

ГИДРО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ
СОЮЗА СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

X
ТРУДЫ
ЛИМНОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ
В КОСИНЕ

и 418

15

ARBEITEN DER LIMNOLOGISCHEN STATION ZU KOSSINO
DES HYDROMETEOROLOGISCHEN KOMITEES DER U.S.S.R.

МОСКВА—MOSKAU
ИЗДАНИЕ ЛИМНОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ В КОСИНЕ
1932

Термика донных отложений Белого озера в Косине.

Л. Россолимо.

Изучение температурного режима Косинских озер в течении ряда лет¹⁾, привело нас к убеждению, что для полного понимания термических особенностей водоема, и главным образом, отдельных моментов годового цикла, необходим учет температурного режима донных отложений. Как можно было уже предполагать по некоторым отдельным нашим наблюдениям 1925 и следующих годов, и как это с полной очевидностью явствует из работ Висконсинской Лимнологической Лаборатории²⁾, теплообмен между водной массой и донными отложениями играет совершенно определенную роль в тепловом бюджете и должен учитываться при изучении последнего. Кроме того суммарного эффекта, который нам дает учет теплообмена донных отложений, увеличивая размер теплового бюджета водоема в целом, изучение термики донных отложений важно, главным образом, в том отношении, что целиком объясняет такое явление, как например, зимнее потепление озера. Это явление приобретает особое значение в условиях средних и северных частей СССР с длительным зимним подледным периодом и играет важную роль в определении „климата“ озер. Весьма поучительны в этом отношении наблюдения Шостаковича³⁾ на озере Сардонах, лежащем у полюса холода северного полушария (у Верхоянска) и имеющего всю зиму температуру 4°—5°, очевидно благодаря поступлению в водную массу тепла со стороны донных отложений.

Помимо того интереса, который имеет изучение теплообмена донных отложений, для разрешения проблемы термики замкнутого водоема, явления теплообмена между дном и водной массой важны еще и потому, что они лежат в основе некоторых гидрологических явлений в озерах. Сюда мы должны отнести придонные токи, возникающие после падения температуры воды ниже 4°, вследствие поступления тепла из донных отложений в придонный слой и уве-

1) Л. Россолимо. Термика Косинских озер. Тр. Косинской Биолог. Ст. Вып. 10, 1929—30.

2) Birge E. A second report on limnological apparatus. Trans. Wisconsin Academy. 20. Madison, 1922.

Birge, E. Juday C. and March, N. The temperature of bottom deposits, of lake Mendota. Ibid. 23, 1928.

3) В. Шостакович. Температура воды одного полярного озера. Зап. Имп. Ак. Наук по Физ.—мат. отд. Т. XX № 9, 1907.

личения его плотности. Впервые существование этих токов было предположено Birge (l. c.), а в дальнейшем широкую известность в лимнологии приобрели теории Alsterberg¹⁾ о значении этих токов в распределении в озере гидрохимических факторов.

Наконец следует отметить то важное значение, которое несомненно имеет тепловой запас в донных отложениях, в отношении биологических процессов, протекающих на дне водоема. Этот момент до сих пор биологами не учитывался.

Термические особенности донных отложений отмечались неоднократно многими авторами, обычно на основании косвенных наблюдений, заставлявших предполагать наличие здесь запасов тепла в зимний период. По поводу происхождения этих запасов тепла высказывались различные предположения, которые теперь для нас могут иметь лишь исторический интерес.

Единственными до сих пор систематическими данными по термике донных отложений, являются результаты многолетних работ на озере Мендота, опубликованные в двух упомянутых работах Birge and Juday. Этот исключительной ценности материал был собран при помощи прибора специальной конструкции, основанной на применении электротермометров. При помощи этого инструмента можно было проследить температуру в слое донных отложений мощностью в 5 м.

Намерение доставить промеры температуры донных отложений попутно с температурными наблюдениями на Белом озере, натолкнулось на ряд технических затруднений. Сооружение такого прибора, каким пользовались Birge and Juday, выходило за пределы наших материальных возможностей, а потому необходимо было изыскивать иные пути получения нужных нам данных. Значительная рыхлость илов Белого озера, как показал ряд опытов, позволяла применить для нашей цели обыкновенный опрокидывающийся термометр Рихтера, в виде упрощенного типа. В таком виде термометр погружался в ил до 0,5 м, и мог быть опрокинут в момент вытаскивания из ила. Однако эта глубина погружения в ил была слишком недостаточной и путем утяжеления рамы полоской свинца удалось достигнуть проникновения термометра в ил до 1,0—1,2 м, в наиболее глубоких частях озера, где залегают наиболее рыхлые илы. Хотя эта величина и далеко не достигает того, чего удалось достигнуть американским лимнологам, все же промеры температуры в 1-метровом слое донных отложений могли дать небезинтересные результаты. Так как в наши задачи входило последовательное измерение температуры, то очень важно было точно знать глубину погружения термометра; при большом температурном градиенте неточность погружения термометра давала заметные отклонения отсчета. Если зимой, работая со льда и точно зная глубину места, удавалось, точно разметив лунку, получать хорошие результаты, то летом с лодки это оказывалось совершенно невозмож-

¹⁾ Alsterberg, G. Die Sauerstoffschichtung der Seen, Botaniska Notiser 1927.
" " Neue Beiträge zur Sauerstoffschichtung der Seen. Lund 1927.

ным. Поэтому необходимо было снабдить термометр приспособлением, которое автоматически устанавливало бы его на определенной глубине погружения в ил. После испытания и проверки нескольких систем, мы остановились на следующей конструкции, позволявшей делать достаточно точные промеры через каждые 10 см. до глубины 1, 2 м. на рыхлых илах и до 0,5 м. на более плотных. Применявшийся нами прибор изображен на рис. 1. К нижнему концу латунной полосы длиной около 130 см. при помощи шарнира прикреплялась металлическая оправа термометра от упрощенной рамы, а к верхнему концу полосы, также на шарнире, латунная пластинка (А), сквозь один конец которой был пропущен лить, прикрепленный к нижней части прибора, а другой конец соединен цепочкой с размыкателем оправы термометра (В). Опрокидывание термометра достигалось при помощи посыльного груза, ударявшего по одному концу пластинки А. К нижней части латунной полосы прикреплялся свинцовый груз (С). Погружение термометра в ил до определенной глубины достигалось при помощи пары рамок (Д) диаметром около 20 см., на которые была натянута густая латунная сетка. Пара рамок могла перемещаться и прикрепляться к латунной полосе на различных расстояниях от резервуара термометра. Положение рамок, опиравшихся на поверхность ила при опускании прибора, определяло собой погружение термометра. Опрокидывание термометра совершалось при помощи посыльного груза, но при этом очевидно переворачивание происходило не в момент удара посыльного груза о прибор, а при вытаскивании термометра из ила. Если последнее совершалось достаточно быстро, то при этом показание термометра не успевало сколько-нибудь заметно измениться.

В таком виде прибор был вполне удобен в обращении и давал достаточно точные результаты, но к сожалению в небольшой сравнительно толще донных отложений.

Наблюдения над температурой донных отложений были начаты нами в конце 1928 года и до 1930 г. велись с перерывами. С октября этого года удалось поставить регулярные наблюдения и провести их в течение года, т. е. до ноября 1931 г. подекадно, лишь с некоторыми незначительными пропусками.

Наблюдения обычно производились в постоянных пунктах по линии, пересекающей озеро с юго-запада на северо-восток через наибольшие глубины. До октября 1930 г. промеры делались в вось-

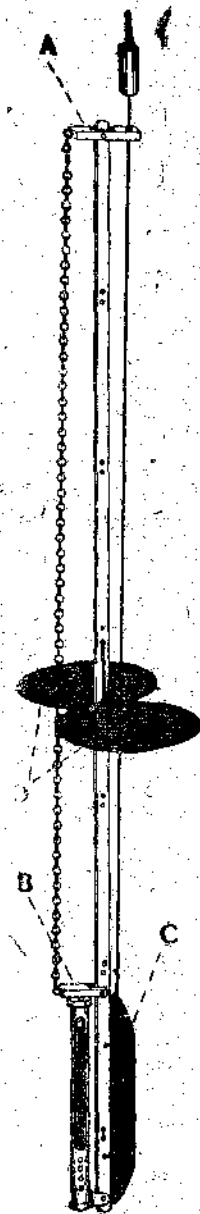


Рис. 1. Термометр приспособленный для измерения температуры доных отложений.

ми пунктах по линии от одного берега до другого, а в дальнейшем мы ограничились только четырьмя пунктами от юго-западного берега до середины озера. Выбор пунктов был сделан в соответствии с рельефом дна озера и залеганием основных типов донных отложений. Первый пункт был установлен на глубине 3—3,3 м. в области незначительного падения дна и залегания сравнительно более плотного ила с большой примесью песка. Второй пункт был расположен на глубине 5—5,3 м. в том месте, где более отлогое дно озера переходит к более кругому падению. Ил здесь более рыхлый и без примеси песка. Третий пункт на глубине 8—8,5 м. соответствовал наиболее кругому падению дна в области центральной котловины озера. Четвертый пункт был взят на месте наибольших глубин 12—13 м. Донные отложения в третьем и четвертом пунктах представляли собой очень рыхлый ил.

К сожалению, вследствие возрастающей плотности ила к берегу, на каждом из четырех пунктов глубина возможного погружения термометра оказывалась разной: так, в 4-м пункте промеры делались до глубины 1,0 м., на 3-м до 0,8 м., на 2-м до 0,6 м. и на 1-м— всего до 0,4 м. Эти глубины можно было бы несколько увеличить, однако при этом не было полной уверенности, что термометр достигает намеченной глубины, и был риск получить неверный промер, поэтому мы ограничивались указанными глубинами промеров.

В каждом пункте делалась серия промеров от поверхности ила вглубь с интервалами 0,2 м., таким образом на 1—4 пунктах серии состояли соответственно из 3, 4, 5, и 6 промеров. Промеры на всех 4-х пунктах делались в один день и сопровождалась вертикальной серией промеров температуры воды в 4-м пункте, т. е. на месте наибольшей глубины озера.

Весь полученный нами цифровой материал приводится в таблицах в конце работы.

Как видно из этого, наши данные являются далеко не исчерпывающими для суждения о термике донных отложений. Главные недостатки материала это, во-первых ограниченность того слоя донных отложений, который был доступен наблюдениям, что особенно заметно для мелководных частей озера, во-вторых, мы имеем всего лишь один полный годичный цикл наблюдений. Необходимо указать на одну особенность материала, относящегося к 1930—31 г., обусловленную тем, что весенняя циркуляция 1931 г. выпала вследствие известной комбинации метеорологических факторов. Благодаря этому ход теплопоглощения донными отложениями весной приобрел несколько своеобразный характер.

Имея такой ограниченный материал, особенно трудно получить величину теплового бюджета донных отложений, однако, использование данных по озеру Мендота значительно облегчает нашу задачу. Основное требование, которому должны удовлетворять данные, пригодные для расчета теплового бюджета, это чтобы промеры достигали такой глубины, где затухают годовые колебания температуры. Американские авторы, хотя и имели возможность де-

дать промеры до 5 м., все же не достигали горизонта полного затухания годовых колебаний, и даже в пункте наибольшей глубины озера на 5 м. в илу эти колебания достигают почти 1°. Этим обстоятельством однако авторы сочли возможным пренебречь, ибо, действительно, температурные колебания в глубоких слоях ила слишком незначительны, чтобы оказать заметное влияние на величину теплового бюджета. Данные по озеру Мендота показывают, что во всех четырех пунктах, где делались постоянные промеры, около 50% тепла, составляющего годовой бюджет 5-метрового слоя, приходится на верхний 1-метровый слой.

В расчетах тепла мы пользовались приемом американских авторов, выражая его в калориях на столб ила сечением в 1 см, и высотой, равной глубине промеров. Теплоемкость ила мы принимали также, как американские авторы, равной таковой воде. На тех пунктах, где промеры не достигали глубины 1 м., необходимо было прибегнуть к экстраполяции.

Годовой бюджет на всю поверхность дна Белого озера для слоя 0—5 м. = 2.460. Cal.

Станция, Station	Для слоя 0—1 м. Für den Schicht				Для слоя F. d. Schicht 0—5 м.	
	Годовой минимум, Jahresminimum		Годовой максимум, Jahresmaximum		Бюджет, Budget	Бюджет, Budget
	Дата, Datum	Cal.	Дата, Datum	Cal.	Cal.	Cal.
3,5 м.	25 XI—30	200	10 VIII—31	1.880	1.480	2.960
5,5	25 XI—30	385	10 VIII—31	1.440	1.055	2.110
8,5	25 XI—30	394	24 IX—31	967	563	1.125
13	25 XI—30	485	24 IX—31	867	432	885

Из этой таблицы видно, что годовой бюджет 1-метрового слоя донных отложений Белого озера обнаруживает большое сходство с тем, что получено для озера Мендота, как в отношении абсолютных величин, так и распределения количества тепла по глубинным зонам озер. При этом очевидно должны быть учтены различия глубин и размеров озер, и главное, различие таких особенностей термики, как положение металимниона. Пункты 3,5, 5,5, 8,5 и 13 м. на Белом озере будут соответствовать в их соотношении с термическими зонами озера, пунктам 8, 12, 18 и 23 м. озера Мендота. Это сходство дает известное основание считать, что и в Белом озере тепловой бюджет 1-метрового слоя составляет также около 50% бюджета 5-метрового слоя. В последней графе приведенной таблицы мы помещаем эти величины, полагая, что они дают приближенное представление о годовых бюджетах тепла в известных пунктах донных отложений. Очевидно, эти величины несколько уменьшены, поскольку и ниже 5 м. имеют место некоторые колебания температуры. На этих данных может быть построена кривая распределения величин годовых бюджетов по глубинам и вычислен годовой бюджет донных отложений озера в целом.

Эта величина для Белого озера составляет около 2500 Cal на 1 кв. см. поверхности дна. Принимая годовой бюджет водной массы Белого озера равным 8.000 Cal (см. Россолимо 1, с.) (на столб высотой равной средней глубине озера и сечением в 1 кв. см.), и прибавляя к этому 2.500 Cal, получаем годовой бюджет озера в целом равным 10.500 Cal на 1 кв. см. его поверхности. Таким образом годовой бюджет донных отложений составляет около 24% общего годового бюджета озера.

Сопоставляя эти данные с величинами теплообмена озера Мендота, где общий годовой бюджет (вода+донные отложения) составляет 25000—26000 Cal, а годовой бюджет донных отложений — 2.000 Cal, т.е. около 8% первого, мы видим, что в озере Мендота значительно более крупном и глубоком (ок. 25 м.), годовой бюджет водной массы в три раза более, годовой же бюджет донных отложений на одну пятую менее, чем в Белом озере. Это первое сопоставление показывает, что годовой бюджет донных отложений стоит в известном соотношении с глубиной водоема. Несомненно, что это соотношение определяется не только глубиной, но и другими морфологическими особенностями озера, как развитие глубинных зон водоема, выражаемое батиграфической кривой.

Дальнейший анализ данных по озерам Белому и Мендота позволяет сделать еще один небезинтересный вывод о соотношении бюджетов водной массы и донных отложений. В определении этой зависимости существенным элементом морфологии водоема является соотношение между объемом водной массы и поверхностью дна. Если исходить из допущения, что поверхность дна озера равна его водной поверхности, а это допущение делается при всех морфометрических работах и при расчетах тепла донных отложений Birge and Juday и нами, то это соотношение выразится величиной средней глубины водоема. Эта величина для Белого озера равна 4,15 м., а для озера Мендота равна 12,1 м.. Таким образом, мы видим, что средние глубины озер почти точно обратно пропорциональны процентному отношению бюджета донных отложений к годовому бюджету водоема в целом (вода+донные отложения) обоих озер.

Очевидно, что данных по двум озерам, которыми мы располагаем до сих пор недостаточно для утверждения общего положения, что процент общего годового бюджета озера, падающий на донные отложения, обратно пропорционален его средней глубине.

Кроме чисто морфологических особенностей водоема, известную роль в этом отношении должен играть и ряд других моментов. Наперед можно сказать, что длительность подледного периода, в частности, ранний ледостав ведут к уменьшению величины бюджета донных отложений, так как при этом рано приостанавливается теплоотдача и зимний минимум не достигает столь низких температур. Очевидно, имеют значение и свойства донных отложений, но для суждения об этом мы не располагаем никакими данными.

Помимо того интереса, который представляет собой изучение теплообмена донных отложений с точки зрения выяснения его удельного веса в теплообмене водоема в целом, большое значение

имеет изучение распределения величин и фаз прихода—расхода тепла по отдельным глубинным зонам водоема. Значение этой стороны теплообмена донных отложений далеко выходит за пределы чисто термической проблемы и может дать разъяснение для некоторых явлений перемещения водных масс в водоеме, биологических особенностей и распределения донного населения и т. д.

Неоднородность отдельных глубинных зон водоема в отношении объема и фаз теплообмена является весьма осложняющим моментом в изучении термики донных отложений по сравнению с таковой водной массы. В последнем случае, если водоем не настолько велик, что отдельные части его поверхности могут находиться в различных метеорологических условиях, мы основываем наши расчеты на том, что вся поверхность водоема однородна в отношении

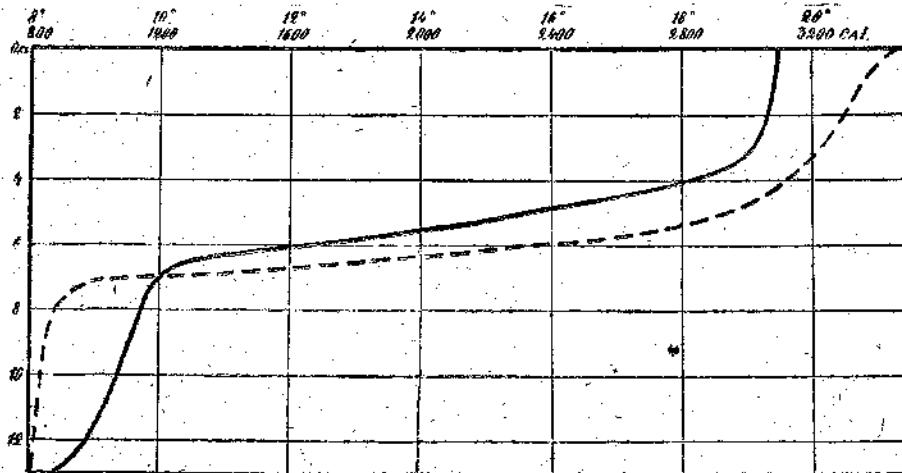


Рис. 2. Abb. 2. — Кривая распределения годовых бюджетов донных отложений по глубинным зонам Белого оз. — — — — — Кривая вертикального распределения температуры воды 10 VIII—31 г.

объема и фаз теплообмена. Совершенно иное мы имеем для теплообмена донных отложений, где части поверхности дна по глубинным зонам отличаются и объемом теплообмена и сроками наступления и длительностью фаз теплоотдачи и теплопоглощения и разницей температур ила и прилегающего слоя воды. Очевидно, что для того, чтобы получить достаточно полную картину распределения всех этих особенностей для отдельных частей дна, необходимо иметь серии температурных промеров в илу в достаточном числе пунктов. Наши постоянные наблюдения, как это уже говорилось, велись в четырех пунктах и, кроме того, были сделаны дополнительные промеры. Эти последние показали, что все стороны термики данной глубинной зоны б. и м. одинаковы во всех частях озера.

На основании данных промеров в четырех пунктах мы даем кривую распределения годовых бюджетов по глубинам, (рис. 2), которая с известным приближением позволяет найти эти величины для любой глубинной зоны озера. На том же графике мы даем кривую вертикального распределения температуры в водной массе Белого озера 10/VIII—31 г., т. е. в экваториальный период. Сопоставление этих

кривых показывает, что распределение величин бюджета по глубинным зонам обнаруживает значительное совпадение с расположением термических зон озера в период максимального развития летней стагнации. Это совпадение является очевидно не случайным и показывает зависимость теплового бюджета донных отложений от распределения тепла в водной массе озера.

Сопоставление кривых позволяет сделать еще один вывод важный в практическом отношении. Годовой бюджет донных отложений Белого озера, по нашим расчетам равный 2,500 Cal , соответствует по кривой бюджету глубинной зоны 4,5—5 м. Эта глубине соответствует положение верхней границы металимина в эквипермальный период.

Очевидно, эти выводы должны рассматриваться, как предварительные и нуждающиеся в проверке и подтверждении. Мы решаемся их делать потому, что они могут послужить отправной точкой для дальнейших исследований в области термики донных отложений, которые при современном состоянии лимнологии должны ставиться наряду с исследованиями термики водной массы и рассматриваться, как безусловно необходимое их дополнение.

Наши наблюдения, охватывающие только один полный годичный цикл и дополненные некоторыми отрывочными данными за другие годы, все же позволяют уяснить основную схему теплообмена между донными отложениями и водной массой. Особенно важным является определение момента наступления и длительности фаз теплопоглощения и теплоотдачи донных отложений для различных глубинных зон. Полученные результаты несколько осложнены тем обстоятельством, что в год наших наблюдений выпал период весеннего перемешивания всей водной массы озера вследствие особых метеорологических условий, и поэтому весеннего прогрева глубоких частей дна в этом году не было.

Рассмотрение годичного цикла фаз теплообмена донных отложений наиболее удобно начать со второй половины периода осенней циркуляции, когда температура водной массы упала до 5—6°. В это время озеро находится в периоде интенсивного перемешивания и непрерывного, равномерного охлаждения; теплоотдача донных отложений идет также равномерно по всему дну; кривые вертикального распределения температуры в илу на всех четырех пунктах имеют более или менее сходный вид, и изотермы донных отложений располагаются почти параллельно поверхности дна (см. рис. 3).

Такое состояние продолжается до момента ледостава, и температура поверхностных слоев донных отложений будет падать параллельно с падением температуры водной массы и в зависимости от метеорологических условий достигать очень низких значений — до долей градуса. После ледостава, когда перемешивание и охлаждение водной массы приостанавливается, в теплоотдаче и распределении температур донных отложений наступают заметные изменения.

В течение всего подледного периода теплоотдача со стороны донных отложений не прекращается, но темп ее за этот период заметно понижается. Об этом достаточно убедительно говорит умень-

шение температурного градиента донных отложений в течение зимы. Это же уменьшение градиента говорит о том, что несмотря на замедление теплоотдачи в воду, поступление тепла из более глубоких слоев донных отложений в поверхностные продолжается, т. е. во время всего подледного периода идет мобилизация тепла снизу вверх, превышающая теплоотдачу верхних слоев в воду, благодаря чему температура поверхности дна все время повышается (рис. 4 и 5).

С момента ледостава равномерность распределения тепла в донных отложениях нарушается; в разных глубинных зонах озера мы находим разные температуры донных отложений, и изотермы последних становятся непараллельными дну.

Анализ серий температурных замеров донных отложений и сопоставление с распределением тепла в водной массе позволяют установить следующее. Температура поверхностных слоев донных отложений от мелководных частей озера к максимальным глубинам возрастает, а градиент, наоборот, уменьшается, т. е., иными словами, в более глубоких частях озера мы имеем более интенсивное накопление тепла в поверхностных частях донных отложений, чем в мелководных. Это показывает, что мелководные части дна отдают водной массе больше тепла, чем глубоководные. Для объяснения этого явления можно было бы предположить, что теплопроводность донных отложений и их способность отдавать тепло водной массе в разных зонах неодинакова. Однако, такое предположение едва-ли может считаться обоснованным, т. к. исследования Birge and Juday показали, что теплопроводность грунтов разных глубин озера колеблется незначительно.

Картина распределения тепла в водной массе озера после ледостава показывает, что прогрев начинается с самых глубоких частей и постепенно распространяется вверх.

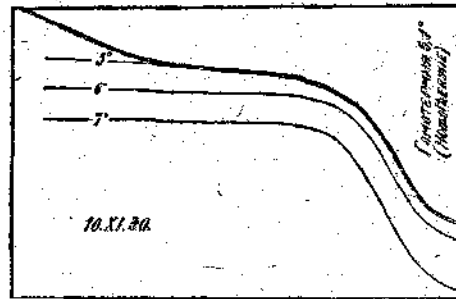


Рис. 3. Abb. 3.

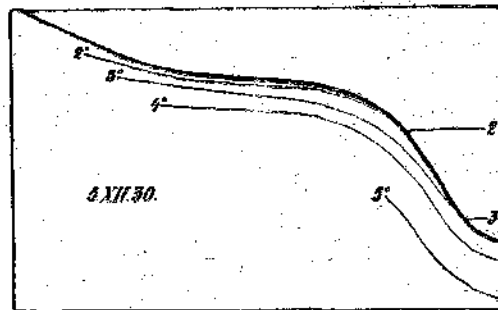


Рис. 4. Abb. 4.

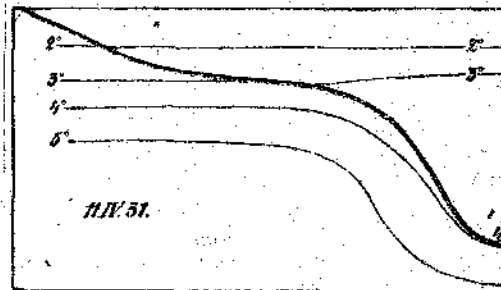


Рис. 5. Abb. 5.

Это сопоставление распределения тепла в различных частях донных отложений и водной массы приводит нас к выводу, что мелководные части дна отдают больше тепла, а прилегающие части водной массы имеют более низкую температуру, чем в более глубоких частях, где дно отдает тепла меньше. Это кажущееся парадоксальным положение может быть удовлетворительно объяснено возникновением в озере в этот период специфических токов, обусловленных теплообменом между донными отложениями и водной массой. Существование этих токов, нисходящих от мелководных частей озера к максимальным глубинам, было сперва предположено Birge and Juday, а затем использовано Alsterberg (l. c. и там же¹⁾ для объяснения своеобразных особенностей стратификации кислорода в некоторых озерах.

Более или менее равномерно охлажденная водная масса (ниже 4⁰) непосредственно после ледостава получает тепло со стороны донных отложений, которые в это время, как уже указывалось, имеют более или менее одинаковую температуру во всех частях дна. При этом возникает более теплый придонный слой, который благодаря своей большой плотности, будет стремиться скатываться по дну к наиболее глубоким частям озера. Здесь, таким образом, будет скопляться более теплая вода, к мелководным же частям дна будут непрерывно притекать все новые и новые массы холодной воды. При этом совершенно устраняется противоречие в соотношении содержания тепла в различных частях донных отложений и водной массы, и понятной становится более интенсивная теплоотдача мелководных частей дна по сравнению с глубоководными.

Выше говорилось, что теплоотдача со стороны донных отложений продолжается в течение всего подледного периода.

К этому нужно добавить, что уже к середине февраля, т. е. за 2—2½ месяца до вскрытия озера, теплоотдача становится едва заметной и можно говорить о наступлении термического равновесия между донными отложениями и водной массой, сохраняющегося в течение всей второй половины подледного периода. Характерным показателем этого состояния является очень незначительный температурный градиент донных отложений во всех частях дна, достигающий наиболее низких величин к концу подледного периода. По данным 3 V—29, он составлял в среднем всего около 0,1° на 10 см.

Последующий после вскрытия озера период связан с резкими изменениями в термике донных отложений. К сожалению, как говорилось уже выше, год наших непрерывных наблюдений оказался ненормальным в отношении термики водной массы озера, так как вследствие особых метеорологических условий выпал период весеннего перемешивания, и нижние слои озера остались непрогретыми.

Для суждения о нормальном ходе термических изменений донных отложений весной мы воспользовались данными предшествовавшего 1930 года, данные же 1931 г. рассмотрим ниже, так как они сами по себе представляют известный интерес.

¹⁾ Rossolimo, L. Zur Frage der Sauerstoffsichtung der Seen. Arch. f. Hydrobiologie, Bd. XIX, 1928.

Еще за некоторое время до освобождения озера от льда, последний начинает оттаивать у берегов и в этой освобожденной от льда части литорали начинает замечаться прогрев донных отложений в то время, когда в остальных частях дна еще никаких изменений не происходит.

С момента освобождения озера от льда и наступления перемешивания и прогрева всей водной массы, поверхностные слои донных отложений начинают быстро и более или менее равномерно прогреваться во всех частях дна. Количество тепла, поглощаемое донными отложениями в период весеннего перемешивания, зависит от длительности этого периода и от температуры, которую приобретает вся водная масса к концу его. Форма кривых вертикального распределения тепла в донных отложениях показывает, что некоторое время существует на известной глубине слой с наименьшим содержанием тепла, ниже которого слои имеют более высокую температуру, сохраняя прошлогодний запас тепла, и выше которого лежат слои, прогретые новым притоком тепла.

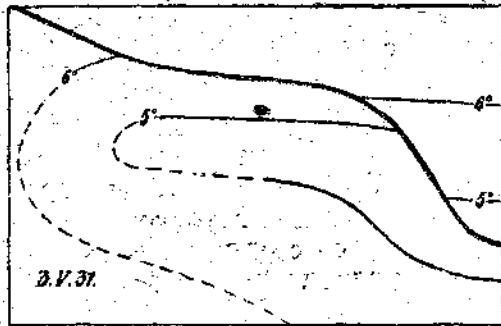


Рис. 6. Альб. 6.

Таким образом, за время весеннего перемешивания до момента расслоения водной массы озера на термические зоны, при нормальном ходе весны, донные отложения накапливают известное количество тепла, равномерно распределенного по дну водоема.

В 1931 г. проникновение тепла в глубокие слои водоема произошло в очень незначительной степени непосредственно после освобождения озера от льда, а затем быстро установилась температурная стратификация, и дальнейшее поступление тепла вглубь было преграждено (рис. 6).
Вследствие этого весенний прогрев донных отложений в глубинных зонах озера оказался очень незначительным и наоборот, в мелководных частях шел быстрым темпом, следуя быстрому прогреву эпилимниона. Такое состояние донных отложений продержалось всю первую половину лета; в частях дна ниже 6 м. установилась равномерная низкая температура около 6°. Температурный градиент быстро прогреваемых донных отложений в мелководных частях озера очень сильно возрос, достигая 1° на 10 см., наоборот, в глубинных частях он стал совершенно незначительным, выражаясь всего в 0,2—0,3 на 1 м. (рис. 7 и 8).

Во второй половине лета, по мере погружения температурного скачка, началось очень медленное прогревание донных отложений глубинных зон. Рис. 9 и 10 дают последовательные фазы этого процесса. В то время, как поступление тепла в глубинных зонах совершается медленно и равномерно, в мелководных зонах, в связи с непостоянством температуры эпилимниона, наблюдаются до-

вольно резкие колебания отражающиеся и на вертикальном распределении тепла в донных отложениях. В конце июня эпилимнион очень сильно прогрелся, достигнув в поверхностных слоях температуры $23^{\circ} - 25^{\circ}$; вследствие этого в донные отложения в литорали стало быстро поступать тепло, благодаря чему температурный градиент здесь достиг $2,3^{\circ}$ на 10 см . Лишь спустя некоторое время можно было наблюдать распространение тепла вглубь донных отложений и уменьшение температурного градиента.

Такое состояние общего накопления тепла донными отложениями на всем протяжении дна различной интенсивности, удерживается до конца лета, когда с наступлением похолодания эпилимниона условия меняются и донные отложения в мелководных частях от теплопоглощения переходят к теплоотдаче, а в более глубоких частях продолжается накопление тепла (рис. 11).

Наступление момента перехода мелководных частей донных отложений к теплоотдаче и интенсивность последней определяется целиком температурными условиями эпилимниона и сводится к метеорологическим условиям конца лета.

При погружении металимниона донные отложения более глубоких зон вступают в соприкосновение с достаточно теплыми еще водами эпилимниона и быстро прогреваются. В момент наступления гомотермии эта про-

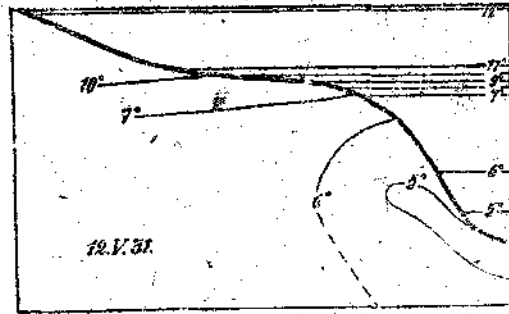


Рис. 7, Abb. 7.

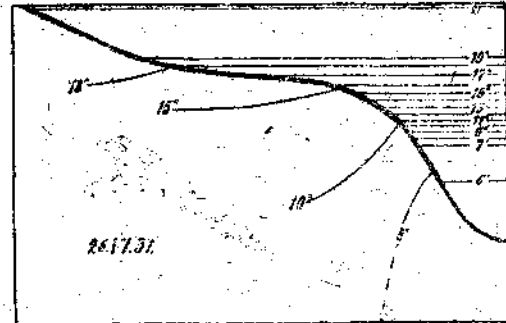


Рис. 8, Abb. 8.

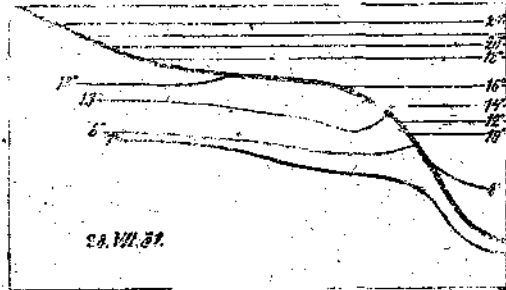


Рис. 9, Abb. 9.

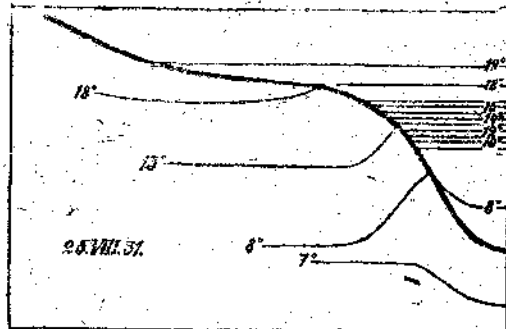


Рис. 10, Abb. 10.

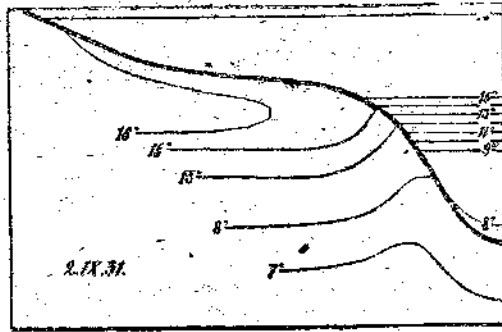


Рис. 11. Abb. 11.

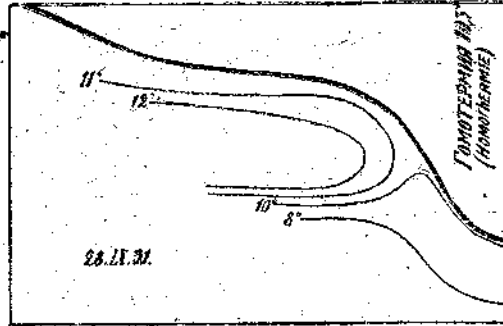


Рис. 12. Abb. 12.

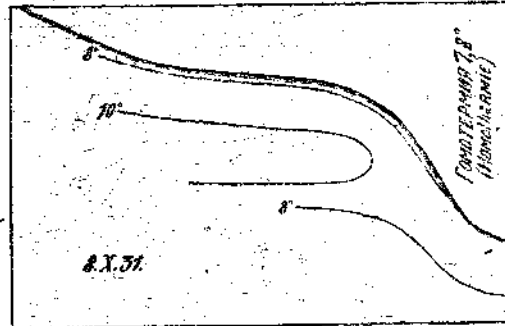


Рис. 13. Abb. 13.

гревание достигает самых глубоких частей озера (рис. 12). То обстоятельство, что погружение слоя скачка идет параллельно с общим похолоданием эпилимниона, обуславливает то, что для поверхностных слоев донных отложений, лежавших летом ниже металимниона, максимум прогрева, по-первых, наступает непосредственно после того, как эти части дна оказываются выше слоя скачка, и во-вторых, что этот максимум бывает очень кратковременным.

С наступлением гомотермии теплоотдача донных отложений распространяется по всему дну, и поскольку вся водная масса имеет одинаковую температуру, интенсивность теплоотдачи в отдельных глубинных зонах определяется различием содержания в них тепла. Вскоре эти различия исчезают, и теплоотдача становится равномерной (рис. 13).

Схематически последовательность фаз теплообмена донных отложений в годовом цикле и их соответствие фазам термики водоема приводятся в таблице.

Подводя итоги наших наблюдений над термикой донных отложений, мы считаем необходимым еще раз подчеркнуть значение последних для правильной и полной оценки термики замкнутых водоемов в целом. В определении понятий „климат озер“, который, слагаясь на основе общих климатических условий района, непосредственно определяется такими главными факторами, как морфологические особенности, длительность подледного периода и т. д., термика донных отложений очевидно играет не последнюю роль. Вопросы фенологии водных организмов и в первую очередь рыб и организмов, составляющих кормовую базу рыб, непосредственно упираются в проблему „климата озер“, значение которой в настоящее время, по-видимому, недооценивается в лимнологии. Одним из актуальных во-

ФАЗА ТЕПЛООВМЕНА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ	ФАЗА ТЕРМИКИ ВОДОЕМА	С р о к и
Теплоотдача по всей поверхности дна.	Вторая половина осенней циркуляции.	X—XI
Теплоотдача по всей поверхности дна и перемещение тепла из глубоких слоев донных отложений в поверхностные, температура которых повышается.	Первая половина подледного периода.	XII—II
Термическое равновесие между донными отложениями и водной массой.	Вторая половина подледного периода.	III—IV
Теплопоглощение по всей поверхности дна.	Весеннее перемешивание.	Конец IV—начало V
Избирательное теплопоглощение в мелководных частях (контакт с эпилимнием) и равновесие в глубоководных частях (контакт с гиполимнием).	Первая половина лета до наступления летнего максимума.	V—1-я половина VIII
Теплоотдача в мелководных частях и распространение теплопоглощения вглубь (погружение металликциона).	Общее охлаждение водоема во второй половине лета.	2-я полов. VIII—нач. IX
Достижение температурой 0 максимума в наиболее глубоких частях.	Наступление полной осенней гомотермии.	IX

просов проблемы продуктивности озер является вопрос о вылетах насекомых, ведущих в личиночных стадиях донный образ жизни в озерах и составляющих важнейший элемент кормовой базы рыб. Этот вопрос теперь ставится с учетом того серьезного значения которое имеют вылеты, уносящие массу органического вещества из водоема. Вопрос этот чисто фенологический и существенным элементом в его разрешении является детальное знание термических условий донных отложений.

До сих пор, как известно, термикой донных отложений почти не занимались и, повидимому, одной из причин этого была та сложность методики и громоздкость наблюдений, которые казались необходимыми для этого. Мы надеемся, что наша работа изменит этот взгляд, показывая, что с достаточно простой методикой и сравнительно небольшим количеством наблюдений, можно получить данные для ряда практически ценных заключений.

(Глуб. ст. пост. наблюдений: I—3-3,5 м; II—5-5,5 м; III—8-8,5 м; IV—12—13 м; Tiefe d.....)

	Станция St. Глубина Tiefe	I	II	III	IV	Вода Wasser	
						Глуб.	°
10. XI 30.	0 м	5,0	5,1	5,1	5,5	1 м	5,1
	20	5,6	5,8	5,5	5,5		
	40	6,4	5,9	6,3	6,5		
	60		7,1	6,6	6,7		
	80			7,0	7,0		
	100				7,1	13	5,4
25. XI 30.	0 м	1,0	1,7	1,8	2,7	0 м	0,2
	20	1,9	2,1	2,9	3,3	1	0,9
	40	2,0	3,8	3,8	4,5	3	1,2
	60		4,8	4,4	4,9	5	1,5
	80			5,1	5,3	8	1,8
	100				6,0	13	2,3
5. XII 30.	0 м	1,8	2,2	2,3	3,5	0 м	0,3
	20	2,8	3,3	2,9	3,9	1	1,1
	40	3,9	3,7	3,6	4,1	3	1,5
	60		4,7	4,4	4,9	5	1,8
	80			4,6	5,4	8	2,1
	100				5,6	13	3,2
16. VIII 31.	0 м	1,8	1,8	2,6	3,6	0 м	0,3
	20	2,7	2,8	3,8	4,1	1	1,2
	40	3,1	3,3	3,5	4,4	3	1,7
	60		3,9	4,0	4,6	5	2,1
	80			4,5	4,9	8	2,4
	100				5,5	13	3,3
7. I 31.	0 м	1,8	2,5	2,9	4,1	0 м	0,3
	20	2,4	2,3	3,1	4,5	1	1,2
	40	3,5	3,6	3,5	4,6	3	2,0
	60		4,0	3,9	4,8	5	2,5
	80			4,2	4,9	8	2,8
	100				5,4	13	3,6

Станция St.	Глубина Tiefe	I	II	III	IV	Вода. Wasser	
						Глуб.	°
26. I 31.	0cm	2,3	3,0	3,0	4,0	0m	0,3
	20	3,1	3,3	3,3	4,3	1	1,1
	40	3,6	3,6	3,6	4,5	3	2,2
	60		3,9	4,0	4,0	5	2,7
	80			4,5	4,8	8	3,0
	100				5,1	13	3,7
13. II 31.	0cm	2,4	3,0	3,4	4,3	0m	0,3
	20	3,4	3,7	3,7	4,7	1	1,1
	40	4,0	4,2	4,0	4,8	3	2,5
	60		4,7	4,3	5,0	5	3,2
	80			4,6	5,1	8	3,5
	100				5,4	13	4,1
28. II 31.	0cm	2,5	3,0	3,4	4,5	0m	0,3
	20	3,4	3,7	3,7	4,6	1	0,9
	40	4,0	4,2	4,0	4,9	3	2,5
	60		4,7	4,3	5,0	5	3,1
	80			4,6	5,3	8	3,5
	100				5,4	13	4,1
11. IV 31.	0cm	2,8	3,5	3,6	4,7	0m	0,3
	20	3,3	3,9	3,8	4,9	1	0,9
	40	4,1	4,3	4,1	5,0	3	2,8
	60		4,3	4,3	5,2	5	3,4
	80			4,4	5,4	8	3,6
	100				5,5	13	4,3
3. V 31.	0cm	3,7	4,6	4,3	4,5	0m	1,0
	20	3,8	4,8	4,4	4,8		
	40	5,5	5,0	4,4	5,0		
	60		5,1	4,5	5,2		
	80			4,6	5,3	10	5,3
	100				5,4	13	4,5

	Стация St. Глубина Tiefe	I	II	III	IV	Вода. Wasser	
						Глуб.	°
12. V 31.	0 м	10,6	6,9	5,4	5,0	0 м	12,0
	20	9,8	6,6	5,1	5,0		
	40	7,8	6,1	4,8	5,0	3	11,8
	60		5,5	4,9	5,1	5	7,8
	80			5,3	5,2	8	6,4
	100				5,0	13	4,8
21. V 31.	0 м	12,0	6,7	5,6	5,2	0 м	13,6
	20	17,1	6,8	5,8	5,2	1	17,0
	40	10,0	6,5	5,1	5,3	3	13,6
	60		6,4	5,1	5,3	5	6,2
	80			5,1	5,5	8	5,2
	100				5,6	13	5,1
31. V 31.	0 м	13,3	7,0	5,5	5,3	0 м	19,5
	20	12,2	7,5	5,6	5,3		
	40	11,9	7,4	5,5	5,3	3	16,9
	60		7,2	5,3	5,1	5	8,1
	80			5,3	5,5	8	5,6
	100				5,0	13	5,4
13. VI 31.	0 м	11,8	10,6	5,9	5,5	0 м	15,3
	20	14,2	13,0	5,8	5,5	1	15,3
	40	13,2	10,7	5,4	5,5	3	15,1
	60		9,0	5,3	5,5	5	13,8
	80			5,7	5,6	8	5,7
	100				5,7	13	5,5
28. VI 31.	0 м	19,0	11,3	6,6	5,7	0 м	21,0
	20	17,4	11,1	6,2	5,7		
	40	15,4	13,0	5,9	5,7	3	19,1
	60		12,0	6,0	5,8	5	15,4
	80			5,8	5,9	8	6,4
	100				5,9	13	5,7

	Станция St.	I	II	III	IV	Веда. Wasser	
						Глуб.а Tiefe	Глуб. m
13. VII ст.	0 м	19,6	14,9	7,6	7,0	0 м	23,0
	20	18,9	14,4	7,4	6,5	1	23,6
	40	17,2	13,7	7,1	6,5	3	20,3
	60		12,7	7,0	6,3	5	19,6
	80			6,7	6,4	8	7,6
	100				6,3	13	7,1
28. VII ст.	0 м	20,1	15,7	7,8	7,2	0 м	24,7
	20	16,5	14,6	7,4	7,0	1	24,4
	40	12,0	13,4	7,1	6,7	3	17,3
	60		10,4	6,8	6,6	5	15,7
	80			6,5	6,4	8	8,4
	100				6,2	13	7,7
10. VIII ст.	0 м	19,8	18,7	8,1	7,6	0 м	23,6
	20	19,2	17,7	7,8	7,2	1	20,7
	40	17,8	15,4	7,4	7,0	3	20,1
	60		13,4	7,2	6,7	5	18,6
	80			6,7	6,6	8	8,3
	100				6,1	13	8,0
26. VIII ст.	0 м	19,1	17,5	8,6	7,6	0 м	19,6
	20	18,2	16,5	8,3	7,4	1	19,3
	40	17,4	15,1	7,8	7,2	3	19,1
	60		13,3	7,5	7,0	5	17,2
	80			7,3	6,8	8	8,5
	100				6,6	13	7,8
2. IX ст.	0 м	15,9	13,6	8,7	7,7	0 м	16,1
	20	16,4	15,4	8,2	7,5	1	15,9
	40	16,8	15,2	7,8	7,3	3	15,3
	60		14,2	7,4	7,1	5	15,6
	80			7,2	6,8	8	8,8
	100				6,7	13	7,9

	Станция St.	I	II	III	IV	Вода. Wasser.	
						Глубина Tiefe	Глуб.
17. IX 31	0 м	12,3	12,5	10,9	8,1	0 м	12,1
	20	13,7	13,1	10,3	7,9	1	12,1
	40	14,8	13,6	8,6	7,4	3	12,0
	60		13,9	7,9	7,4	5	12,0
	80			7,5	7,3	8	12,0
	100				7,0	13	8,5
24. IX 31	0 м			11,6	10,5	0 м	12,1
	20			11,0	9,8	1	12,1
	40			9,6	9,0	3	11,7
	60			8,9	8,1	5	11,7
	80			8,3	7,6	8	11,6
	100				7,2	13	11,3
28. IX 31	0 м	10,3	10,3	10,2	10,1	0 м	10,3
	20	10,0	11,2	10,0	9,6	1	10,3
	40	12,2	11,8	9,9	9,0	3	10,4
	60		12,0	9,1	8,4	5	10,4
	80			8,5	7,6	8	10,4
	100				7,3	13	10,2
8. X 31	0 м	7,3	7,8	7,8	8,3	0 м	7,9
	20	8,8	8,7	8,2	8,2	1	7,8
	40	10,0	9,4	8,3	8,2	3	7,8
	60		10,2	8,3	8,0	5	7,8
	80			8,3	7,7	8	7,8
	100				7,4	13	7,8
31. X 31	0 м	3,5	3,4	3,3	3,5	0 м	3,3
	20	4,3	4,3	4,6	5,2	1	3,3
	40	6,4	6,2	5,7	6,1	3	3,3
	60		7,5	6,4	6,5	5	3,3
	80			6,9	6,8	8	3,3
	100				7,0	13	3,3

Явления газоотделения на Белом озере в Косине.

Л. Россолимо.

Во время работы на Белом озере в Косине постоянно наблюдались явления, говорящие о том, что со стороны донных отложений идет непрерывное отделение газа. В тихую погоду можно наблюдать непосредственно появление на поверхности воды пузырьков газа в некоторых местах озера. Погружение приборов в ил на известных глубинах постоянно вызывало появление на поверхности воды массы пузырьков газа. Образцы ила, извлекаемые при помощи дночерпателя или стратометра, при стоянии в течение 10—15 минут в лаборатории, как-бы вскипали от большого количества мелких пузырьков газа, выделявшихся из ила. Наконец лед, выколотый в известных местах озера имел губчатое строение от пузырьков газа вмерзших в него.

Своеобразное явление, наблюдавшееся в течение зимы в 1931 г. свидетельствует так-же об интенсивном отделении газа со дна; спустя 10—12 дней после ледостава, когда на льду озера еще не было ни одной проруби, через отверстие пробитое над местом наибольших глубин стал бурно выделяться газ, скопившийся в большом количестве под льдом. Выделение газа продолжалось непрерывно минут 10—15.

Полагая, что явление газоотделения иловыми отложениями может играть известную роль для выяснения некоторых сторон физических, химических и биологических процессов, мы провели ряд наблюдений над явлением газоотделения. При этом имелось ввиду выяснить количественную сторону явления и изменения в этом отношении по временам года, локализацию процесса и зависимость от рельефа дна и залегания ила. Кроме того, необходимо было установить состав выделяющейся газовой смеси и возможные изменения состава смеси, выделяемой в разных местах озера и в разное время.

Для изучения явления газоотделения было испробовано несколько приемов и в конце концов мы остановились на следующем.

Для непосредственного улавливания газа, выделяемого дном был сконструирован прибор, состоящий из металлической воронки с диаметром отверстия около 50 см., к которой прикреплялся при помощи особого держателя приемник для газа объемом около 2 литров. Прибор этот устанавливался на высоте от 0,5 м. до 1 м. над

дном на известный промежуток времени. Летом прибор укреплялся на треножнике с широко расставленными ножками, который ставился на дно. Прибор опускался и поднимался на тросе с поплавком. Зимой можно было обходиться без штатива, а просто подвешивать прибор на шнуре ко льду. При таком помещении прибора достигалось почти непосредственное улавливание газа по выделении его со дна в приемник и вместе с тем, что очень важно, и на поверхности покрываемой воронкой оставался нетронутым. Эта предосторожность необходима для суждения о количестве газоотделения в естественных условиях, т. к. при самом незначительном прикосновении к илу из него выделяется газ. Ради простоты прибор постоянно оставлялся в озере и лишь через известные промежутки времени сменялся газоприемник, для чего прибор приподнимался к поверхности. Приемник наполненный прокипяченным насыщенным раствором поваренной соли присоединялся каучуком к концу воронки под поверхностью воды с соблюдением предосторожностей, чтобы в частях прибора не застряло пузырьков воздуха. На конец каучуковой трубки, отводящей воду из газоприемника надевался поплавок, чтобы таким образом, этот конец находился выше газоприемника. Благодаря этому из приемника не вытекал тяжелый насыщенный раствор, а только вытеснялся по мере накопления газа. На основании собранных таким способом образцов газа, зная площадь раструба воронки, возможно получить представление о количестве газа, отделяемого с известной поверхности дна за определенный промежуток времени. Устанавливая приборы в разных местах можно было получить данные о газоотделении для разных глубин.

Для определения количества газа заключенного во льду и определения состава этой смеси, выпиливались из льда призмы высотой во всю толщину льда и со стороны основания 15 см. При этом поверхность льда, состоящая из смерзшегося снега, удалялась и брался чистый лед. Вырезанный таким образом кусок льда помещался под воронку, наполненную водой, а газ освобождавшийся при таянии собирался в приемник. Для изучения пространственного изменения содержания газа во льду, образцы вырезывались в разных местах, при чем в каждом месте брались один или два контрольных образца.

Объем полученных образцов газа приводился к 0° и 760 мм. давления.

Что касается определения состава смеси газа, то в большинстве образцов было определено содержание угольной кислоты и кислорода в аппарате Орса.

Несколько образцов было подвергнуто более полному анализу. Определялись: угольная кислота, непредельные углеводороды, кислород, окись углерода, метан, водород. Азот определялся как остаток после сжигания образца, причем сюда очевидно входили незначительные количества других не определявшихся специально газов.

Приводимые результаты для каждого анализа являются средним из определений в двух порциях газа.

Результаты анализов газа с Белого озера приведены в таблице II. Для сравнения нами был сделан анализ одного образца газа с Черного озера, результаты которого помещены там же.

Пространственное распределение газоотделения.

Для изучения изменений количества и состава смеси газа, выделяемого различными частями дна, мы шли двумя путями. Первый путь—это непосредственный сбор газа при помощи газонакачивающих приборов, установленных в разных местах. Этот наиболее прямой путь однако же на практике встречает ряд затруднений, а потому мы им пользовались в ограниченном размере. Главные затруднения это необходимость одновременной установки во многих местах приборов, которыми мы не располагали в достаточном количестве. Первая серия наблюдений в этом направлении была сделана во второй половине зимы 1930 г. Было установлено три накачивающих аппарата на глубинах 13 м., 10,8 м. и 8,8 м. на время с 15/II по 2/III. Полученные результаты, выраженные в количествах газа выделенного 1 кв. м. дна за 1 сутки мы приводим:

13 м.—460 ксм.; 10,8 м.—217 ксм.; 8,8 м.—0,0 ксм.

Вторая серия наблюдений была сделана вскоре после первой. Приборы были установлены с 8-го по 26/III 1930 г. и получили следующие результаты:

13 м.—497 ксм.; 10,8 м.—222 ксм.

Третья серия была сделана в начале весны 1931 г. Один прибор был установлен на обычном месте над наибольшими глубинами, другой над второй котловиной глубиной 10,2 м. За время с 20-го по 28/IV были получены следующие количества газа:

13 м.—750 ксм.; 10,2 м.—493 ксм.

Второй способ, основанный на определении содержания газа во льду, явился гораздо более удобным в том отношении, что позволяет сделать достаточно большое число определений, чтобы можно было с точностью установить зависимость между количеством выделяемого илом газа, рельефом дна и характером грунтов. Основывается этот способ на следующих соображениях. Мы уже говорили, что в некоторых местах ледяной покров имеет губчатое строение вследствие большого количества пузырьков, вмерзших в лед. Мы приводим фотографию куска льда выпиленного в том месте, где наблюдается наибольшее количество пузырьков (рис. 1). Происхождение этих пузырьков очевидно; непрерывно поднимающиеся со дна пузырьки вмерзают в лед с нижней поверхности по мере нарастания его толщины. Можно было бы думать, что количество газа, заключающееся во льду, к концу зимы соответствует количеству газа, выделяемого дном за то время, пока идет нарастание льда. Однако это не так: во льду содержится газа значительно меньше. Причина этого повидному в том, что пузырьки газа на пути от дна к поверхности (см. ниже) и за то время, пока они находятся под льдом, но еще не вмерзли, частично растворяются в воде и вмерзает сильно уменьшенный объем газа. Вероятность этого предположения подтверждает следующее наблюдение. В поисках наибо-

лее приемлемого способа собирания газа, нами было установлено два прибора, состоявшие только из воронок с замкнутым узким концом и без газоприемника. Газ, собравшийся в воронке по прошествии известного времени, был переведен в приемник. При этом объем собранного газа оказался приблизительно в $3\frac{1}{2}$ раза меньше того, который был собран в установленные непосредственно вслед за этим и на тех-же местах приборы, но уже с газоприемниками. Очевидно, что во время пребывания газа под воронкой в непосредственном соприкосновении с водой значительная часть его растворилась.

При отсутствии совпадения абсолютных величин газоотделения и содержания газа во льду сохраняются соотношения между той и другой величиной в разных местах озера. В этом нас убеждает ряд наблюдений и поэтому оказывается возможным на основании измерений содержания газа во льду судить о пространственном распределении газоотделения. Насколько постоянны соотношения между газоотделением и количеством газа вмерзающего за зиму в лед можно судить на основании сопоставления данных 1930 и 1931 г.г. Судя по данным конца зимы (март, апрель) обоих годов, можно заключить, что величина газоотделения довольно постоянна для одного и того-же времени года. Вероятно, в течение зимы выделяется некоторое более или менее постоянное количество газа. Зимы 1930 и 31 г.г. значительно отличались в отношении ледовых условий. В 1930 г. к концу зимы лед достигал 30—32 см., в 1931 г. 50—52 см. Несмотря на это в выплываемых призмах льда со стороны основания в 15 см. и высотой во всю толщу ледяного покрова, количество газа за оба года были очень близки.

Небольшое число наблюдений над распределением содержания газа во льду было сделано в конце зимы 1930 г. Эти наблюдения имели значение ориентировки. Большая серия наблюдений была сделана в конце зимы 1931 г. и эти данные дают нам вполне отчетливую картину. Для удобства выполнения процедур, связанных с выплыванием льда, работы были проведены тогда, когда температура воздуха днем держалась выше 0° , а ледяной покров не обнаруживал еще никаких признаков таяния. Все работы заняли промежуток времени от 16 до 21 апреля.

Для полной оценки полученных данных, приведем некоторые особенности рельефа дна и залегания грунтов Белого озера. Дно озера в наиболее глубокой части образует котловину удлиненной формы, вытянутую с юго-востока на северо-запад. Небольшим возвышением котловина разделена на две части, большую юго-восточную с наибольшей глубиной до 13,5 м. и меньшую северо-западную с глубиной несколько больше 10 м. Котловина ограничена 7—8 метровыми изобатами. Выше этих глубин дно озера более или менее отлого, ниже — имеет более значительное падение, особенно, в области более глубокой части котловины.

Залегание черного ила приурочено к котловине и граница его распространения соответствует краю котловины.

Выемка образцов льда производилась по нескольким направлениям с таким расчетом, чтобы покрыть весь район отделяющий газ. Одна линия была намечена по продольной оси котловины, дру-

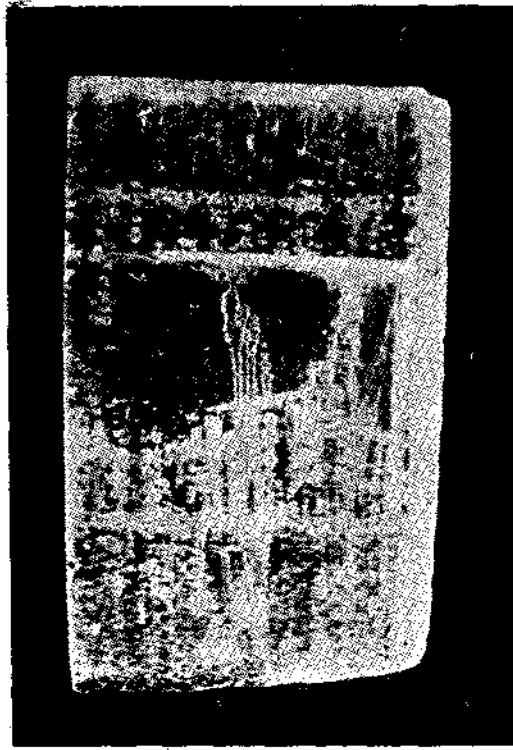


Рис. 1. Лед, выделенный с Белого оз. в месте наибольшего газоотделения.
Abb. 1. Eis, ausgeschnitten aus dem Beloje See an der Stelle der maximalen Gasausscheidung.



Рис. 2. Ледяной покров Белого оз. весной. Гидра светлая газоотделяющая зона.
Abb. 2. Die Eisdecke des Beloje See im Frühjahr. Die helle gasausscheidende Zone ist sichtbar.

гая поперечная через более глубокую ее часть и третья тоже поперечная через менее глубокую часть. Пункты взятия образцов льда нанесены на прилагаемой карте озера. Весь цифровой материал дается в таблице I. На основании этого материала на карту нанесены зоны различной интенсивности газоотделения, а так же составлены графики, представляющие продольный и поперечный разрезы через газоотделяющий район озера (рис. 3 и 4). Чтобы избежать недоразумений, мы повторяем, что намечение границ зон по количеству газа, содержащегося во льду, имеет лишь относительное значение и абсолютные величины содержания газа во льду не дают представления о количестве газоотделения.

Граница этого района почти совпадает с 9-ти метровой изобатой, выходя несколько за пределы ее в северо-западной части котловины. С глубиной качество отделяемого газа быстро возрастает, достигая наибольших величин в небольшой зоне, занимаемой самой глубокой частью котловины. Количество отделяемого газа соответ-

Содержание газа во льду в конце зимы 1931 г.
(положение пунктов см. на карте—рис. 3). Tabelle I

Пункты Punkte	Глубина Tiefe	Кб. см. газа на 1 кв. м. льда Kb. cm Gas a. 1 qu. m Eis	Пункты Punkte	Глубина Tiefe	Кб. см. газа на 1 кв. м. льда Kb. cm Gas a. 1 qu. m Eis
1	10,0м	1420	11	10,3	1980
2	10,8	1618	12	11,8	6070
3	18,3	11510	13	13,2	11780
4	11,3	5860	14	11,0	2400
5	9,5	2315	15	10,2	938
6	10,1	6605	16	9,3	95
7	9,5	5070	17	9,0	80
8	8,6	1330	18	9,8	5375
9	7,8	0,0	19	2,2	1650
10	9,0	50			

ственно форме дна дает два максимума, один больший максимум в области более глубокой части котловины, другой меньший в области менее глубокой части. В распределении количества газа на поперечном разрезе мы находим равномерное нарастание с глубиной и симметрию в этом отношении правого и левого склона котловины—одинаковым глубинам соответствуют более или менее одинаковые количества выделяемого газа. Иные соотношения обнаруживаются на продольном разрезе. Здесь, в области меньшей котловины выделяется газ в меньших количествах, чем в области большой, но соответствия между количеством газа и глубинами в обеих котловинах нет; на одних и тех же глубинах в малой котловине газа выделяется больше, чем в большой. Так например, в области глубокой части котловины над глубинами около 10,2 м. в 1 кв. м. льда было найдено несколько больше 2 литров газа, а на тех же глубинах в области второй впадины количество газа превышало 7 литров. Гра-

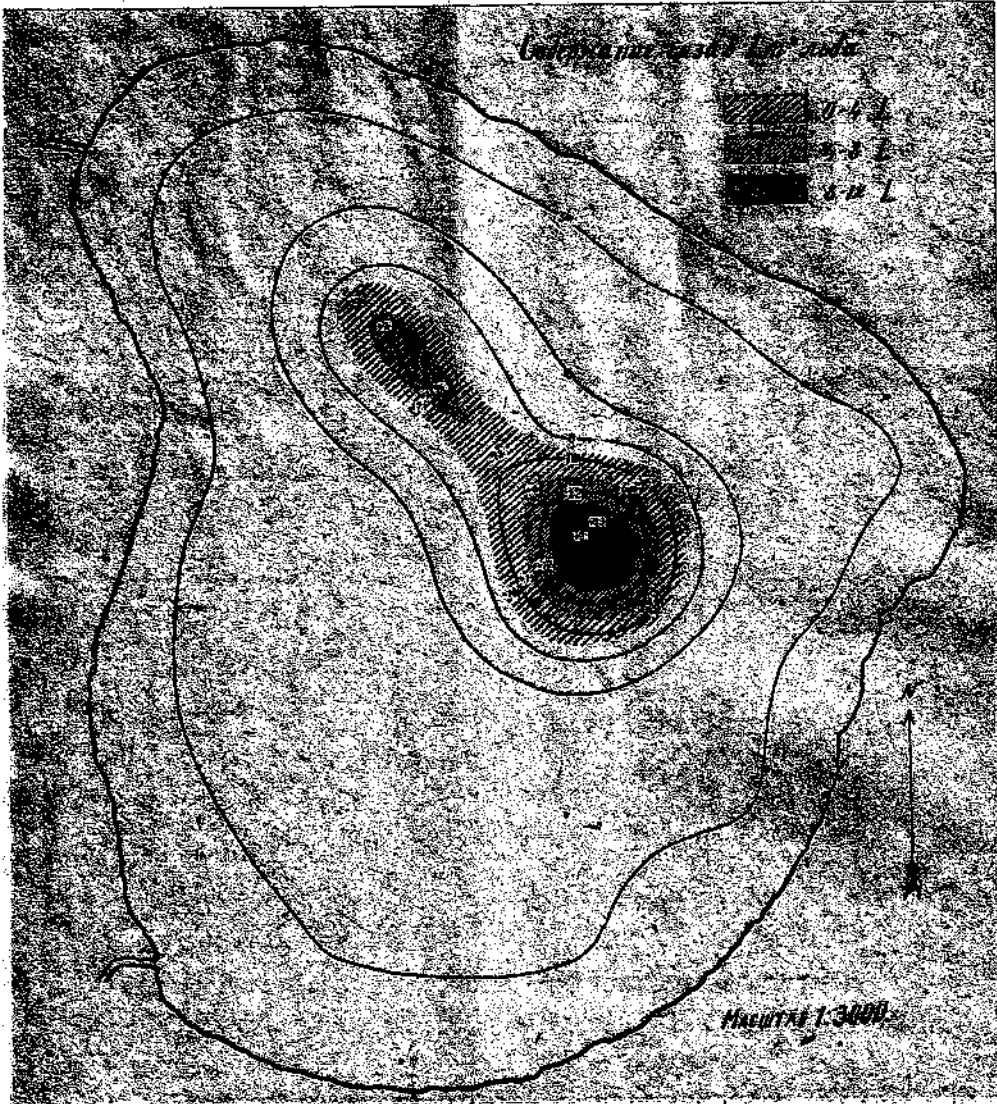


Рис. 3. Зона газотделения на Белом оз. Abb. 3. Die Gasabscheidende Zone am Beloje See.

Граница зоны, над которой в 1 кв. м. льда содержалось 5 и более литров газа в области большой впадины проходит на глубине около 11,5 м., а в области меньшей впадины граница этой зоны поднимается до глубины около 9,5 м. Это сопоставление позволяет прийти к одному очень важному заключению о распределении газотделения в водоеме и сделать некоторые предположения о природе этого явления. Очевидно, в распределении газотделения играют роль не столько абсолютная глубина, сколько рельеф дна. Впадины, углубления озерного дна создают условия газообразования и газотделения, независимо от глубины расположения впадины. Здесь

мы ограничимся этим кратким замечанием, имея в виду вернуться к этому вопросу в другом месте.

Границы зоны газоотделения нанесенные на карту могут быть прослежены в натуре на льду озера в то время, когда снежный покров стает и лед становится прозрачным. Благодаря содержанию во льду пузырьков, он имеет беловатый оттенок в районе газоотделения и поэтому этот район становится ясно видимым с некоторого расстояния. На фотографическом снимке (рис. 2), сделанной с юго-восточной стороны озера отчетливо видна газоотделяющая зона, впереди более обширная часть, соответствующая большей впадине, за ней меньшая часть соответствующая меньшей впадине.

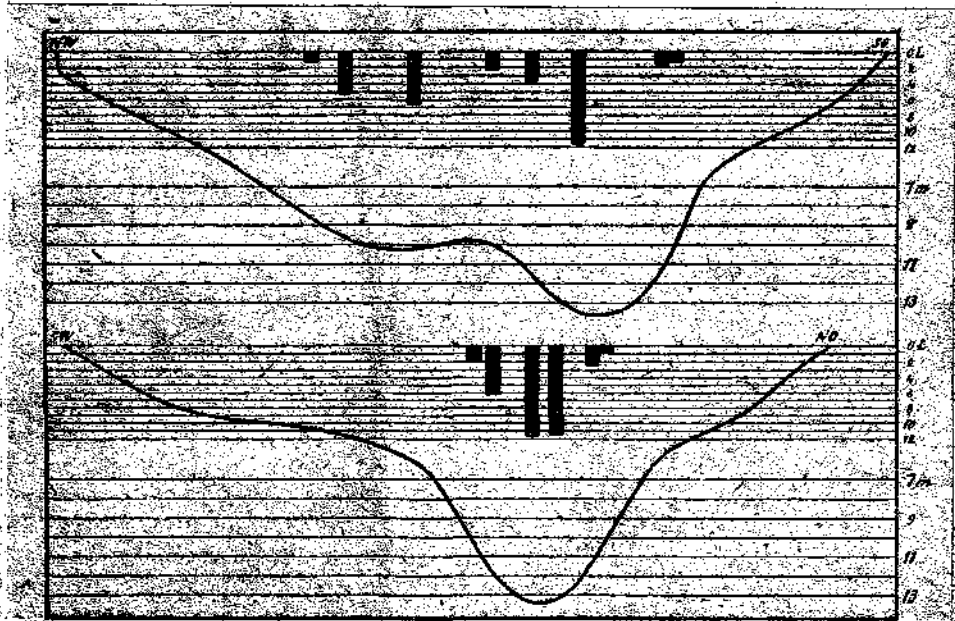


Рис. 4. Распределение газоотделения в зависимости от рельефа дна.
Abb. 4. Verbreitung der Gasausscheidung in Zusammenhang mit dem Bodenrelief.

Как видно из приведенных данных зона газоотделения не велика, в целом она занимает площадь около 19.000 кв. м., что составляет около 6,7% площади озера. Суточное выделение газа летом в период максимума для всей газоотделяющей части озера составляет около 11 кубометров.

Годовой ход процесса газоотделения.

Полагая, что интенсивность газоотделения подвержена колебаниям в различные моменты годового цикла, мы провели серию непрерывных наблюдений с марта 1931 г. по конец апреля 1931 г. Устанавливая газулавливающий прибор на месте наибольшей глубины, т. е. на месте наиболее интенсивного газоотделения на из-

вестные промежутки времени, мы получали годовой ход процесса газоотделения. За все время наблюдений было собрано двадцать образцов газа. Эти данные пересчитанные на количество газа, выделяемого поверхностью дна в 1 кв. м. за одни сутки приведены в таблице II и изображены на графике (рис. 5). Результаты показы-

Таблица II. Tabelle II.
 Данные по газоотделению донных отложений Белого оз. на глубине 12—13 м.
 Angaben über die Gasausscheidung der Bodenablagerungen des Beloje Sees (Tiefe 12—13 m).

Время сбора газа Zeit d. Gassammelns.	Объем газа с 1 м ² в сутки Gasvolumen v. m ² während 24 St.	Состав смеси в % Zusammensetzung d. Gasgemisches in %						
		CH ₄	H ₂	CO ₂	O ₂	C ₂ H ₆	CO	N ₂
3 III — 26 III 30	394 ссм	77,2	10,8	0,8	0,0	0,5	0,2	10,6
20 IV — 2 V 30	592			0,6	0,1			
2 V — 12 V 30	100			0,2	0,0			
19 V — 22 V 30	443	78,5	7,3	1,5	0,0	1,5	0,4	11,3
28 V — 1 VI 30	977			0,8	0,0			
2 VI — 12 VI 30	540			1,4	0,2			
21 VI — 26 VI 30	690							
11 VII — 16 VII 30	1180							
16 VII — 19 VII 30	1310							
19 VII — 24 VII 30	1420							
6 VIII — 9 VIII 30	947			1,7	0,8			
19 VIII — 21 VIII 30	665							
29 VIII — 3 IX 30	1227			1,1	0,1			
14 IX — 21 IX 30	1280							
15 X — 25 X 30	810	74,1	5,1	0,4	0,3	0,1	1,0	19,0
4 XI — 19 XI 30	258							
20 XII — 3 I 31	421							
20 I — 19 II 31	935	89,5	5,6	0,4	0,6	0,6	0,0	9,3
18 III — 8 IV 31	404	76,8	6,3	1,2	0,5	0,6	0,0	11,7
20 IV — 28 IV 31	477	80,4	11,7	1,5	0,3	0,2	0,7	5,2
26 VII 31	—	77,7	18,4	2,1	0,3	0,0	0,0	1,5
8 IX 31	—	87,2	9,5	2,2	0,2	0,5	0,2	0,2
28 XII 31	—	72,3	16,5	2,3	0,3	0,4	0,0	8,6
Черное оз. Tschernoe See 8 IX 31	—	86,4	8,1	1,9	0,5	0,7	0,0	0,6

вают достаточно ясную картину годового хода газоотделения, которая очевидно обнаруживает полное совпадение с годовым ходом придонной температуры (кривую которой мы даем на том же графике) в том месте, где делались наблюдения над газоотделением. Таким образом, мы устанавливаем общую зависимость между интенсивностью газоотделения и температурой. Однако более детальное рассмотрение полученных результатов показывает отклонения несколько осложняющие картину годового хода газоотделения. Для правильного суждения об изменении количества выделенного дном газа необходимо строго разграничивать явление газообразования в илу и явление газоотделения со дна. Наше исследование касается только последнего. Полученные данные позволяют судить только о количестве и качестве смеси газов, поднимающейся со

дна. Количественная и качественная сторона процессов газообразования и газоотделения, а также темп обоих процессов различны, не связаны между собой непосредственно и находятся в зависимости от различных факторов.

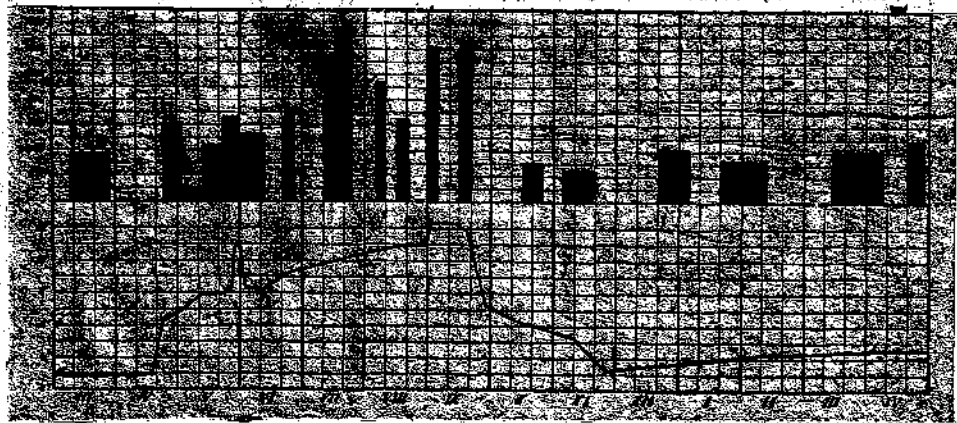


Рис. 5. Годовой ход газоотделения и придонной температуры.
Abb. 5. Der Jahrgang der Gasausscheidung und der Wassertemperatur über dem Boden.

Здесь мы совершенно не можем касаться процессов газообразования, являющихся результатом сложной комбинации микробиологических, химических и физических факторов. Состав смеси газов образуемых в результате разложения ила, очевидно, не тот, который нам дает анализ собранного образца выделившегося газа. В газоприемники улавливается то, что остается после растворения известной части в воде содержащейся в илу, т.е. в иловом растворе. В значительной степени растворяются газы, отличающиеся большой растворимостью, как угольная кислота, сероводород и др. Таким образом и с качественной и количественной стороны на основании данных о газоотделении мы не можем судить о газообразовании в илу. Что касается газоотделения, то среди ряда факторов влияющих на ход этого процесса на первом месте должна быть поставлена температура придонного слоя воды и ила и давление. Последний фактор, по видимому не имеет столь существенного значения, поскольку колебания давления незначительны. Изменения температуры, главным образом, вносят изменения в процесс выделения газа накапливающегося в илу в результате газообразования.

Состав газовой смеси выделяемой дном.

Имеющиеся в нашем распоряжении анализы образцов газа позволяют установить значительное постоянство состава смеси. Колебания состава смеси отдельных образцов невелики и, по видимому, являются отражением некоторого непостоянства самих процессов газообразования и тех изменений, которые может претерпевать газовая смесь, находясь в илу до выхода на поверхность дна. Имея анализы образцов собранных в разные времена года и на различ-

ных глубинах, не удается подметить какой либо связи между колебаниями состава смеси и местом и временем взятия образца. Из этого мы заключаем, что процессы газообразования остаются одни и теми же на всем протяжении газоотделяющей части дна и в течение всего года. Изменяется и во времени и в пространстве только интенсивность процессов.

Анализ образца газа, взятый с Черного озера показывает полное сходство состава с газом из Белого озера, что позволяет говорить о том, что в обоих озерах мы имеем одни и те же процессы газообразования.

Bigge and Juday указывая нахождение газов в илу некоторых Висконсинских озер¹⁾, отмечают, что количество образования метана и угольной кислоты изменяется по сезонам. Образование метана в результате разложения растительных остатков в анаэробных условиях достигает максимума в сентябре и он выделяется в виде пузырьков. В это время в газе собранном из ила содержание метана достигает 65%.

Метан составляет основную массу газовой смеси Белого озера, давая содержание в отдельных образцах от 75 до 87%. Водород являлся вторым по процентному содержанию в смеси и составляет от 5 до 15%. Угольная кислота составляет незначительный процент смеси и колеблется от 1,2 до 3%. Очевидно, что хорошо растворимый газ, как угольная кислота не может содержаться в большом количестве в смеси.

Кислород обнаружен в целом ряде образцов в незначительном количестве. Однако несомненно, что кислород попал в собранный образец либо из воды, над которой собирался газ, либо каким нибудь другим путем. Едва ли можно считать вероятным, чтобы в смеси газов, выделяемых илом в бескислородной (зимой и летом) зоне озера мог быть кислород.

Непредельные углеводороды составляют очень незначительный процент в смеси газов—от 0,0 до 1,5%. Точно так же окись углерода содержится в незначительном количестве, а иногда совсем отсутствует. Величины, помещенные в графу N₂ представляют собой остаток после сжигания известного объема образца. Хотя специальных определений не делалось, однако можно полагать, что этот остаток состоит главным образом из азота, но возможно содержит в известных количествах примеси каких нибудь других газов.

Как видно из приведенного, наши данные не отличаются достаточной полнотой анализа смеси газов. Для разрешения поставленных задач большая полнота не была необходима. Кроме того, сам способ получения образца газа не гарантировал строгого постоянства состава смеси, отдельные составные части которой могли в большем или меньшем количестве раствориться в воде. В частности относительно угольной кислоты можно заранее сказать, что в илу она образуется в громадных количествах, но ее большая растворимость обуславливает ее незначительное содержание в выделяемой смеси.

¹⁾ Bigge and Juday, The inland lakes of Wisconsin. Wisc. Geol. Nat. Hist. Survey. Bull. № XXII. 1911.

При всем этом полученные данные позволяют установить, что в главной массе выделяемый дном газ является продуктом распада клетчатки в анаэробных условиях. Известный процент содержащегося в смеси азота говорит о наличии в илу процессов денитрификации.

Взаимодействие между отделяющимся газом и водной массой озера.

Ряд наблюдений показывает, что отделившийся со дна газ, проходя известную толщину воды, во первых претерпевает изменения и с количественной и с качественной стороны, а во вторых оказывает известное воздействие на воду, через которую проходят пузырьки газа. Мы уже указывали, что состав газовой смеси полученной из льда отличался от смеси газа, собранного непосредственно над илом. Для сравнения приведем результаты анализов (в %%) двух пар образцов газа собранных в конце апреля, одной на глубине 13 м., другой 10 м. В каждой паре один образец собирался над илом, другой из льда над этим местом.

Таблица III

Tabelle III

		28. IV—1931.		CH ₄	H ₂	CO ₂	O ₂	C ₂ H ₄	CO	N ₂
Глуб. 13 м. Tiefe	Собран над илом Gesammelt über d. Schlamm	80,4	11,7	1,6	0,3	0,2	0,7	5,3		
	Собран из льда Gesammelt aus d. Eis	24,1	—	2,9	4,4	0,1	0,0	68,5		
Глуб. 10 м. Tiefe	Собран над илом Gesammelt über d. Schlamm	88,3	4,2	0,8	0,4	0,2	0,4	10,7		
	Собран из льда Gesammelt aus d. Eis	20,2	—	1,0	5,7	0,0	0,6	72,5		

Эти данные с достаточной определенностью говорят о характере тех изменений, которые претерпела смесь газов в результате прохождения через столб воды известной мощности, пребывания некоторое время под льдом и наконец длительного пребывания во льду. Особенно резкие изменения произошли в отношении снижения содержания метана, полного исчезновения водорода, появления большого количества кислорода и повышения содержания азота.

Данные эти, однако же, не позволяют установить важного для нас момента, а именно тех изменений, которые происходят с газовой смесью во время прохождения пузырьков со дна до поверхности и пребывания накапливающегося газа в воде под льдом. Мы уже приводили одно более или менее случайное наблюдение, показавшее, что газ остававшийся под воронкой, т. е. в широком соприкосновении с водой оказался в меньшем объеме, чем этого следовало ожидать. Повидимому имело место растворение газа.

В середине зимы 1931—32 г. были поставлены некоторые специальные наблюдения по интересовавшим нас вопросам. Первое, что должно

было бы учтено. — это имеет ли место растворение газа при его прохождении толщ воды от дна до поверхности, и второе изменяется ли при этом состав смеси.

Для получения достаточно определенных результатов оказалось необходимым прибегнуть к довольно сложным процедурам. У дна на глубине около 13 м. был собран газ, часть его помещена в точно отмеренном объеме в стеклянку закупоренную резиновой пробкой с двумя стеклянными трубками, оттянутыми в капилары и запаянными, часть газа оставалась для акализа.

Эта стеклянка опускалась на известную глубину на веревке, другой конец которой прикреплялся к воронке газоулавливающего прибора с таким расчетом, чтобы стеклянка приходилась точно под центром воронки. Газоулавливающий аппарат устанавливался под самой поверхностью воды и расстояние между горлышком опущенной стеклянки и газоприемником составляло ровно 11 м. После установки всего прибора, при помощи посыльного груза отбивались кончики капиллярных трубок и газ начинал выходить из стеклянки и проходя толщу воды в 11 м. собирался в газоприемнике. Путем тщательных наблюдений было установлено, что все пузырьки газа были уловлены воронкой и ни один не был утерен. Этот опыт был повторен нами два раза с одной лишь модификацией. В первом случае благодаря тонкости капилляров газ из стеклянки выходил мелкими пузырьками и объем газа 232 *ксм.* выходил в течение 30—35 минут. В втором случае капилляры были несколько толще, газ выходил более крупными пузырьками и выходение объема в 612 *ксм.* продолжалось около 20 минут. Объем собраного газа измерялся и определялся состав смеси. Полученные результаты приводятся на табл. IV и V (объемы приведены к 760 мм. давления и 0°, состав смеси в %).

Таблица IV

Tabelle IV.

Дата Datum	Объем первоначальный. Ausgangsvolumen	Объем после пропускания. Vol. nach d. Durchlassen	Потеря. Verlust
28. XII—31	332 <i>сст</i>	146 <i>сст</i>	56,3%
16. I—32.	612 ..	385 ..	36,8%

Таблица V.

Tabelle V.

		CH ₄	H ₂	CO ₂	O ₂	C ₂ H ₆	CO	N ₂
28. XII 31.	После пропуск. ч. воду. Nach d. Durchlassen d. d. Wasser	48,7	4,8	0,3	4,5	0,3	0,0	40,4
	Контрольный образец Kontrollgasvolumen	75,1	14,7	2,7	0,2	0,2	1,0	6,1
16. I 32.	После пропускания ч. воду. Nach d. Durchlassen d. d. Wasser	71,9	8,3	0,0	2,1	0,3	0,0	17,0
	Контрольный образец Kontrollgasvolumen	78,2	25,5	2,9	0,3	0,5	0,0	8,6

Эти данные позволяют сделать ряд определенных выводов о тех изменениях, которые претерпевает смесь газов проходя в виде пузырьков через известную толщу воды озера.

Смесь газов проходя в виде пузырьков от дна до поверхности теряет значительную часть первоначального объема благодаря растворению газа в воде. Как показывают опыты приближающиеся по своей постановке к естественным условиям в водоеме, величина эта может быть различна в зависимости от размера пузырьков газа. Чем более распылен газ, тем больше потери и можно думать, что при достаточном распылении газа он может нацело растворяться в воде.

Общее уменьшение объема смеси газов при прохождении им водной толщи сопровождается значительными изменениями в ее составе. Наибольшую относительную величину потери дает водород, затем метан. Смесь обогащается кислородом, содержание которого достигает значительной величины. Величина поставленная в рубрике азота дает увеличение, однако, как говорилось выше, методика анализа не дает основания говорить, что это увеличение прихлится именно на азот.

Подобно тому, как в отношении общей потери в объеме, степени распыленности газа играет значительную роль, так же это влияет и на изменение состава смеси. Сопоставление цифр приведенной выше таблицы V показывает насколько велика разница. При меньшем распылении относительное содержание метана почти не изменяется, а при большем — оно снижается почти на 42% от исходной величины. Так же различна относительная потеря водорода. Попадение в газовой смеси кислорода в случае малого распыления дает 2,7%, а в случае большого — оно достигает 4,5%.

Все это приводит к совершенно очевидному выводу, что между поднимающейся со дна газовой смесью и проходимой пузырьками водной массой, происходит обмен газами. Одним из моментов определяющих интенсивность обмена — это степень распыленности газовой смеси, следствием чего является величина поверхности соприкосновения газа с водой и скорость подъема пузырьков газа.

Имея доказательство наличия газообмена в виде данных об изменении объема и состава газовой смеси, необходимо было получить подтверждение этого явления со стороны тех изменений, которые происходят в воде и содержащихся в ней растворенных газах. Такого рода наблюдения были поставлены в лабораторных условиях. Два цилиндрических сосуда были наполнены водой, таким образом, что высота столба воды равнялась — 38 см. и объем ее около 1800 см³. В один из сосудов была опущена до дна стеклянная грубка, конец которой был оттянут в капилляр.

Наполнены водой сосуды были приблизительно за сутки и содержание в них растворенного кислорода определено непосредственно перед опытом. Через воду одного из сосудов при помощи трубки было пропущено 500 см³ смеси газа, собранной над дном озера на глубине 12,5 м. Непосредственно по окончании пропускания газа в обоих сосудах снова было сделано определение кислорода. Результаты мы приводим на табличке VI.

Tabelle 51		Tabelle 51	
		До опыта	После опыта
		Vor d. Versuch	Nach d. Versuch
Опытный цилиндр	O ₂ mg/l.	9,92	7,98
Контроль		9,42	9,34
Versuchszylinder			
Kontrollzylinder			

Цифры достаточно определенно говорят о том, что прохождение через воду пузырьков газовой смеси, сопровождается потерей воды известного количества кислорода. К сожалению по техническим условиям не удалось поставить подобных экспериментов над изменением содержания других газов в воде при пропускании газовой смеси.

Вот тот фактический материал, которым мы располагаем и который представляет собой лишь наметку основных моментов явления газоотделения со дна озера и влияния его на гидрохимический режим водной массы.

В основе явления газообмена между водой и пузырьками газовой смеси, поднимающихся со дна, лежит различие между парциальным давлением, под которым находятся растворенные в воде газы и парциальным давлением газов в пузырьках. Интенсивность газообмена определяется степенью насыщения растворенного газа и его растворимостью. В частности по отношению к кислороду в газовой смеси в момент ее выделения дном парциальное давление равно нулю, а потому этот газ будет жадно поглощаться пузырьками смеси из раствора.

Эти данные наводят на мысль, что на газовой режим озера должны оказывать известное воздействие явления газообмена между водой и поднимающимся газом. Учесть размеры этого воздействия едва ли сейчас представляется возможным. Попытка такого расчета для кислорода может быть сделана для зимнего подледного периода, когда все пути поступления кислорода в озеро извне закрыты и практически можно не считаться с фотосинтетической продукцией его в самом озере. Исходя из средней величины газоотделения зимой в различных частях газоотделяющей зоны и учитывая площади этих частей, получаем суточное газоотделение для всей зоны около 3500 литров газа. В течение подледного периода до начала поступления в озеро талых вод, длительность которого для Белого озера в среднем 120 дней, со дна будет выделено 120000 литров газа. Как показывают наши данные содержание кислорода в смеси поднимающейся со дна до поверхности может достигать 4,5%. Если из опасения преувеличения мы возьмем содержание кислорода только 2%, то получим, что из озера вместе с пузырьками газа выносится 8400 литров кислорода. Если исходить из содержания кислорода в озере в конце осенней циркуляции перед ледоставом 9 *ксм.л.* и принять, что при полной неподвижности водной массы поглощающее кислород действие газоотделения локализовано в небольшой сравнительно части озера, то мы получим, что к концу подледного периода первоначальный запас в этой ча-

сти озера понизится всего на 0,5%. Очевидно, что эта величина настолько незначительна, что едва ли может иметь какое нибудь практическое значение. В гораздо большем объеме происходит отдача газовой смесью в воду метана и водорода. Мы не имеем никаких определенных данных для суждения о значении для газового режима озера, перехода в воду этих газов и должны ограничиться лишь некоторыми общими соображениями. При очень ничтожной растворимости метана и водорода не вполне понятной является та значительная потеря этих газов, которая происходит при прохождении пузырьков смеси известной толщи воды; очень быстро установилось бы равновесие, при котором дальнейшее поглощение водой метана и водорода приостановилось бы. Это приводит к предположению, что эти газы поступающая в воду каким-то путем потребляются и перестают существовать как таковые. Если это явление действительно имеет место, то очевидно оно микробиологической природы. Возможно развитие в воде процессов окисления метана и водорода, при чем происходит потребление растворенного кислорода. Если это предположение подтвердится дальнейшими исследованиями, то явление донного газоотделения приобретет более серьезное значение, как фактор влияющий на кислородный режим озера.

Нам остается коснуться еще одной стороны явления газоотделения и его воздействия на пространственное распределение гидрохимических элементов в Белом озере. Мы имеем в виду тот механический эффект, который производит непрерывный поток пузырьков газа поднимающихся со дна в водную массу. Не представляется возможным дать количественное выражение этого эффекта, однако целый ряд наблюдений показывает, что его роль может быть достаточно значительной. Поднимаясь из глубоких придонных слоев, которые в периоды стагнации представляют ряд резко выраженных гидрохимических особенностей, поток пузырьков увлекает придонную воду вверх и обуславливает проникновение ее в более высокие слои. При том, что газоотделение локализовано в определенном участке дна, механическое распространение вверх придонных слоев должно получить вполне определенное выражение в гидрохимической стратификации водоема, нарушая горизонтальное положение слоев. Особенности стратификации зимой в Белом озере нами были действительно установлены, но истолковывались нами иным образом. Должны быть поставлены сравнительные наблюдения на ряде водоемов, которые позволят разрешить вопрос о связи между донным газоотделением и специфическими особенностями гидрохимической стратификации.