекаются в циркуляцию слабо.

Подо льдом все изученные ламбы находятся в течение шести месяцев.

В связи с указанными особенностями термики в ламбах относительно более глубоких и с меньшей площадью (Польламба, Крюк-ламба, Безымянная) значительно резче, чем в ламбах менее глубоких (М. Линдаламба, Коверламба), выражены застойные явления: резкий кислородный дефицит в придонных слоях, накопление свободной CO_2 , железа, аммонийного азота, фосфатов и др.

В воде исследованных ламб присутствует различное и в большинстве случаев значительное количество органических веществ типа гуминовых. Наиболее высокое содержание их в воде Крюк-ламбы, перманганатная окисляемость которой достигает 31,2 мг О/л (в среднем 25,6 мг/л) и цветность до 220° (в среднем 175°). Близка к этому Безымянная ламба. Вода Глухой ламбы содержит наименьшее количество органических веществ. Средняя перманганатная окисляемость в ней составляет 5,3 мг О/л, а средняя цветность — 14°. Сравнительно небольшое количество органических веществ также в воде М. Линдаламбы (средняя окисляемость 10,4 мг О/л, цветность — 58°).

Органические вещества, содержащиеся в воде ламб, состоят из фульвокислот (до 60—70%), из группы гуминовых кислот (до 7—17%) и истиннорастворенных органических веществ (до 17—29%).

Общее содержание органических веществ в воде ламб в течение года подвержено некоторым колебаниям, пределы которых различны. Эти колебания значительны в ламбах с малым содержанием органических веществ и меньше в водоемах с большим количеством их. Наивысшее содержание органических веществ во всех ламбах падает на весенний период и наименьшее на конец зимы (в подледных слоях воды).

Как правило, весной и в начале лета в составе органического вещества процент коллоидно растворенных органических веществ, в частности группы фульвокислот, значительно выше. К концу лета процент группы фульвокислот снижается и повышается количество истиннорастворенных органических веществ. Данные наблюдений также показывают, что в течение вегетационного периода, повышается содержание нестойких органических веществ (по данным биохимического потребления кислорода).

Все изученные ламбы имеют низкую степень минерализации. Сумма ионов в воде самой минерализованной ламбы (М. Линдаламба) составляла в июне 45,9 мг/л, а в ламбах более богатых органическим веществом (Крюк-ламба, Безымянная) — 15,0 мг/л. В бедной органическим веществом Глухой ламбе она составляла лишь 9,5 мг/л. Изученные ламбы хорошо отличаются друг от друга как по степени своей минерализации, так и по отношению ее к общему содержанию органических веществ (табл. 28).

Как правило, с увеличением количества органического вещества наблюдалось снижение минерализации и уменьшение отношения общего

Сравнительная характеристика ламб по некоторым показателям
(для гидрохимических показателей взяты средние величины, характерные для поверхностного слоя)

Объект	Характер водосборной площади	Отношение средней глубины к площади (%)	pH	Цветность (°)	Окисляемость перманганатная (мг O ₂ /л)	HCO ₃ ' ₃ (мг/л)	Общая минерализация в ионе (мг/л)	Отношение суммы минеральных веществ к органическим	O ₂		CO ₂ (мг/л)
									(мг/л)	(%)	
М. Линдаламба	Суходол, болото низинное	31	7,2	58	10,4	25,0	45,9	2:1	10,05	81	3,6
Коверламба	Болото переходное	30	6,9	115	19,0	16,6	23,2	1:2	8,99	77	5,4
Польламба	Болото переходное	395	6,7	105	18,0	15,9	20,6	1:2	8,23	71	8,4
Безымянная	Болото верховое	792	6,3	135	22,9	8,0	16,4	1:3	7,68	66	11,3
Крюкламба	Болото верховое + переходное	213	6,0	175	25,6	4,2	15,0	1:4	9,02	70	8,9
Глухая	Болото верховое, значительное количество сфагнома	354	5,7	14	5,3	0,5	9,5	1:1	10,40	83	4,2

содержания минеральных веществ к общему содержанию органических веществ. Например, в воде оз. М. Линдаламба, для которого характерно сравнительно небольшое содержание органических веществ, сумма минеральных веществ относится к общему содержанию органических как 2 : 1, а в воде самой богатой гуминовыми веществами ламбы 1 : 3,5. Указанная закономерность объясняется различным характером питания ламб, что, в свою очередь, зависит от характера водосборной площади (табл. 28). С повышением гумификации растет значение группы органических кислот, связывающихся с катионной группой (сумма $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ становится все больше суммы $\text{HCO}_3' + \text{SO}_4'' + \text{Cl}'$).

Общее содержание минеральных веществ в воде изученных ламб в течение года подвержено колебаниям в разных пределах, как и содержание органических веществ. Эти пределы значительней в воде ламб с большим содержанием минеральных веществ. Минимальная концентрация солей во всех изученных ламбах падает на период весеннего паводка, максимальная — на зимний период. Возрастает она и к концу лета.

Во все периоды исследования преобладающим катионом в водах изученных ламб являлся кальций-ион (Ca^{++}). Преобладающим анионом в воде ламб с повышенной гумификацией (Крюкламба и Безымянная) в период лета, осени и зимы являлся гидрокарбонатный ион (HCO_3'), а в период весеннего паводка — сульфатный (SO_4''). В воде ламб с пониженным содержанием органических веществ (Польламба, Коверламба и М. Линдаламба) в течение всех периодов года преобладающим анионом был HCO_3' ; в воде Глухой ламбы — сульфатный ион (SO_4''). Указанное различие в соотношении ионов анионной группы объясняется для всех ламб различным характером питания (характером водосборной площади), а для Крюкламбы и Безымянной еще и более усиленным притоком воды с болот в период весеннего паводка. В изученных ламбах во все периоды исследований наблюдалось увеличение содержания HCO_3' ко дну, что сопровождалось увеличением концентрации железа и свободной CO_2 . Это явление имеет в основном застойный характер; возможно, в данном случае некоторую роль играет грунтовое питание.

Активная реакция воды изученных ламб при их низкой щелочности характеризовалась рН в пределах 5,0—7,55. Щелочность вод колебалась в пределах 0,001—1,15 мг-экв/л; кислотность — в пределах 0,04—1,58 мг-экв/л. При этом более низкие значения рН и щелочности и более высокие значения кислотности закономерно сопутствуют более высокому содержанию органических веществ. Для вод ламб, богатых органическими веществами и имеющих низкую минерализацию (Крюкламба, Безымянная) и для вод, бедных ими и также имеющих низкую минерализацию (Глухая ламба), характерно, как правило, преобладание кислотности над щелочностью. Для вод ламб, бедных органическими веществами и с несколько повышенной минерализацией, характерно постоянное преобладание щелочности над кислотностью (М. Линдаламба). Для вод ламб со средним содержанием органических веществ и также с несколько повышенной минерализацией характерно изменчивое соотношение кислотности и щелочности, так как в этих случаях легче сказывается влияние смены характера питания (Коверламба, Польламба).

Кислотность вод ламб, богатых органическими веществами, а также вод со средним содержанием их обуславливается значительным процентом нелетучих кислот, главным образом органических (до 39% в Крюкламбе). Остальная кислотность обуславливается свободной

CO₂. Кислотность вод ламб, бедных органическими веществами, может также обуславливаться значительным процентом нелетучих кислот (до 20%), но в данном случае главным образом неорганических (серной, Глухая ламба) или почти исключительно свободной CO₂ (М. Линдаламба). Увеличение кислотности ко дну наблюдается во всех ламбах и обуславливается накоплением главным образом CO₂.

Величина pH во всех изученных ламбах претерпевает закономерные изменения. Наинизшие значения pH во всех ламбах и во всех слоях их водных масс наблюдаются в зимний период, наивысшие — в поверхностных слоях в вегетационный период, в глубинных (и придонном) — в период осенней циркуляции, когда pH всей толщи воды почти выравнивается. В другие периоды года pH придонного слоя, как правило, ниже pH поверхностного слоя. В периоды стагнаций в ряде ламб, характеризующихся слабой подвижностью водных масс (Польламба, Безымянная, Крюкламба), наиболее низкое значение pH было установлено в среднем слое воды, на границе перехода от слоя воды, содержащего кислород, к слою воды, лишенному его. Подобное явление обуславливается окислением (в зоне появления кислорода) закисных соединений железа (в форме гидрокарбоната) в окисные, что ведет к повышению содержания свободной CO₂ и уменьшению концентрации HCO₃'. Это и сдвигает активную реакцию в кислую сторону. Кроме того, здесь энергичнее происходят биохимические процессы, сопровождающиеся выделением CO₂.

В водах ламб, богатых органическими веществами (Крюкламба, Безымянная), наивысшее значение pH — 6,5 (VII, VIII). В водах ламб с малым содержанием органических веществ и малой минерализацией (Глухая ламба) — 6,0 (IX), со средним содержанием (Коверламба, Польламба) — 7,1 (VII, IX). Наконец, в водах ламб с малым содержанием органических веществ, но более богатых минеральными веществами (М. Линдаламба) значение pH доходит до 7,55 (VII). Однако повышение значений pH в поверхностных слоях всех изученных ламб в вегетационный период крайне невелико по сравнению с наинизшими зимними значениями и измеряется лишь десятками долями. Таким образом, сколько-нибудь значительного повышения pH, зависящего от фотосинтетической деятельности фитопланктона, в ламбах не происходит.

Содержание кислорода во всех изученных ламбах с глубиной закономерно снижается. Резкость стратификации находится в прямой зависимости от морфологических особенностей ламб. Ламбы, имеющие относительно своей площади большую среднюю глубину, значительную часть года совершенно не содержат кислорода у дна (Крюкламба, Безымянная и, в значительной мере, Польламба). Большой дефицит кислорода наблюдался и в средних слоях воды этих ламб. В остальных ламбах кислородная стратификация была менее резкой. Значительные изменения в течение года претерпевает содержание кислорода. Наинизшее значение его концентраций (абсолютное и по степени насыщения) наблюдается во всех ламбах и всех слоях их водной массы зимой, а в придонном слое в течение большей части года, до момента полной осенней циркуляции. В конце зимы в поверхностном слое воды содержание кислорода значительно вырастает еще подо льдом, что объясняется аэрацией воды при подтаивании нижнего слоя льда. Наиболее низкие концентрации O₂ в поверхностном слое относятся к началу частичных циркуляций. Сколько-нибудь значительного повышения насыщенности кислорода в поверхностных слоях в вегетационный период (VI—IX), зависящего от фотосинтетической деятельности

фитопланктона, в ламбах не наблюдается. Наибольшее насыщение толщи воды кислородом отмечается к концу осенней циркуляции.

Содержание фосфатов и нитратов во всех изученных ламбах невелико. В поверхностных слоях воды фосфаты во всех ламбах в течение всего вегетационного периода находятся в концентрациях 0,003—0,009 мг Р/л. При этом в ламбах с более высоким содержанием гуминовых веществ фосфаты используются растениями меньше (в течение лета сохраняются более высокие концентрации Р, чем в ламбах с меньшим содержанием гуминовых веществ). Наибольшие концентрации фосфатов в поверхностных слоях ламб установлены в начале осенней частичной циркуляции (максимально высокая концентрация отмечена в оз. Польламба — 0,035 мг/л). В придонных слоях наибольшие накопления фосфатов происходят к концу летней и зимней стагнаций, с некоторым преобладанием к концу летней. Для ламб с низким индексом отношения средней глубины к площади (30—31, Коверламба, М. Линдаламба) наивысшие придонные концентрации не превышают 0,040 мг/л. В ламбах более глубоких, с резко выраженными застойными явлениями наибольшие концентрации фосфатов доходят до 0,200 мг/л (Крюк-ламба) и 0,385 мг/л (Польламба). Однако запасы фосфатов, имеющиеся у дна этих ламб, в период вегетации недоступны для фитопланктона вследствие крайне затрудненного перемешивания глубинных слоев воды с вышележащими. В значительной мере они не могут быть использованы и после вовлечения глубинных слоев в циркуляцию, так как для всех ламб отмечена характерная особенность — резкое снижение фосфатов во всей толще воды к концу периодов полных циркуляций, которое связано с их выпадением вместе с органическим комплексом. Нитраты в период вегетации в верхних слоях воды всех ламб находятся большей частью в следах. Осенью их количество увеличивается, но наибольшее число определено в конце зимы (0,25—0,4 мг $\text{NO}_3'/\text{л}$). Содержание аммонийного азота выше, чем нитратного. Максимальные концентрации аммонийных солей составляли в поверхностном слое воды 0,5 мг/л (IV) и в придонном — 2,0 мг $\text{NH}_4'/\text{л}$ (Безымянная и Крюкламба — VIII). Количество нитратов закономерно снижается от ламб с меньшим содержанием органических веществ к ламбам с большим содержанием. Количество аммонийного азота с повышением содержания органических веществ, наоборот, возрастает. Концентрации аммонийного азота, как и фосфатов, с глубиной возрастают во всех ламбах. Содержание нитратов в большинстве ламб падает до нуля (Глухая, Крюкламба, Безымянная, Польламба) из-за отсутствия условий для деятельности нитрифицирующих бактерий (отсутствие кислорода и низкое значение рН).

Железо (суммарное) во всех ламбах всегда находилось в хорошо определяемых количествах. Максимальное содержание его в поверхностном слое воды составляло 0,59 мг Fe/л (Коверламба, IX). С глубиной содержание железа во всех ламбах увеличивалось, достигая 1,7 мг/л в Коверламбе и 17,7 мг/л в Польламбе. Таким образом, железа в воде ламб, в зоне вегетации, достаточно, однако его концентрации не столь велики, чтобы они могли оказывать вредное действие на фитопланктон, тем более, что оно частично находится в неактивном состоянии (в комплексе с органическим веществом).

Общей гидрохимической особенностью всех изученных ламб является слабая минерализация их вод. В то же время и по степени минерализации и активной реакции воды водоемы хорошо отличаются друг от друга. Их особенностью является и то, что они ни содержат

фосфаты в количествах, которых недостаточно для нормального развития фитопланктона. Часть фосфатов не может быть целиком использована водорослями, так как находится в комплексе с органическим веществом. Некоторое накопление фосфатов у дна остается недоступным для водорослей в течение вегетационного периода. Однако и после поступления в толщу воды, в периоды циркуляций, часть фосфатов с органическим комплексом снова выпадает на дно.

Количество нитратного азота также невелико, но его недостаток в воде ламб компенсируется достаточным содержанием аммонийного азота. Таким образом, из питательных солей в воде изученных ламб в первом минимуме находится фосфор. Это было подтверждено и экспериментально.

Кремния для развития фитопланктона достаточно во всех ламбах (2—3 мг Si/l).

Фитопланктон ламб и оценка условий его развития

Различие в гидрологических и гидрохимических условиях исследованных ламб нашло свое отражение и в развитии фитопланктона в них. Прежде всего следует отметить, что из 148 видов и форм, встреченных нами во всех ламбах, только 6 видов являются общими: *Botryococcus Braunii* Kg., *Dictyosphaerium pulchellum* Wood, *Dinobryon divergens* Imhof., *Eudorina elegans* Ehr., *Gloeococcus Schroeteri* (Chodat) Zemm. и *Oedogonium* sp.

Среди остальных представителей фитопланктона некоторое количество видов встречается только в отдельных ламбах. Наибольшее количество видов встречается в нескольких ламбах, причем одни представители придерживаются воды с pH 6,0 и цветностью от 70 до 140—150°, другие живут в воде, имеющей pH 6,0 и при различном содержании органических веществ (от ничтожной гумификации до самой высокой), третьи встречены лишь в воде ламб с окрашенной водой — от М. Линдаламбы до Крюкламбы — и отсутствуют в Глухой ламбе (с ничтожной гумификацией). Так, виды *Woronichinia Naegelianiana* (Ung.) Elenk., *Coelastrum microporum* Näg., *Peridinium cinctum* (Müll.) Ehr., *Ceratium hirundinella* (O. F. Müll.) Bergh., *Synura uvella* Ehr. встречены только в М. Линдаламбе и Коверламбе, виды *Anabaena Lemmermannii* P. Richt., *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Ktz. *Melosira italica* (Ehr.) Ktz. также в Польламбе и Безымянной. И, наконец, виды *Dinobryon bavaricum* Imhof., *Mallomonas caudata* Iwanoff, *M. tonsurata* Teil. присутствуют во всех ламбах от слабо гумифицированной М. Линдаламбы до значительно гумифицированной Крюкламбы и отсутствуют лишь в Глухой ламбе. Такие виды, как *Merismopedia tenuissima* Lemm., *Quadrigula closterioides* (Bohl) Printz., *Microthamnion Kützingianum* Näg. живут только в Крюкламбе и Глухой ламбе, т. е. эти формы придерживаются низкого pH и низкой минерализации независимо от содержания органических веществ. Некоторые формы, как уже указывалось, характерны только для одной ламбы. Так, водоросль *Aphanizamenon flosaquae* (L.) Ralfs встречена и дает значительное развитие только в Коверламбе. *Chrysosphaerella longispina* Laut. встречена и дала массовое развитие также только в Польламбе. Для Безымянной ламбы характерно массовое развитие *Oscillatoria tenuis* Ag., которая в других водоемах не встречается. Только в Крюкламбе (самой гумифицированной) встречены: *Gloeocapsa minima* (Keissl.) Hollerb., которая в течение большей части лета является господствующей формой, и *Anabaena lapponica* Borge f. major I. Kiss.,

Coelastrum cambricum v. *intermedium* (Bohlin) G. S. West, *Crucigenia rectangularis* (A. Braun) Gay и *Cr. emarginata* (W. u G. S. West) Schmidle, *Euastrum affini*. Только в Глухой ламбе обнаружены рода *Pleurotenium*, *Spondilosum*, а также представитель рода *Glenodinium*, который в очень незначительном количестве встречен нами и в Безымянной ламбе.

Характерной чертой всех ламб является слабое развитие десмидиевых. Несколько большее разнообразие их наблюдается в Глухой ламбе, водоеме со сфагнумовым окружением. Это подтверждает высказывание Н. И. Гайдукова (1925), что десмидиевые — сфагнофиллы.

Общей чертой всех ламб является преимущественное развитие трех групп фитопланктона: *Chrysophyta*, *Chlorococcales* (из *Chlorophyta*) и *Cyanophyta*. В их развитии наблюдается известная периодичность. Как правило, в начале лета во всех ламбах руководящее место занимает *Chrysophyta*. На смену им в середине лета выступают *Chlorophyta* (порядок *Chlorococcales*) и *Cyanophyta*. В конце лета господствуют *Cyanophyta* (рис. 6). *Basillariophyta* хотя и представлены значительным количеством видов во всех ламбах, но их руководящей роли в планктоне не проявляется. Указанная периодичность в развитии фитопланктона ламб вполне объяснима с точки зрения имеющих в литературе данных об этом (Гусева, 1947). Более высокие концентрации железа и азота (в виде NH_4^+) весной и в начале лета обуславливают развитие в ламбах хризомонад как наиболее требовательных к этим элементам. Зеленые водоросли (*Chlorococcales*) выступают в планктоне позднее в связи с тем, что они зимуют в покоящихся стадиях и менее требовательны к железу. И, наконец, сине-зеленые появляются в планктоне во второй половине лета, так как они перезимовывают преимущественно в виде спор. Кроме того, пониженное количество железа и, по-видимому, марганца, а также некоторое возрастание концентраций азота и истиннорастворенных органических веществ является благоприятным условием для их развития в этот период. Диатомовые, которые требовательны к железу, но имеют более низкую потребность в азоте по сравнению с хризомонадами и повышенную чувствительность к большому содержанию органических веществ, имеют ограниченное развитие и в начале лета вытесняются хризомонадами. В ламбах с большим содержанием гуминовых веществ (Крюкламба) снижается развитие *Chlorophyta* и меняется качественный состав *Cyanophyta*. Так, в М. Линдаламбе, Коверламбе, Польшамбе и Безымянной господствующее положение занимают сине-зеленые нитчатки *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon* (в Коверламбе) и отчасти *Microcystis*, в Крюкламбе господствуют *Gloeocapsa* и *Merismopedia*. Однако и в Глухой ламбе (лишенной гуминовых веществ) сине-зеленые нитчатки развиты слабо, как и вообще группа сине-зеленых. В то же время в Безымянной ламбе, характеризующейся значительной гумификацией, сине-зеленые развиты хорошо как по количеству видов, так и по развитию отдельных видов. Отсюда можно предположить, что развитие сине-зеленых нитчаток ограничивается не высокой степенью гумификации, а низким рН и чрезвычайно низкой минерализацией.

Очень слабое развитие в водах, обогащенных гуминовыми веществами, имеют *Pyrrophyta*. Так, *Ceratium hirundinella* в значительном количестве встречен только в М. Линдаламбе, водоеме с невысоким содержанием гуминовых веществ и повышенной минерализацией. Однако в Глухой ламбе, где еще более низкое содержание гуминовых

веществ, но при этом низкая минерализация и низкий pH, он не встречается. Таким образом, развитие *Ceratium*, как и *Peridinium*, ограничивается не количеством гуминовых веществ, а какими-то другими факторами. Как указывает К. А. Гусева (1952), *Ceratium hirundinella* очень чувствителен к повышенным дозам марганца и недостатку фосфора. И тот и другой в данных водах могут ограничивать его развитие.

Качественный состав фитопланктона ламб может обуславливаться разнообразными факторами, так как те или иные группы водорослей (а внутри них отдельные представители) имеют различные потребности спектр. Для одних видов ограничивающим фактором является активная в определенных элементах водной среды, имеют свой экологический реакция воды, для других — избыток органических веществ и т. д. Общая ограниченность видового состава фитопланктона ламб в значительной мере связана с ограниченной водосборной площадью этих водоемов и их замкнутостью. Фитопланктон не обновляется и не обогащается другими видами.

Что касается количественной стороны развития фитопланктона ламб, то нужно сказать, что для всех ламб характерна крайне невысокая продукция его. Максимальная численность фитопланктона, собранного сетяным методом, составляет 1 млн 250 тыс. клеток в 1 л воды (М. Линдаламба, в начале сентября) и собранного отстойным методом — до 8,5 млн (Крюкламба). Однако в течение большей части лета во всех ламбах продукция сетяного фитопланктона колеблется в пределах 80—800 тыс. клеток в 1 л воды (рис. 6).

Проведенное в некоторых ламбах определение интенсивности фотосинтеза по методу Винберга (1934) отчетливо подтверждает данные о развитии фитопланктона, полученные путем подсчета клеток сетяного планктона. Интенсивность фотосинтеза крайне низкая.

Так, в конце июля 1951 г. в М. Линдаламбе, Коверламбе и Крюкламбе интенсивность фотосинтеза и общее количество клеток в 1 л воды имели следующие значения (табл. 29).

Таблица 29

	Горизонт (м)	Интенсивность фотосинтеза	Общее количество клеток фитопланктона в 1 л воды
М. Линдаламба	поверхн.	0,85 мг/л O ₂	340 350
Коверламба	"	0,94 "	227 150
Крюкламба	"	0,32 "	87 200
"	3,0	0,12 "	
"	7,0	0,00 "	

В июне 1952 г. в М. Линдаламбе интенсивность фотосинтеза в поверхностном слое составляла 0,15 мг/л O₂ на глубине 1,5 м — 0,40 и на глубине 4,5 м — 0,22. В Крюкламбе в это время интенсивность фотосинтеза характеризовалась так: для поверхностного слоя 0,57 мг/л, для глубины 4 м — 0,11 мг/л и у дна 0,08 мг/л O₂. Для сравнения приведем данные (табл. 30) по интенсивности фотосинтеза для Косинских озер: евтрофного оз. Белого и богатого гуминовыми веществами оз. Глубокого (Винберг и Яровицина, 1939; Винберг и Кузнецова, 1939).

Таблица 30

	Время исследования	Горизонт (м)	Интенсивность фотосинтеза
Оз. Белое	VII/1936	поверхн.	3,27 мг л О ₂
		0,5	2,37 .
		1,0	1,33 .
		2,0	0,71 .
Оз. Глубокое	VI/1936	поверхн.	+0,39 .
		2,0	+0,31 .
		4,0	-0,08 .
		поверхн.	+1,20 .
	VII/1936	2,0	+0,86 .
		4,0	-0,59 .

Как видно из приведенных данных, интенсивность фотосинтеза исследуемых ламб близка к интенсивности фотосинтеза в оз. Глубоком, испытывающем подток гуминовых вод, и далеко уступает интенсивности фотосинтеза в евтрофном оз. Белом.

Как указывает С. И. Кузнецов (1934), в оз. Глубоком значительно меньший запас фосфатов, чем в Белом. Он отмечает, что для развития всей микрофлоры в первом минимуме в оз. Глубоком находится фосфор.

Какие же факторы среды обитания могут ограничивать общее развитие микрофлоры в исследованных ламбах? При исследовании фитопланктона ламб установлено, что в определенные периоды отдельные формы имели довольно значительное развитие. Так, например, в М. Линдаламбе в июле насчитывалось 271 тыс. клеток *Dinobryon diwergens* Imh. В Коверламбе в начале сентября *Woronichinia Näegelianä* (Ung.) Elenk. дала до 151 тыс. клеток на 1 л воды. В Безымянной ламбе в июне *Uroglenopsis americana* Lemm. была представлена 561 тыс. клеток, *Oscillatoria tenuis* Ag. в апреле в поверхностном слое 500 тыс. клеток, а в глубинных слоях во много раз большим количеством. В Крюкламбе отдельные формы также имели значительное развитие. Например, в июне водоросли *Uroglenopsis americana* Lemm насчитывалось до 790 тыс. клеток в 1 л воды. Наблюдалось хорошее развитие водоросли *Gloeocapsa minima* (Keissl.) Hollrb. Все перечисленные формы являлись господствующими в планктоне и ограничивали развитие других форм.

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что общие условия для развития этих форм благоприятны, иначе они не смогли бы стать господствующими. Однако по сравнению с рядом евтрофных водоемов развитие фитопланктона в описываемых ламбах нельзя считать достаточно высоким. Цветения воды не наблюдалось. Отсюда следует, что более высокое количественное развитие этих форм лимитируется фактором, находящимся в первом минимуме.

Рассмотрим некоторые факторы среды исследованных ламб с точки зрения их влияния на интенсивность развития фитопланктона.

В зимний период, когда озера подо льдом, свет, как известно, является первым минимум-фактором для развития фитопланктона. Это следует отнести и к нашим водоемам. Однако вследствие того, что эти

озера богаты гуминовыми веществами, световые условия в них и летом не вполне благоприятны. В результате сильного поглощения световых лучей гуминовыми веществами прозрачность воды в Крюкламбе не превышает 1,0 м. Естественно, что как в Крюкламбе, так и других ламбах световой фактор в значительной мере ограничивает развитие фитопланктона в толще воды. Поэтому не случайно, что интенсивность фотосинтеза в Крюкламбе на глубине 3 м в 3 раза ниже, чем в поверхностном слое, а количество клеток в 10 раз меньше, чем в слое 0,5 м. На глубине 7 м фитопланктон совершенно отсутствует.

Температурный фактор в определенные сезоны года в ламбах, как и в водоемах других типов, также ограничивает развитие фитопланктона. Однако в ламбах, богатых гуминовыми веществами и с большой относительной глубиной, где эпилимнион летом ограничен полутора метрами глубины, температурные условия, как и световые, ограничивают развитие фитопланктона в толще воды. Прежде всего это касается качественного состава фитопланктона. В ламбах с малой относительной глубиной, а также и в самых поверхностных слоях ламб с большой глубиной летом температурный фактор в значительной мере ограничивает развитие фитопланктона не может.

Газовый режим ламб может отрицательно сказываться на развитии фитопланктона в глубинных слоях воды, особенно в ламбах с большой глубиной. В верхних слоях он благоприятен.

Большой дефицит кислорода вместе с низкими температурами в нижних слоях глубоких ламб оказывают косвенное отрицательное влияние на развитие фитопланктона, снижая скорость биохимических процессов и общего круговорота веществ.

По активной реакции воды все ламбы, включая самую гумифицированную, относятся к нейтральным и слабокислым (Скадовский, 1928). Поэтому активная реакция воды может ограничивать качественный состав фитопланктона и, в частности, исключать развитие организмов, которые требуют для своей жизни щелочную среду. На количественное развитие форм, обитающих в ламбах, активная реакция не может оказывать прямого отрицательного влияния.

Что касается главного ионного состава, то можно было бы думать, что в ламбах с очень низкой минерализацией и низкой концентрацией HCO_3' может ощущаться недостаток углерода. Однако, судя по тому, что при наших наблюдениях уголекислота не была полностью использована ни в одной ламбе, углерод, по-видимому, не находится в первом минимуме. То, что в Крюкламбе и Безымянной в начале лета интенсивность развития фитопланктона при более низкой концентрации HCO_3' выше, чем в середине и конце лета, когда концентрации HCO_3' увеличиваются, свидетельствует о том, что углерод не лимитирует развитие водорослей в этих водоемах. Эта же мысль подтверждается тем, что ламбы с более высокой минерализацией и, естественно, более высоким содержанием HCO_3' отличаются от ламб с низкой минерализацией и низкой концентрацией HCO_3' только качественным составом фитопланктона. По количеству клеток резкой разницы между ними провести нельзя (рис. 6). В пользу этого предположения можно привести также то, что в ряде южных водоемов Карелии (озера Крошнозеро, Миккельское и другие), по нашим наблюдениям (Харкевич, 1956), содержание HCO_3' , как и общая минерализация, ничуть не превышает значений этих показателей в М. Линдаламбе, Коверламбе и даже Польшамбе. Однако в указанных южных водоемах в течение вегетационного периода наблюдается почти непрерывное цветение воды.



Рис. 6. Количество клеток фитопланктона в ламбах в летние месяцы (тыс. на 1 л) и его распределение по группам (%):

1 — золотистые; 2 — диатомовые; 3 — зеленые;

4 — сине-зеленые; 5 — пиррофитовые.

Концентрации кальция в этих озерах определены в тех же пределах, что и в ламбах, включая самую гумифицированную (Крюкламба). Таким образом, и содержание кальция, как и вся сумма главных ионов солевого состава, также, надо полагать, не является минимум-фактором.

Из наших исследований можно сделать вывод и о том, что органические вещества ламб, представленные, как видно из вышеизложенного, главным образом гуминовыми веществами (группа фульвокислот и группа гуминовой кислоты) также непосредственно не ограничивают интенсивность развития фитопланктона. Выше уже указывалось, что даже качественное различие фитопланктона ламб в значительной мере обуславливается различными другими факторами и в меньшей мере концентрацией гуминовых веществ, растворенных в воде.

Тот факт, что фитопланктон Глухой ламбы, почти лишенной гуминовых веществ, но с низкими рН и минерализацией воды ближе всего сходен с фитопланктоном Крюкламбы, наиболее гумифицированной, а также имеющей низкие рН и минерализацию, подтверждает, что качественная сторона фитопланктона обуславливается не концентрацией гуминовых веществ. Фитопланктон Безымянной ламбы значительно отличается от фитопланктона Крюкламбы, хотя различие в содержании гуминовых веществ невелико. Однако развитие отдельных видов может ограничиваться наличием гуминовых соединений.

Еще меньше следует ожидать прямого отрицательного воздействия гуминовых веществ на количественное развитие форм, распространенных в данных водах. То же сравнение Глухой ламбы и Крюкламбы показывает, что независимо от степени гумификации развитие фитопланктона в них невысокое. О том, что гуминовые вещества не тормозят развития форм, распространенных в этих водах, говорит более высокое развитие фитопланктона в ламбах в начале лета, когда наблюдались самые большие концентрации гуминовых веществ, но озера также были богаче биогенами. Не менее важно и то, что в ламбах с высокой гумификацией (Крюкламба, Безымянная) в начале лета количественное развитие фитопланктона выше, чем в слабо гумифицированных ламбах (М. Линдаламба, Коверламба). И, наконец, упоминаемые выше озера Миккельское и Крошнозеро по количеству гуминовых веществ в воде не отличаются от М. Линдаламбы, но несравненно богаче последней фитопланктоном, а также и фосфатами.

Проведенные за последнее время работы почвоведов и агробиологов показывают, что собственно гумусовые вещества в определенных концентрациях оказывают положительное влияние на развитие растений (Прозоровская, 1936; Христева, 1947—1949; Кононова и Панкова, 1950). Отсутствие тормозящего влияния и даже некоторое стимулирующее действие гумусовых веществ (в определенных пределах) на развитие фитопланктона показали и наши эксперименты (Харкевич, 1958).

Гуминовые вещества оказывают косвенное отрицательное воздействие на фитопланктон, обладая способностью адсорбировать поверхность своих коллоидальных частиц такие важные элементы питания, как фосфор, которые в результате становятся недоступными для водорослей. Это явление освещено в литературе и наблюдалось нами при экспериментальных работах.

Исходя из вышеизложенного, мы подходим к заключению, что интенсивность развития форм, существующих в той или иной гумусной ламбе, ограничивается недостатком питательных солей — биогенных элементов. Это подтверждается целым рядом фактов. Во-первых, тем, что ряд форм развивается довольно хорошо, однако вспышки цветения

воды не наступает. Во-вторых, наиболее высокое развитие фитопланктона наблюдается в большинстве ламб в начале лета, когда еще имеется некоторый запас биогенов, накопленный в течение зимы. Затем этот запас исчерпывается. Минерализация в течение лета хотя и происходит, но в вегетационный период в ламбах с большой глубиной ее продукты из нижних слоев воды в поверхностный не поступают. Характер водосборной площади также не способствует обогащению воды питательными веществами. В результате интенсивность развития фитопланктона падает. В ламбах с небольшой глубиной (М. Линдаламба) наивысшее развитие оказалось к концу лета, когда с наступлением осенней циркуляции питательные вещества, в частности фосфаты, поступили из придонных слоев. В Польламбе наивысшую продукцию фитопланктона в конце лета также обеспечили более значительные концентрации фосфатов, которые появились в поверхностном слое в результате осенней частичной циркуляции.

И, наконец, сравнение ламб с высокопродуктивными озерами показывает их значительное отличие в содержании биогенных элементов и прежде всего фосфора.

Из биогенных элементов железо, по-видимому, не является минимум-фактором, так как его концентрации в воде ламб в период вегетации довольно высокие, хотя не настолько, чтобы могли оказывать вредное действие на фитопланктон. Добавление солей железа (в конц. $0,5 \text{ мг/л Fe}$) в воду Коверламбы не дало положительного эффекта в развитии водорослей¹. То же можно сказать и о кремнии. Что касается азота, то его содержание в форме нитратов крайне низкое, особенно в ламбах с высоким содержанием гуминовых веществ. Концентрации нитратов далеко уступают тем оптимальным дозам, которые установлены для различных групп водорослей (Гусева, 1952). Однако воды ламб содержат значительное количество азота в аммонийной форме. Причем в ламбах с более высокой гумификацией концентрации его выше. Поскольку установлено, что азот в форме NH_4^+ также успешно воспринимается водорослями, причем его требуется раз в 10 меньше, чем нитратов (Гусева, 1952), то недостатка в азоте, надо полагать, нет. Это подтверждается и нашими экспериментальными наблюдениями (Харкевич, 1958).

Таким образом, факты приводят к тому, что в минимуме находятся фосфаты. И действительно, как в период вегетации, так и в течение всего года концентрации их в поверхностных слоях воды ламб далеко не удовлетворяют потребностей водорослей. Так, максимальная концентрация для поверхностного слоя составляла $0,035 \text{ мг/л}$ (Польламба, IX), в то время, как Гусева (1952) указывает, что наилучшее развитие водорослей происходит при концентрациях фосфора $0,08\text{--}0,32 \text{ мг/л}$, а при $0,05 \text{ мг/л}$ они развиваются плохо. В ламбах в период вегетации концентрации фосфора находятся в пределах $0,003\text{--}0,009 \text{ мг/л}$. Кроме того, часть из них находится в адсорбционной связи с гумусовыми коллоидами и недоступна для водорослей. В связи с этим в ламбах с большей концентрацией гуминовых веществ нами обнаруживались несколько более высокие концентрации фосфатов ($0,007\text{--}0,009$ в Крюкламбе против $0,003 \text{ мг/л}$ в М. Линдаламбе). Некоторое накопление фосфатов в придонных слоях в ламбах с большой глубиной, происходящее в течение лета, а также зимой, как уже ука-

¹ Опыт проводился путем добавления различных питательных солей в пол-литровые бутылки с водой исследуемого водоема с последующим определением через 20 суток содержания кислорода в них (метод взят из работ И. В. Баранова, 1949а).

зывалось, остается в вегетационный период неиспользованным из-за почти полной неподвижности глубинных слоев воды. В значительной мере они не могут быть использованы и после вовлечения глубинных слоев в циркуляцию, так как попадая в благоприятные кислородные условия, часть фосфатов коагулирующими и опускающимися частицами железа и органического вещества снова увлекается ко дну. Недостаток фосфатов для развития водорослей в ламбах подтверждается и экспериментально.

Заключение по фитопланктону ламб

Общей чертой всех изученных ламб является ограниченный видовой состав фитопланктона. По количеству видов отдельные ламбы близки друг к другу (от 50 до 70). Какой-либо зависимости количества видов и форм от химических особенностей воды ламб подметить не удалось. Ограниченность количества видов в значительной мере объясняется тем, что фитопланктон не обновляется из-за замкнутости ламб и очень слабой их проточности.

В планктоне всех изученных ламб встречены следующие группы водорослей: эвгленовые, золотистые, пироксифитовые, диатомовые, зеленые и сине-зеленые. Во всех водоемах одинаково преобладают золотистые, зеленые (порядок *Chlorococcales*) и сине-зеленые. Диатомовые при некотором качественном разнообразии количественно развиты слабо.

Характерной особенностью всех изученных ламб, независимо от содержания гуминовых веществ, является слабое развитие в планктоне водорослей порядка *Desmidiaceae*.

По видовому составу фитопланктона изученные ламбы отличаются довольно отчетливо в соответствии с гидрохимическими особенностями воды ламб. Число общих видов крайне ограничено. Отмечено всего 5 таких видов: *Botryococcus Braunii* Kg., *Dictyosphaerium pulchellum* Wood, *Dinobryon divergens* Imhof, *Eudorina elegans* Ehr., *Gloeococcus Schroeteri* (Chodat) Lemm. Во всех ламбах, за исключением Глухой, общими также являются *Mallomonas caudata* Iwanoff, *M. tonsurata* Teil., *Dinobryon bavaricum* Imhof. В развитии фитопланктона изученных ламб наблюдается периодичность. Как правило, в начале лета руководящее место занимают золотистые. В середине лета на смену им выступают зеленые и сине-зеленые. В конце лета господствуют сине-зеленые. В воде ламб с пониженной минерализацией и с большим, а также и малым содержанием органических веществ (Крюкламба, Глухая) разнообразие видов и форм сине-зеленых падает, причем снижается главным образом развитие сине-зеленых нитчаток (*Anabaena*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon*).

Среди руководящих групп в планктоне массовое развитие дают обычно 1—2 вида.

Ряд из найденных в ламбах видов распространен только в водах с небольшим и средним содержанием гуминовых веществ и более высокой минерализацией, например *Woronichinia Näegelianae* (Ung.) Elenk., *Coelastrum microporum* Näg., *Peridinium cinctum* (O. F. M.) Ehr., *Ceratium hirundinella* (O. F. Mull.) Bergh., (*M.* Линдаламба, Коверламба). Другие виды, как *Gloeocapsa minima* (Keissl.), *Holterb. Anabaena lapponica* f. major I. Kiss., *Crucigenia rectangularis* (A. Braun) Gay, *Cr. emarginata* (W. u F. S. West) Schmidle встречены и дали значительное развитие лишь в ламбах с большим содержанием гуминовых веществ (Крюкламба). Только в ламбах с пониженной минерализацией и pH, независимо от содержания гуминовых веществ (Крюкламба, Глухая,

Безымьянная, Польламба), имели развитие *Merismopedia tenuissima* Lemm., *Quadrigula closterioides* (Bohl) Printz., *Microthamnion Kützingianum* Näg. Количественное развитие фитопланктона, судя по сетным сборам, а также интенсивности фотосинтеза, определяемой по методу светлых и затемненных склянок, в вегетационный период во всех изученных ламбах невысокое. Наивысшее развитие в поверхностном слое (0,25 м) наблюдалось в начале сентября в М. Линдаламбе, когда с наступлением гомотермии с придонных слоев поднялись воды, богатые фосфатами. Оно составляло 1 250 000 клеток в 1 л воды. В другое время года, а также в других ламбах в течение всего вегетационного периода количество клеток фитопланктона колеблется в пределах нескольких сот тысяч в 1 л. Лучшее развитие в более глубоких ламбах, как правило, наблюдается в начале лета. Цветения ни в одной ламбе за весь период исследований не наблюдалось. Отличаясь друг от друга по качественному составу фитопланктона, изученные ламбы мало чем отличаются по интенсивности его развития.

Анализ условий развития фитопланктона в изученных ламбах, сравнение его качественного состава и количественного развития показали, что такие факторы, как температура, общая минерализация и содержание главных ионов солевого состава, активная реакция воды, газовый режим, а также концентрация гуминовых веществ в некоторой степени сказываются на качественном составе фитопланктона, так как у различных форм свои потребности к условиям среды. Свет ограничивает распространение фитопланктона в глубинные слои.

Недостаточная интенсивность развития фитопланктона, низкая продукция его в ламбах связаны с нехваткой питательных солей, в первую очередь, фосфатов. Низкое содержание нитратов, по-видимому, не лимитирует развития, так как в ламбах достаточно аммонийного азота, который, по литературным данным, также успешно воспринимается водорослями. Эти выводы, полученные из наблюдений в природе, были подтверждены экспериментально.

ЛИТЕРАТУРА

- Алекин О. А. К изучению суточных изменений температуры воды и кислорода в Телецком озере. В кн.: Исследования озер СССР, вып. 7, 1934.
- Алекин О. А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.—М., Гидрометеиздат, 1941.
- Алекин О. А. Общая гидрохимия. Л., Гидрометеиздат, 1948.
- Баранов И. В. Гидрохимия металимниона и гиполимниона. Науч. бюл. Ленингр. ун-та, 1949, № 21.
- Баранов И. В. Гидрохимическая характеристика источников и поверхностных вод Силурийского плато Ленинградской области. «Гидрохим. мат-лы», 1949а, т. 16.
- Баранов И. В. Биогидрохимические факторы водной среды некоторых озер бассейна р. Шуи. «Уч. зап. Ленингр. ун-та», серия биолог. № 142, 1951, вып. 29.
- Винберг Г. Г., Иванова А. И. Опыт изучения фотосинтеза и дыхания водной массы озера. К вопросу о балансе органического вещества. Сообщ. 2. «Тр. лимн. ст. в Косине», 1935, № 20.
- Винберг Г. Г., Яровицина Л. И. Суточные колебания количества растворенного кислорода как метод измерения величины первичной продукции водоемов. Там же, 1939, № 22.
- Винберг Г. Г., Кузнецова З. И. Наблюдения над фотосинтезом и дыханием водной массы Глубокого озера. К вопросу о балансе органического вещества. Сообщ. 5. Там же, 1939, № 22.
- Воронков П. П., Соколова О. К. Гумусовые вещества поверхностных вод Карельского перешейка. «Тр. ГГИ», 1950, вып. 25 (79).
- Воронков П. П., Соколова О. К. Сезонные изменения состава гумусовых веществ в водах Карельского перешейка. «Тр. ГГИ», 1951, вып. 33 (87).

- Гайдук Н. М. Исследования по экологии пресноводных водорослей. «Зап. Белорусск. гос. ин-та селекции и лесного хоз.», 1925, т. 4.
- Герд С. В. О классификации олиготрофных озер Карелии. «Изв. Карело-Финск. науч.-исслед. базы АН СССР», 1947, № 12.
- Герд С. В. Озера Карело-Финской ССР и их рыбные богатства. Петрозаводск, Госиздат, 1951.
- Гусева К. А. Причины периодичности в развитии фитопланктона в водоеме. «Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы», серия биол., 1947, т. 52 (6).
- Гусева К. А. «Цветение воды», его причины, прогноз и меры борьбы с ним. «Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва», 1952, т. 4.
- Краткое руководство по химическому анализу воды в экспедиционных условиях. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1946.
- Кононова М. М., Панкова Н. А. Воздействие гумусовых веществ на рост и развитие растений. ДАН СССР, серия 23, 1950, 5.
- Кузнецов С. И. Сравнительное изучение азотного, фосфорного и кислородного режима Глубокого и Белого озер. «Тр. лимн. ст. в Косине», 1934, № 17.
- Кузнецов С. И., Сперанская Т. А., Коншин В. Д. Состав органического вещества иловых отложений различных озер. Там же, 1939, № 22.
- Мельянцева В. Г. Влияние дистрофикации водоема на ихтиофауну. «Труды первой научной сессии Карело-Финского государственного университета, 1947», Петрозаводск, Госиздат, 1949.
- Пельш А. Д., Чернов В. К. Фитобиологическое обследование озер южной Карелии в связи с поисками диатомитов. «Уч. зап. Ленингр. ун-та». Серия биол., № 30, 1939.
- Прозоровская А. А. Влияние гуминовой кислоты и ее производных на поступление азота, фосфора, калия и железа в растение. Сб. НИУФ, 1936.
- Скадовский С. Н. Активная реакция среды в пресных водоемах и ее биологическое значение. «Тр. Звенигородской гидрофизиол. ст.», 1928, т. 1.
- Скопинцев Б. А., Митягина О. К. Метод йодной пробы при определении растворенного в воде кислорода в присутствии в воде восстановителей. «Ж. прикл. хим.», т. 12, 1939, № 8.
- Скопинцев Б. А. О соотношении между кислородом окисляемости, органическим углеродом и общим содержанием органического вещества в природных водах. «Гидрохим. мат-лы», 1950, т. 18.
- Скопинцев Б. А. Органическое вещество в природных водах (водный гумус). «Тр. океаногр. ин-та», 1950а, вып. 17(29).
- Фатчихина О. Е. Метод определения окисляемости воды хромовой смесью. «Гидрохим. мат-лы», 1948, т. 15.
- Чернов В. К. Материалы к познанию фитопланктона озер, расположенных в районе Бородинской пресноводной биологической станции. «Тр. Бородинской пресн. биол. ст.», 1927, т. 5.
- Харкевич Н. С. Некоторые данные о влиянии гуминовых веществ на развитие фитопланктона. «Тр. Карельского филиала АН СССР», 1958, вып. 8.
- Харкевич Н. С. Гидрохимическая характеристика Миккельского озера и Крош-нозера. Там же, 1956, вып. 2.
- Христева Л. А. Влияние гуминовых кислот на рост растений при различном соотношении питательных веществ в начале развития. «Докл. ВАСХНИЛ», 1947, № 10.
- Христева Л. А. К вопросу о природе воздействия гуминовых кислот на растения. Там же, 1948, вып. 6—7.
- Христева Л. А. Влияние гуминовых кислот на развитие корней у различных сельскохозяйственных растений. Там же, 1949, вып. 8.
- Gessner Fr. Nährstoffgehalt und Planktonproduktion in Hochmoorblänken. Arch. f. Hydrobiol., 25, 1933.
- Gessner Fr. Nitrat und Phosphat im dystrophen See. Arch. f. Hydrobiol., 27, 1934.
- Gessner Fr. Phosphat und Nitrat als Produktionsfaktoren der Gewässer. Verh. Internat. ver. f. Limnol., 7, 1935.
- Ohle W. Organische Kolloide und ihre Wirkung auf den Stoffhaushalt der Gewässer. Naturwissenschaften, 23, Hf. 26—52, 1935.