

1949/1
570

Ф. А. Форель

РУКОВОДСТВО ПО ОЗЕРОВЕДЕНИЮ

19491
570

Керуєм

336

Г. У. З. и З.
Департаментъ Земледѣлія.

ПРОЗЕРНО



Руководство по озеровѣдѣнію

(общая лимнологія)

доктора Ф. А. Фореля,
профессора Лозаннскаго университета.

Съ 1 таблицей и 16 рисунками въ текстѣ.

Переводъ съ нѣмецкаго
смотрителя за рыболовствомъ К. П. Александрова,
подъ редакціей
старшаго спеціалиста по рыболовству И. Д. Кузнецова.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія В. Θ. Киршбаума (отдѣленіе), Новоисаакіевская, 20
1912.



1973 г.

Предисловіе.

Когда нѣсколько лѣтъ тому назадъ издатель географическихъ руководствъ, профессоръ докторъ Ф. Ратцель, обратился ко мнѣ съ предложеніемъ написать для его собранія руководство по озеровѣдѣнію, я выразилъ сомнѣніе въ томъ, что выборъ этотъ долженъ пасть именно на меня. Руководство или учебникъ должны быть безпристрастны, объективны, методичны по плану и изложенію. Ихъ отдѣльныя части должны быть разработаны равномерно и гармонично; ничто существенное въ отдѣльности не можетъ быть упущено, какъ въ частности нельзя особо останавливаться на томъ, что является излюбленнымъ для автора. Обработка матеріала должна быть критически и тщательно обдумана со всѣхъ сторонъ. Какъ разъ этимъ требованіямъ не достаточно удовлетворяетъ тотъ, кто, подобно мнѣ, содѣйствовалъ основанію и постройкѣ соотвѣтственной отрасли знанія, участвовалъ въ выясненіи представлявшихся проблемъ и по отношенію къ теоретическимъ вопросамъ занялъ рѣзко обозначенное положеніе. Мое отношеніе къ озеровѣдѣнію носитъ столь личный и субъективный характеръ, что я едва-ли могу дать въ какомъ-либо направленіи объективное его изложеніе. Надъ этимъ заставилъ я подумать почтеннаго издателя географическихъ руководствъ; при чемъ я указывалъ, что географъ, который, быть можетъ, никогда не садился въ лодку и не забрасывалъ драги, но изучалъ различныя части физической географіи, въ томъ числѣ и озеровѣдѣніе, болѣе пригоденъ для указанной выше

работы, чѣмъ я. Онъ объективно созерцаетъ съ болѣе высокой наблюдательной башни матеріаль наблюдений и теоретическихъ выводовъ, въ то время какъ я, принимавшій столь большое участіе въ многочисленныхъ вопросахъ озеровѣдѣнія, не могъ-бы соблюдать спокойную безпристрастность, являющуюся первымъ требованіемъ при составленіи руководства.

Издатель не раздѣлил моихъ сомнѣній.

Такимъ образомъ я принялъ тогда, послѣ болѣе или менѣе длиннаго промедленія, предложенную мнѣ задачу, быть можетъ къ значительному вреду для читателя, отъ котораго не ускользнутъ истекающія изъ изложенныхъ отношеній недостатки моей книги. Поэтому я заранѣе прошу его о снисхожденіи, если автору не удалось достаточно сократить свою личность и безпристрастно судить объ изысканіяхъ другихъ, также какъ и о своихъ собственныхъ изысканіяхъ, — однимъ словомъ, если книга не явилась вполне объективнымъ руководствомъ общаго озеровѣдѣнія.

Я не хочу публиковать своей общей лимнологіи, не выразивъ теплою благодарности двумъ друзьямъ, сотрудничество которыхъ придало труду ту форму, въ которой она является. Докторъ Е. Вильчекъ (E. Wilczek), профессоръ ботаники въ Лозаннскомъ университетѣ, перевелъ французское изложеніе на нѣмецкій языкъ, а докторъ Эд. Брюкнеръ (Ed. Brückner), профессоръ географіи въ Бернскомъ университетѣ, просмотрѣлъ нѣмецкую рукопись, въ особенности въ отношеніи точной передачи болѣе сложныхъ проблемъ, и пополнилъ ее въ нѣкоторыхъ пунктахъ, какъ напримѣръ въ библиографической части. Если моя книжка появилась въ свѣтъ и вошла, въ видѣ отдѣльнаго томика, въ Энгельхорновскую серію географическихъ руководствъ, то я благодаренъ за это прежде всего содѣйствію обоимъ моимъ друзьямъ и товарищамъ.

Ф. А. Форель.

«Morges» на Женевскомъ озерѣ, въ іюль 1900 года.

Содержаніе.

	Стран.
Предисловіе.	III
Содержаніе.	V
Введеніе.	1
I. Общая лимнологія	1
II. Опредѣленія.	2
III. Географическіе элементы.	4
IV. Метеорологическіе факторы.	5
V. Изслѣдованіе озеръ.	6

Первая часть.

Озерное ложе.

I. Надземныя и подземныя озера	10
II. Образованіе озернаго ложа и возникновеніе озеръ.	11
1. Тектоническія озера.	12
2. Эрозіонныя озера (озера размыванія).	12
3. Плотинныя озера.	17
4. Озера смѣшаннаго происхожденія.	18
III. Ложе озера.	19
IV. Гидрографическія карты	19
V. Превращеніе котловины въ озерное ложе.	21
VI. Отдѣльныя части и области озера.	22
VII. Преобразование котловины подъ вліяніемъ озерной воды.	24
VIII. Преобразование котловины подъ вліяніемъ притоковъ.	27
IX. Отложенія въ озерѣ по ихъ виду и составу.	30
X. Морфометрія.	32
XI. Возрастные ступени озера.	36

Вторая часть.

Озерная вода.

Глава первая.

Гидрологія.

1. Питаніе озера; приходъ воды	38
2. Расходъ воды	39
3. Прѣсныя и соленыя озера	41
4. Пребываніе воды въ озерѣ.	43
5. Лимниметрія	45

Глава вторая.

Гидравлика.

	Стран.
1. Гидростатическое давленіе	49
2. Поверхность озера	49
3. Денивелляціи вообще	50
А. Постоянныя денивелляціи	50
Б. Временныя денивелляціи	51
а) неритмическія денивелляціи	51
б) ритмическія денивелляціи	52
4. Поступательныя волны или просто волны озера	52
5. Сейши	59
Вибраціи озеръ	66
6. Теченія	66
а) Сточное теченіе	66
б) Теченія, вызываемыя динамическими причинами	66
в) Теченія, вызываемыя гидростатическими причинами	68

Глава третья.

Химія озеръ, химическій составъ озерной воды.

1. Составъ притекающей воды	69
2. Измѣненія, претерпѣваемыя водой за время пребыванія въ озеръ	70
3. Вліяніе расхода озеромъ воды	71
4. Озерная вода	73
5. Содержаніе газовъ въ озерной водѣ	76
А. Поверхностная вода	76
Б. Вода глубокихъ слоевъ	78
6. Органическія вещества	80

Глава четвертая.

Термика.

1 Общая часть	80
2. Температура поверхностнаго слоя	90
А. Различія въ температурѣ, обусловливаемыя мѣстомъ	90
Б. Периодическія колебанія	91
3. Соотношеніе температуры озера съ температурою лежащихъ надъ нимъ воздушныхъ массъ	92
4. Температура глубинъ	92
5. Замерзаніе озеръ	100
6. Термическій (тепловой) балансъ	105
7. Термическое дѣйствіе, производимое озеромъ на протекающую черезъ него рѣку	106

Глава пятая.

Оптика.

	Стран.
1. Проникновеніе свѣта въ воду; прозрачность	107
А) граница абсолютной темноты	110
Б) Граница видимости	113
2. Собственный цвѣтъ озеръ	118
3. Отраженіе отъ поверхности. — Кажущаяся окраска	121
4. Явленія преломленія и отраженія	123
А) Рефракція надъ теплою водою	125
Б) Рефракція надъ холодною водою	126

Глава шестая.

Біологія.

1. Общая часть	129
2. Населеніе прѣсныхъ водъ	133
Греческая терминологія въ озеровѣдѣніи	137
3. Литторальная область	140
4. Глубоководная область	148
5. Пелагическая область	152
Планктонъ прѣсноводныхъ озеръ	156
6. Позвоночныя	164
7. Бактеріи	165
8. Происхожденіе озерныхъ сообществъ	170
9. Реликтовые фауны. Остаточныя озера	174
10. Біологическая географія озеръ	176
11. Физиологія озерныхъ организмовъ	177
А) Вліяніе физическихъ свойствъ среды	177
Б) Физиологія растительныхъ функций	180
В) Физиологія животныхъ функций	186
12. Круговоротъ органической матеріи	187
13. Озеро, какъ микрокосмъ	190

Приложенія.

I. Программа лимнологическихъ изслѣдованій	193
II. Библіографія	194

ВВЕДЕНИЕ.

I. Общая лимнологія.

Каждую отрасль естествознанія можно разсматривать съ трехъ точекъ зрѣнія: при описательномъ методѣ соединяются въ видѣ монографіи отдѣльныя наблюденія надъ какимъ-нибудь предметомъ; при сравнительномъ методѣ сопоставляются и группируются факты, полученные при монографическомъ описаніи однородныхъ объектовъ; наконецъ, общій методъ обобщаетъ изслѣдованія, создаетъ законы и теоріи. Сказанное вполне приложимо и къ физической географіи, которая сама есть ничто иное, какъ только синтезъ извѣстныхъ естественно-историческихъ дисциплинъ. Лимнологія, отрасль физической географіи, точно также можетъ разсматриваться какъ лимнологія описательная, сравнительная и обобщающая.

Нѣсколько лѣтъ тому назадъ мною была выполнена монографическая работа по лимнологіи Женевского озера ¹⁾. При этомъ мнѣ пришлось натолкнуться на цѣлый рядъ проблемъ общей лимнологіи, которыя будутъ разсмотрѣны ниже. Въ логической послѣдовательности за этой монографіей должна была-бы идти и сравнительная лимнологія, т. е. слѣдовало-бы собрать, проанализировать и расположить по сравнительнымъ группамъ всѣ безчисленныя наблюденія, произведенныя до сихъ поръ надъ отдѣльными озерами всего земного шара. Подобное сравнительное сопоставленіе научныхъ работъ особенно важно для лимнологіи, такъ какъ за послѣднія двадцать лѣтъ въ этой отрасли знанія накопилась такая масса отдѣльныхъ наблюденій, какъ едва-ли въ какой иной вѣтви природовѣдѣнія. Но взять на

¹⁾ *Le Léman*. Monographie limnologique. Lausanne, Tom. I. 1892. Tom. II. 1895. Tom. III. 1901.

себя лично этот труд я не могъ отважиться уже по одному тому, что живу слишкомъ далеко отъ какой-либо изъ болѣе значительныхъ географическихъ библиотекъ. Уступая такимъ образомъ эту важную работу другому лицу, я первый съ радостью буду привѣтствовать появленіе труда по сравнительной лимнологіи, гдѣ въ строгомъ порядкѣ будутъ распредѣлены тѣ многочисленныя наблюденія, которыя въ настоящее время разбросаны по различнымъ частямъ географической, а также и общей естественно-исторической, литературы.

Въ предлагаемомъ трудѣ я ограничиваюсь общей лимнологіей, общимъ озеровѣдѣніемъ, излагая лишь общіе, относящіеся къ озерамъ вообще наблюденія, законы и теоріи. Всякое озеро можетъ быть разсматриваемо, какъ извѣстная географическая единица, само по себѣ и въ отношеніи къ окружающей его мѣстности. Мы должны разсмотрѣть строеніе озернаго ложа, составъ воды, силы, приводящія воду въ движеніе, мертвыя и живыя постороннія тѣла, которыя встрѣчаются въ озерѣ, отношеніе озера къ покоящемуся на его поверхности воздуху и къ минеральнымъ породамъ, образующимъ его ложе.

При этомъ мы строимъ свои выводы главнымъ образомъ на изысканіяхъ, относящихся къ озерамъ умѣренного пояса Европы и Сѣверной Америки, такъ какъ только эти озера являются достаточно изученными во всѣхъ отношеніяхъ. Впрочемъ, вездѣ, гдѣ это возможно, мы принимали въ должное вниманіе также и тѣ отрывочныя наблюденія, какія имѣются по отношенію къ озерамъ другихъ областей.

II. Опредѣленія.

Терминомъ «озеро» обозначается масса стоячей воды, находящаяся въ почвенномъ углубленіи¹⁾ и со всѣхъ сторонъ замкнутая, слѣдовательно, не имѣющая прямой связи съ моремъ.

Такое опредѣленіе является исчерпывающимъ, такъ какъ одновременно охватываетъ оба главныхъ составныхъ элемента озера — его ложе и содержащуюся въ немъ воду. И нѣтъ ни одного озера, которое не подходило-бы подъ данное опредѣленіе. Оно непримѣнимо къ водоемамъ, имѣющимъ какую-либо связь съ океаномъ, каковы лагуны,

эстуаріи, средиземныя моря; таковыя должны быть выдѣлены главнымъ образомъ по соображеніямъ біологическаго характера: животныя и растительныя организмы моря могутъ безпрепятственно распространяться по всѣмъ, непосредственно соединеннымъ съ моремъ, водоемамъ; проникновеніе же въ озера изъ морей подобныхъ организмовъ можетъ происходить лишь косвеннымъ путемъ.

Точно также и океаны не могутъ подойти подъ данное выше опредѣленіе озера, такъ какъ, въ противоположность озерамъ, они не являются водоемами, имѣющими границы и со всѣхъ сторонъ замкнутыми.

Наше опредѣленіе совершенно оставляетъ въ сторонѣ размѣры озера. Всякая лужа, собственно говоря, есть озеро въ миниатюрѣ и въ качествѣ таковаго является мѣстомъ различныхъ лимнологическихъ явленій въ маломъ размѣрѣ. Разумѣется, въ жизни такія ничтожныя скопленія воды не носятъ названія озеръ, а это наименованіе удерживается за водоемами, имѣющими лишь болѣе или менѣе значительную поверхность. Но въ наукѣ трудно указать границу, отдѣляющую озера отъ небольшихъ скопленій воды. Нѣкоторыя горныя озера представляютъ поверхность всего въ нѣсколько тысячъ квадратныхъ метровъ и тѣмъ не менѣе они безспорно являются истинными озерами.

Съ точки зрѣнія физической географіи къ одной категоріи съ озерами относятся пруды и болота; эти послѣднія вмѣстѣ съ озерами образуютъ непрерывный рядъ, члены котораго тѣмъ труднѣе отдѣлать другъ отъ друга, что они, какъ мы увидимъ это дальше, возникаютъ одинъ изъ другого. Въ видахъ цѣлесообразности мы установимъ теперь извѣстную классификацію членовъ этого ряда, перенося обоснованіе ея на дальнѣйшее изложеніе.

Озера (Seen) въ тѣсномъ смыслѣ слова суть озера, обладающія довольно глубокою центральною областью, въ которую не можетъ проникать литторальная (прибрежная) флора.

Пруды (Weiher, étangs) суть озера съ такою незначительною глубиной, что водяная литторальная флора можетъ получить въ нихъ повсемѣстное распространеніе.

Наконецъ, болота (Sümpfe) представляютъ собою пруды, столь неглубокіе, что хорошо развитыя болотныя растенія всюду могутъ давать побѣги, выдающіеся надъ водной поверхностью.

Итакъ, согласно нашему опредѣленію, озеро представляетъ собою заключенную въ углубленіи земли водную массу. Соотвѣтственно съ этимъ, мы разсмотримъ сначала самое хранилище, или озерное ложе, и уже затѣмъ содержащуюся въ немъ воду.

¹⁾ Или котловинѣ, ваннѣ (Wanne) — по Пенку. (Penck, Morphologie der Erdoberfläche. II. S. 203. Stuttgart, 1894).

III. Географическіе элементы.

Для характеристики озера въ лимнологическомъ отношеніи имѣютъ значеніе слѣдующіе географическіе элементы:

1. Положеніе озера вообще опредѣляетъ климатъ той страны, гдѣ расположено данное озеро.

2. Географическая широта обуславливаетъ температурныя условія озера. Чѣмъ ближе озеро къ экватору, тѣмъ оно должно быть теплѣе при прочихъ равныхъ условіяхъ.

3. Абсолютная высота уровня озера надъ уровнемъ моря является точно также весьма важнымъ факторомъ для его термическихъ явленій. Чѣмъ выше лежитъ озеро, тѣмъ холоднѣе въ немъ будетъ вода сравнительно съ другими озерами, находящимися въ одинаковыхъ съ нимъ прочихъ условіяхъ, и тѣмъ продолжительнѣе будетъ періодъ, въ теченіе котораго озеро имѣетъ ледяной покровъ. Абсолютной же высотой обуславливается въ значительной степени и фауна вмѣстѣ съ флорой. Кромѣ того, въ равнинныхъ озерахъ легче, нежели въ горныхъ, могутъ происходить какъ активныя, такъ и пассивныя переселенія организмовъ.

4. Величина площади озера имѣетъ рѣшающее значеніе для величины и силы движенія его водныхъ массъ. Чѣмъ больше озеро, тѣмъ сильнѣе въ немъ волны и теченія. Напротивъ, величина измѣненій стоянія водъ находится въ обратномъ отношеніи къ протяженности озера. Испареніе же воды и прямое сгущеніе паровъ (конденсация) на большихъ озерахъ абсолютно больше, но относительно меньше, чѣмъ на малыхъ.

5. Глубиною озера обуславливается движеніе воды при обычномъ волненіи, а также при сейсахъ.

Максимальная глубина имѣетъ значеніе для извѣстныхъ біологическихъ явленій и въ то же время представляетъ большую цѣнность въ вопросѣ о происхожденіи (генезисѣ) даннаго озера.

Средняя глубина озера, которую опредѣляютъ дѣленіемъ объема озера на его поверхность, даетъ при сравненіи ея съ максимальной глубиною извѣстную опору для сужденія объ общей формѣ озернаго ложа. Такъ, напримѣръ, если-бы данное озеро по своему строенію являлось конусомъ (воронкой), то объемъ его былъ-бы равенъ его поверхности, умноженной на одну треть его максимальной глубины, и этотъ множитель представилъ-бы собою среднюю его глубину. Но въ природѣ рѣдко можно встрѣтить случай съ такимъ соотношеніемъ. Большею частью средняя глубина соотвѣтствуетъ поло-

винѣ или даже еще большей части глубины максимальной. Отсюда слѣдуетъ, что въ большинствѣ случаевъ озера должны представлять собою какъ-бы усѣченный конусъ, конусъ со сръзанной вершиной. И на самомъ дѣлѣ, мы находимъ у большинства озеръ въ ихъ наиболѣе глубокихъ мѣстахъ равнинную поверхность дна, образованную аллювіальными наносами, благодаря чему идеальная конусообразная форма является въ громадномъ большинствѣ случаевъ сильно измѣненной.

6. Объемъ водной массы обуславливаетъ собою въ сильной степени ея химизмъ и термику¹⁾. Чѣмъ болѣе озеро, тѣмъ незначительнѣе колебанія въ химическихъ и термическихъ отношеніяхъ. Далѣе, объемъ озера оказываетъ вліяніе на величину населяющихъ его животныхъ и растительныхъ организмовъ.

7. Величина бассейна обуславливаетъ количество воды, доставляемой озеру его притоками; при равныхъ прочихъ условіяхъ количество получаемой озеромъ воды прямо пропорціонально величинѣ его бассейна. Отъ соотношенія-же между поверхностью озера и количествомъ воды, приносимой притоками, или, короче говоря, отъ величины бассейна, зависитъ величина колебаній уровня озера. Что же касается отношенія объема озера къ водной массѣ его притоковъ, то это отношеніе обуславливаетъ размѣръ химическихъ измѣненій и можетъ имѣть значеніе для термическихъ колебаній.

8. Притокъ воды въ озеро черезъ впадающія въ него рѣчки является важнымъ факторомъ для лимиметрическихъ, термическихъ и химическихъ измѣненій въ озерѣ, смотря по тому, будетъ-ли этотъ притокъ слабый, средній или большой по своей силѣ.

10. Положеніе озера на пути теченія рѣки, т. е. когда черезъ озеро протекаетъ рѣка (проточныя озера, Flusseen), или въ концѣ рѣки, которая его питаетъ (глухія, конечныя озера, Endseen)—вліяетъ на развитіе въ озерѣ органической жизни, такъ какъ отъ этого зависитъ, съ большею или меньшею легкостью совершается активная и пассивная миграція животныхъ и растений.

IV. Метеорологическіе факторы.

Для естественной исторіи озера имѣютъ значеніе слѣдующіе мѣстные климатическіе факторы:

1. Температура воздуха, регулирующая тепловой обмѣнъ, происходящій на поверхности озера.

¹⁾ Такъ для краткости мы называемъ „химическія“ и „термическія“ явленія.

2. Водяные метеоры, а именно:

а) *Абсолютная влажность воздуха*, определяющая собою точку росы; отъ отношенія точки росы къ температурѣ поверхности озера зависитъ, будетъ-ли происходить испареніе озерной воды или, наоборотъ, ея конденсація.

б) *Относительная влажность*, отъ которой зависитъ степень облачности и многочисленности осадковъ.

в) *Облачность*, обусловливающая то или иное количество лучистой теплоты солнца, получаемой озеромъ, и, наоборотъ, количество теплоты, излучаемой его поверхностью въ атмосферу и въ міровое пространство.

г) *Осадки*, отъ которыхъ зависитъ питаніе озера.

3. Вѣтры; они оказываютъ огромное вліяніе на движеніе воды въ озерѣ, на его волненія и теченія. При этомъ вѣтры имѣютъ выдающееся значеніе для всей данной области въ смыслѣ климатическомъ.

Необходимо различать слѣдующіе вѣтры:

а) *Вѣтеръ вообще*, обыкновенный вѣтеръ, приносящій воздухъ изъ отдаленныхъ мѣстностей.

б) *Бури*, сопровождаемыя грозой и шквалами и сразу нарушающія покой атмосферы.

в) *Мѣстные вѣтры*, бризы, производящіе обмѣнъ воздуха между двумя разными частями той мѣстности, гдѣ лежитъ данное озеро. Именно наличностью озера эти вѣтры непосредственно и вызываются, такъ какъ на атмосферу озеро дѣйствуетъ въ термическомъ отношеніи совершенно иначе, чѣмъ окружающая его суша. Лѣтомъ по ночамъ дуетъ вѣтеръ съ берега—въ центростремительномъ направленіи, съ суши на озеро, а днемъ въ центробѣжномъ—съ озера на сушу. Зимой же и днемъ дуетъ преимущественно вѣтеръ съ берега.

4. Мѣстные колебанія въ атмосферномъ давленіи; они являются главною причиною такъ называемыхъ сейшъ.

V. Изслѣдованіе озеръ.

Благодаря той энергіи, съ которою производились естественно-историческія изслѣдованія озеръ во второй половинѣ XIX-го столѣтія, разсматриваемая нами отрасль науки, лимнологія, значительно подвинулась впередъ въ своемъ развитіи. За короткое время накопилось множество какъ отрывочныхъ, такъ и строго систематическихъ, наблюденій, различнаго рода монографическихъ описаній и теоретическихъ изслѣдованій. Столь живой интересъ къ озеровѣднію объясняется слѣдующими тремя причинами:

Во-первыхъ, за послѣднее время къ изученію озеръ относятся и шире, и вдумчивѣе. Продолжительное время въ этой области приходилось пользоваться лишь отдѣльными, часто случайными изслѣдованіями. Такъ физикъ наблюдалъ температуру воды, гидротехникъ измѣрялъ высоту уровня водъ въ озерѣ, изучая ея колебанія; зоологъ и ботаникъ собирали, штудировали и описывали лишь то, что относилось къ специальности каждаго, независимо другъ отъ друга, не имѣя никакой общей исходной точки и не дѣлая даже и попытки достигнуть какихъ-либо общихъ результатовъ. Но вотъ, наконецъ, наступило и то благодатное время, когда мощно развилась океанографія, благодаря тому, что ученые различныхъ специальностей стали одновременно производить систематическія океаническія изслѣдованія и каждый отдѣльный фактъ разсматривать въ связи съ другими, объясняющими его, фактами. И съ тѣхъ поръ какъ океанографы создали новую отрасль естествознанія, лимнологія въ своемъ развитіи сразу двинулась впередъ; она обратилась къ тѣмъ-же средствамъ и методамъ для достиженія наибольшаго успѣха. Появленіе въ свѣтъ въ 1873 году сдѣлавшаго эпоху труда Уивилля Томсона: «Глубины моря» (The Depths of the Sea) положило начало періоду широкаго развитія океанографіи; экспедиція же «Челленджера» сдѣлала океанографію общепризнанной наукой.

Одновременно съ этимъ¹⁾ стала развиваться и лимнологія, конечно, въ болѣе скромныхъ рамкахъ, чѣмъ ея старшая сестра, данными которой она широко воспользовалась. Хотя при этомъ лимнологія и не достигла тѣхъ, имѣющихъ міровое значеніе, результатовъ, которыми, по справедливости, можетъ гордиться океанографія, тѣмъ не менѣе и она содѣйствовала въ свою очередь дальнѣйшему развитію своей старшей сестры, такъ какъ лимнологическія изслѣдованія стоятъ ближе къ лабораторной работѣ и въ то же время, по причинѣ сравнительной незначительности поля изученія, доступнѣе для экспериментальнаго метода, чѣмъ изслѣдованія океанографическія. Во всякомъ же случаѣ лимнологическія изслѣдованія оказали большія услуги географіи.

Вторымъ моментомъ, способствовавшимъ дѣлу развитія озерныхъ изслѣдованій, является индивидуализмъ, присущій озерамъ. Въ то время, какъ море безгранично и всѣ его части находятся въ неразрывной взаимной другъ съ другомъ связи, — всякое озеро является вполне замкнутымъ и рѣзко ограниченнымъ цѣлымъ. Море есть макрокосмъ, озеро же—микрокосмъ. Всякое озеро, взятое въ отдѣльности, предста-

¹⁾ F. A. Forel, Introduction à l'étude de la faune profonde du lac Léman. Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. X, 468. Lausanne, 1869.

влияет собою известную единицу и в качестве таковой является полем действия всех природных сил, легко поддающимся изучению, благодаря своей малой площади. Значение этого факта ясно доказывается каждой главой лимнологии. Взаимные действия различных сил природы и производимые ими изменения здесь можно лучше оценить, измерить и исчислить, чем в океане или в какой-либо области на суше: всякое озеро характеризуется резко выраженными индивидуальными признаками географического характера, как никакой другой географический объект. Всякое озеро является самодовлеющим организмом, имея свои особенные свойства, свою особую историю в прошлом и настоящем, и потому всякое озеро заслуживает специального описания. Поэтому-то так привлекательно и представляет научную ценность изучение озер вообще и каждого из них в отдельности!

Наконец, *третий* момент.

До появления работ нашего поколения, большая часть водной массы озер, собственно говоря, представляла собою в полном смысле слова — terra incognita. Глаз был в состоянии проникнуть в глубь мало прозрачной воды всего только на несколько метров; глубины озер были неизвестны, пока не были выработаны остроумные методы, сделавшие их доступными нашему наблюдению. Лот, к которому приобщаются термометр, фотографический аппарат, батометр, трал и различного рода драги, являются приборами, с помощью которых современный исследователь проникает в тайники природы, совершенно неизвестные нашим предшественникам.

Вновь открытая, бывшая до сего времени неизвестною, область знания — озероведение — привлекала, как это всегда бывает, многочисленных работников, и благодаря совместной работе целых сотен исследователей, лимнология завоевала себе самостоятельное место среди прочих наук.

Постараемся же теперь выяснить, какое место эта ветвь географии занимает среди других отделов этой отрасли знания.

География есть наука о земле и, в качестве таковой, изучает литосферу, гидросферу и атмосферу. Изучением гидросферы занимается специально гидрография. Вода в жидком состоянии встречается на земле в трех видах: в морях, озерах и реках. Соответственно этому и гидрография делится на три отдела:

океанографию, занимающуюся не имеющим границ, повсюду сливающимся, морем;

лимнологию, изучающую озера, которые представляют собою части гидросферы, разбросанные по земле, подобно островам;

наконец, реологию, имеющую своим предметом текущую воду земной поверхности, — ключи, ручьи, реки и потоки.

Если же мы отнесем к гидросфере также и водные массы на земле, являющиеся в твердом состоянии, в виде глетчеров, то придется образовать еще четвертый отдел гидрографии — гляциологию.

Таким образом лимнология есть один из отделов гидрографии, которая в свою очередь представляет собою одну из ветвей географии¹⁾.

¹⁾ Собственно говоря, я охотнее предпочел бы громкому выражению — *лимнология* более скромное слово *лимнография*. Но этот термин употребляется в настоящее время в другом смысле: лимнографом называют прибор для измерения высоты стояния воды в озерах, а лимнографией — учение о колебаниях уровня воды в озерах. Поэтому, чтобы избежать путаницы в понятиях, я вынужден пользоваться вошедшим ныне во всеобщее употребление термином — лимнология.

ПЕРВАЯ ЧАСТЬ.

Озерное ложе.

При разсмотрѣніи озернаго ложа, т. е. того углубленія, которое наполнено стоячею водою, необходимо различать слѣдующіе четыре пункта этого вопроса:

- а) нахожденіе ложа; оно можетъ быть расположено надъ или подъ земною поверхностью (наземныя, или открытыя, и подземныя озера);
- б) возникновеніе ложа;
- в) тѣ перемѣны или метаморфозы, которымъ ложе подвергается съ теченіемъ времени;
- г) свойства ложа.

1. Надземныя и подземныя озера.

По своему положенію озера могутъ быть раздѣлены на слѣдующіе два класса:

- а) Озера, которыя прямо лежатъ на земной поверхности и которыя мы, по примѣру *Ломбардини* ¹⁾, назовемъ открытыми озерами. Къ этому классу относится большинство озеръ.
- б) Подземныя озера со стоячею водою, наполняющею углубленія на днѣ пещеръ. Такія пещерныя озера представляютъ собою въ большинствѣ случаевъ ничто иное, какъ озерообразныя расширенія подземныхъ рѣчекъ, расширенія, образовавшіяся отъ проваловъ или засыпанія русла рѣкъ. Они никогда не отличаются сколько-нибудь значительнымъ протяженіемъ и глубиною; хотя эти озера въ различныхъ отношеніяхъ и представляютъ интересъ, но мы здѣсь ихъ не будемъ касаться, такъ какъ они въ своемъ цѣломъ не отдѣлимы отъ подземныхъ рѣкъ, которымъ они обязаны своимъ происхожденіемъ и одну изъ составныхъ частей которыхъ они собою представляютъ. Притомъ-же у нихъ отсутствуетъ тотъ ярко выраженный индивидуаль-

¹⁾ *Lombardini*. Della natura dei laghi. Met. Ist. Lombardo II. 1845. 393.

ный характеръ, который такъ рѣзко выступаетъ у озеръ открытых и который играетъ весьма важную роль въ географическомъ отношеніи. Поэтому мы не будемъ ближе входить въ разсмотрѣніе настоящаго класса озеръ.

II. Образованіе озернаго ложа и возникновеніе озеръ.

Образующіяся на земной поверхности котловины (*Wannen, cuvettes*) ¹⁾, въ которыхъ собирается вода, могутъ быть весьма различнаго характера. Соотвѣтственно своему происхожденію, онѣ дѣлятся на котловины, возникшія благодаря провалу или осѣданію массъ горныхъ породъ; на котловины, происшедшія отъ разрушенія тѣхъ же породъ, и, наконецъ, на котловины, образованныя загражденіемъ, запрудившимъ воду. Соотвѣтственно этому и процессы, влекущіе за собою образованіе озеръ, могутъ быть процессами или тектоническими, смѣшанными, или же эрозійными, уничтожающими тѣ или иные слои, или же наносными, образующими посреди рѣки преграду, задерживающую стокъ ея воды. Озеро часто бываетъ и сложнаго происхожденія, когда въ возникновеніи его приняли участіе два или большее число вышеупомянутыхъ процессовъ.

Каждое озеро имѣетъ свою собственную, часто совершенно отличную отъ другихъ, даже сосѣднихъ озеръ, исторію. Эту исторію можно узнать, изучая геологическое строеніе окрестности и особенности озернаго ложа ²⁾.

Нѣсколько лѣтъ тому назадъ *А. Пенкъ* ³⁾ далъ обстоятельный обзоръ и классификацію котловинъ и котловинныхъ областей земнаго шара. Онъ различаетъ котловины сухія и наполненныя водою, глухія озера, т. е. не имѣющія стока, и проточныя — со стокомъ. Мы не будемъ входить въ подробности вопроса о происхожденіи котловинъ, отсылая интересующихся къ сочиненію Пенка «Морфологія земной поверхности»; впрочемъ, въ одной изъ послѣдующихъ главъ мы еще вернемся къ разсмотрѣнію значенія для озера факта наличности или отсутствія стока его водъ.

¹⁾ Выраженіе «котловина» употребляется здѣсь въ строго опредѣленномъ, тѣсномъ смыслѣ; подъ нимъ слѣдуетъ понимать всякое углубленіе почвы, въ которомъ можетъ собираться стоячая вода, независимо отъ вліянія, оказываемаго водою на самыя стѣнки хранилища. Такимъ образомъ котловина есть помѣщеніе озера *in statu nascendi*. Озерное-же ложе (*Seebecken*), напротивъ, подвергается всѣмъ, описаннымъ въ дальнѣйшемъ изложеніи, вліяніямъ воды, представляя собою такимъ образомъ уже преобразованную котловину.

²⁾ Ср. *W. M. Davis*, On the classification of lake bassins. Boston Soc. of Nat. History. XXI. 315. 1882.

³⁾ *A. Penck*. Morphologie der Erdoberfläche. II. 203. Stuttgart, 1894.

1. Тектоническія озера.

По отношенію ко всякой области земного шара, находящейся въ процессѣ образованія складокъ, мыслима возможность образованія котловинъ. Антиклинали и синклинали, которые являются въ результатъ сдвиговъ земной коры, нерѣдко бываютъ неправильными, такъ что въ синклинали образуется котловина, въ которой можетъ скопляться вода, и такимъ образомъ можетъ возникнуть озеро (озера St. Point и Remorey вблизи Pontarlier, по Делебеку) ¹⁾.

Разсуждая теоретически, можно допустить, что и при разрывѣ антиклинали образуется котловина, дающая пріютъ озеру, если только дно происшедшей разсѣлины достаточно непроницаемо и можетъ удерживать попадающую туда воду ²⁾.

Въ странахъ, подверженныхъ складчатости, происхожденію котловинъ содѣйствуютъ сбросы, если они располагаются поперекъ синклинали и опустившійся край сдвига лежитъ вверху долины; тогда край, лежащій ниже по долину, является запрудой, преграждающей теченіе проходящей по ней рѣки, и вновь образовавшаяся котловина превращается въ озеро. Такимъ же образомъ мѣстное поднятіе въ нижнихъ частяхъ долинъ или соотвѣтственное опусканіе въ верхнихъ можетъ явиться причиною образованія озера.

Кромѣ перечисленныхъ случаевъ складчатости образованіе котловинъ, равно какъ и самыхъ озеръ, можетъ происходить въ равнинахъ и на плоскогоріяхъ, если мѣстныя поднятія и опусканія будутъ препятствовать стоку воды.

Такимъ образомъ, тектоническія явленія, каковыми являются складки, сдвиги и сбросы, сами по себѣ, безъ всякаго содѣйствія другихъ факторовъ, могутъ послужить причиною образованія озеръ. Но озера чисто тектоническаго происхожденія встрѣчаются сравнительно рѣдко.

2. Эрозіонныя озера (озера размыванія).

Эрозіонные процессы и процессы денудации, дѣйствуя совмѣстно, могутъ повести къ образованію какъ озерныхъ котловинъ, такъ и самыхъ озеръ. Разсмотримъ слѣдующіе виды процессовъ размыванія (эрозія):

Эрозія, производимая воздухомъ (эолическая эрозія или денудация). Вѣтеръ уноситъ массы песку и пыли, образующіяся

¹⁾ André Delebecque. Les lacs français. Paris. 1898.

²⁾ Въ новѣйшее время разрывы антиклиналей объясняютъ не образованіемъ разсѣлинъ, а процессомъ денудации.

на поверхности земли при распаденіи горныхъ породъ въ сухихъ странахъ. Онъ уноситъ оттуда пыль, образующую почву степей, чтобы отложить ее гдѣ-нибудь въ другомъ мѣстѣ. Такимъ образомъ возникаютъ то здѣсь, то тамъ обширныя, плоскія котловины, въ которыхъ во время дождей можетъ скопляться вода (различнаго рода степныя озера, Schotts, Sebkas). Но вѣтеръ дѣйствуетъ неравномерно: то выдувая, то осаждая мелкія частицы почвы на одномъ и томъ-же мѣстѣ, и это можетъ повести къ тому, что котловина, происшедшая благодаря вѣтру, впоследствии подъ влияніемъ вѣтра-же можетъ быть сравнена вновь съ поверхностью почвы. И вообще дѣйствіе эолической эрозіи настолько незначительно, что я упоминаю о ней лишь для полноты изложенія.

Эрозія, производимая водою (размываніе). Здѣсь различаются:

а) *Эрозія, вызываемая стоячею водою*; она обуславливается исключительно химическимъ дѣйствіемъ воды. Если масса воды собирается въ плоской, равнинной котловинѣ на растворимомъ слоѣ (напримѣръ, на гипсѣ), то послѣдній растворяется. И если насыщенная такимъ образомъ вода имѣетъ стокъ и можетъ замѣняться новой, то глубина котловины увеличивается, что можетъ повести къ образованію настоящаго озернаго ложа (Lac de la Girotte, по Делебеку ¹⁾). Но образующійся въ озерѣ слой ила, выстилая котловину, вскорѣ полагаетъ границу дальнѣйшему углубленію.

б) *Эрозія, производимая текучею водою*. Она дѣйствуетъ одновременно и химически-растворяющимъ образомъ и механически-разрушающимъ и уносящимъ прочь элементы разрушенія. Механическая эрозія, одна, не можетъ образовывать котловины, а можетъ повести только къ образованію долинъ съ равномернымъ склономъ. Вымытые эрозіей изъ грунта разнаго рода гальки могутъ странствовать только внизъ по теченію воды до встрѣчи со значительнымъ препятствіемъ, котораго она не въ силахъ преодолѣть. При помощи этихъ путешествующихъ внизъ по рѣчному ложу галекъ возникаютъ углубленія, ямы, котлы, которые, напримѣръ, встрѣчаются у подножія водопадовъ; но едва-ли этимъ мелкимъ котловинамъ, наполненнымъ водой, можетъ быть присвоено названіе озера. Самая большая изъ извѣстныхъ котловинъ такого происхожденія, у подножія Ниагарскаго водопада, представляла-бы собою, если-бы отвести потокъ, настоящее озеро глубиною почти въ 50 метровъ, но шириною всего въ нѣсколько сотъ метровъ.

Химическое дѣйствіе текучей воды выражается особенно энергично при проложеніи, расширеніи и углубленіи подземныхъ хо-

¹⁾ l. c., стр. 318.

довъ и бассейновъ. Въ этихъ случаяхъ разсматриваемый факторъ является почти единственнымъ и только ему одному приходится часто приписать образованіе значительныхъ по величинѣ пещеръ. При нѣкоторыхъ условіяхъ онъ можетъ косвеннымъ путемъ привести къ образованію даже и открытыхъ озеръ. Это въ томъ случаѣ, если подземный ходъ сильно расширится и наступитъ моментъ, когда крыша его подастся подъ тяжестью составляющихъ ее слоевъ и станетъ обваливаться; когда разрушеніе слоевъ достигнетъ поверхности, образуется открытая котловина, могущая стать озеромъ, если стокъ воды будетъ затрудненъ (Мансфельдскія озера).

Глетчерная эрозія. Можетъ-ли глетчеръ посредствомъ эрозиі образовывать котловину? Этотъ вопросъ съ 1860 года, съ того времени, когда онъ былъ поставленъ *Рамсэемъ*, *Тиндалемъ*, *Габріель-де-Мортійэ* и *Гастальди*, не перестаетъ возбуждать споры. Такіе выдающіеся изслѣдователи, какъ *Джесемъ* и *Арчибальдъ Гейки* и *Р. Уоллесъ* въ Англіи, *Ф. ф. Рихтгофенъ* и, прежде всего, *А. Пенкъ* и его ученики въ Германіи и Австріи, стоятъ за возможность образованія котловинъ глетчерами ¹⁾. Но это мнѣніе весьма рѣшительно оспаривается всѣми швейцарскими геологами и многочисленными учеными другихъ странъ, каковы, напримѣръ, *Балль*, *Мурчисонъ*, *Пфаффъ*, *Б. Студеръ*, *А. Фавръ*, *Л. Рютимейеръ*, *А. Геймъ*. Поэтому данный вопросъ заслуживаетъ внимательнаго разсмотрѣнія. Подробный критическій обзоръ этого спора завелъ-бы насъ слишкомъ далеко, — почему мы ограничимся приведеніемъ лишь вкратцѣ важнѣйшихъ доводовъ въ пользу нашего взгляда, являющагося противоположнымъ теоріи Рамсэя.

1) Глетчеръ, являясь пластической массой, разрушаетъ дно и боковыя стѣны долины, въ которой онъ движется, при помощи уносимыхъ имъ съ собою обломковъ скалъ. Это положеніе можно считать прочно установленнымъ безчисленными наблюденіями.

2) Но самихъ рытинъ (экскаваціи) глетчеръ своей подошвой не образуетъ. Подъ рывиною я здѣсь подразумѣваю углубленіе въ видѣ впадины со стѣнками, иначе сказать котловину, въ которой могла-бы собраться вода. Въдѣ экскавація предполагаетъ не только механическое разрушеніе скалистаго ложа, т. е. размельченіе его въ гальку, песокъ и илъ, но также и дальнѣйшій выносъ этихъ продуктовъ разрушенія. Если же этого выноса не происходитъ, то изъ обломковъ возникаетъ вскорѣ основная морена такой толщины, что она должна предохранить ложе глетчера отъ дальнѣйшей эрозиі. Для того, чтобы постоянно новыя массы горныхъ породъ были доступны глетчерной эрозиі, необходимо существованіе потока подъ глетчеромъ,

¹⁾ Ср. литературныя указанія у *А. Пенкъ*, *Vergletscherung der deutschen Alpen*. Leipzig. 1882. Стр. 368 и слѣд.

сносящаго донную морену по мѣрѣ ея образованія. Но это перенесеніе при посредствѣ текучей воды возможно только по склону, но не противъ него. При возникновеніи же препятствія въ видѣ противосклона теченіе воды, а съ нимъ и переносъ, должны были-бы прекратиться. Весь матеріалъ, суспендированный въ такомъ глетчерномъ ручьѣ, долженъ былъ бы тотчасъ осѣсть въ водѣ, прекратившей, благодаря противосклону, свое теченіе, и заполнить всю котловину. Такимъ образомъ на всемъ протяженіи выноса донной морены глетчернымъ ручьемъ исключается всякая возможность возникновенія котловины ¹⁾.

Но при этомъ напрашивается вопросъ, не могутъ-ли происходить рытины отъ того, что глетчеръ въ своихъ нижнихъ слояхъ несетъ включенные въ ледъ глыбы и камни? Я лично противъ такого мнѣнія. Всѣ мои наблюденія надъ глетчерами показали, что этотъ транспортъ, собственно говоря, весьма незначителенъ. Допустимъ, далѣе, что еще можно понять, какимъ образомъ нижній слой глетчера можетъ присоединить къ себѣ тотъ или иной обломокъ, находящійся на выдающейся выпуклинѣ глетчернаго ложа, но нельзя при этомъ уразумѣть, какъ можетъ глетчеръ захватывать и уносить съ собою части своего скалистаго ложа, послѣ того, какъ онъ его уже однажды выгладилъ и произвелъ вогнутыя углубленія.

3) Ни разу не было замѣчено по отношенію къ современнымъ глетчерамъ, чтобы при ихъ отступаніи далеко назадъ, когда-нибудь и гдѣ-нибудь въ твердой скалѣ или въ донной моренѣ наблюдалась котловина; она не образуется даже у подножія ледниковаго обрыва, какъ это показываетъ Ронскій глетчеръ. Однородный склонъ подошвы долины, по которой прошелъ ледникъ, нигдѣ не обнаруживаетъ углубленія или противосклона.

4) Главнымъ аргументомъ въ пользу рамсэевской гипотезы приводится существованіе пояса субъ-альпійскихъ озеръ (краевыхъ озеръ — *Randseen*), расположенныхъ на краю тѣхъ высокихъ горъ, которыя когда-то, въ эпоху чрезвычайнаго развитія ледниковъ, переживали мѣстный періодъ оледенѣнія, какъ-то: Альпы, Скандинавскія горы, Ново-Зеландскія альпы и т. д. Но этотъ аргументъ значительно теряетъ въ своей силѣ, если обратить вниманіе на то, что существованіе краевыхъ озеръ можетъ быть объяснено инымъ способомъ. Гипотеза, формулированная *Лайелемъ* ²⁾, *Геймомъ* ³⁾ и мною ⁴⁾, даетъ

¹⁾ Ср. дальнѣйшее развитіе этого аргумента у *F. A. Forel*, *Léman*, I, стр. 139 и слѣд.

²⁾ *Lyell*, *Ancienneté de l'homme*, trad. M. Chaper. Paris, 1864, p. 332.

³⁾ *A. Heim*, *Entstehung der alpinen Randseen*. Vierteljahresschrift der Züricher Nat. Gesellsch. XXIX. Zürich, 1894.

⁴⁾ *F. A. Forel*. Société Vaud. Sc. nat. 8 janv. et 5 mars 1890. Le Léman. I, 211 и слѣд.

вполнѣ удовлетворительное объясненіе происхожденія краевыхъ озеръ. Эта гипотеза въ той формѣ, какую я ей придаю, обобщивъ ее въ нѣкоторыхъ пунктахъ, можетъ быть примѣнена вообще ко всѣмъ высокимъ цѣпямъ горъ съ краевыми озерами.

Въ странахъ, гдѣ земная кора, благодаря сокращенію внутренней земного шара, сложена параллельными складками, подъ сильнымъ горизонтальнымъ давленіемъ, можно различить двѣ фазы образованія горъ, съ которыми имѣютъ тѣсную связь мѣстный ледниковый періодъ и образованіе краевыхъ озеръ.

Первая фаза. Образованіе складокъ земной коры, возвышеніе антиклиналей надъ границею снѣга, и, какъ слѣдствіе этого, увеличеніе глетчеровъ, ледниковый періодъ, образованіе долинъ съ равномерными склонами при посредствѣ рѣкъ и глетчеровъ.

Вторая фаза. Такъ какъ ядро земного шара продолжаетъ сжиматься, то вся область, поднятая раньше вслѣдствіе образованія складокъ, опускается, ибо, вслѣдствіе складчатого строенія, она уже не обладаетъ прочностью цѣльнаго свода. Послѣдствія такого общаго опусканія горъ весьма разнообразны, а именно: *повсемѣстное быстрое сокращеніе ледниковъ и конецъ ледниковаго періода; возникновеніе вслѣдствіе опусканія верхней части эрозійныхъ долинъ противосклона на границѣ опустившейся области и, вслѣдствіе сего, образованіе котловинъ для краевыхъ озеръ.*

Эта гипотеза, будучи вполнѣ правдоподобною по отношенію къ швейцарскимъ субъ-альпійскимъ озерамъ, по моему мнѣнію, могла-бы быть распространена и на другія высокогорья. Она устанавливаетъ взаимную связь между развитіемъ глетчеровъ въ ледниковый періодъ и возникновеніемъ краевыхъ озеръ въ концѣ ледниковой эпохи. Если-бы эта гипотеза оказалась въ общемъ приложимою къ краевымъ озерамъ всѣхъ горъ, то защитники образованія озеръ при помощи ледника лишились-бы своего важнѣйшаго аргумента.

Теоріи этой можно, пожалуй, противопоставить догму объ одновременности ледниковой эпохи или ледниковыхъ эпохъ по всей землѣ. Но я лично и не считаю за доказанное, что выступленіе ледниковъ изъ альпійскихъ долинъ въ субъ-альпійскія равнины происходило въ одно и то же время и подъ вліяніемъ однихъ и тѣхъ-же условій на всемъ сѣверномъ полушаріи. Даже и тѣ изслѣдователи, которые твердо держатся взгляда объ одновременности оледенѣнія и, слѣдовательно, отвергнули-бы наше объясненіе образованія краевыхъ озеръ,—на основаніи одного этого еще не могутъ причислить себя къ сторонникамъ экскавационной теоріи. Чтобы объяснить многочисленность озеръ въ субъ-альпійской области, достаточно допустить, что первоначально имѣвшіяся котловины были сохранены глет-

черами, которые ихъ выполняли—въ то время какъ ледниковые наносы отлагались далѣе, внизу ледника; такимъ образомъ ледникъ являлся-бы хранителемъ котловинъ, но не творцомъ ихъ.

Резюмируемъ сказанное.

Дѣятельность одной только эрозіи играетъ подчиненную роль при образованіи котловинъ. Эолическая эрозія въ пустыняхъ можетъ создавать плоскія котловины. Водная эрозія механическимъ путемъ вымываетъ у подножія водопадовъ углубленія и котлы исполиновъ. Кромѣ того она можетъ химическими процессами растворять горныя породы и вызывать появленіе котловинъ незначительной величины. Наконецъ, что касается глетчерной эрозіи, то возможно, что она является причиною образованія нѣкоторыхъ болотъ въ альпійскихъ областяхъ. Но вообще эрозія не можетъ быть рассматриваема, какъ общій и единственно мощно дѣйствующій факторъ при образованіи крупныхъ озеръ.

3. Плотинныя озера.

Всякая долина, обязанная своимъ происхожденіемъ или тектоническимъ процессамъ, или эрозіи текучей воды, или же леднику,—можетъ превратиться въ котловину, а затѣмъ въ озеро, если образуется запруда или плотина, которая задержитъ стокъ воды. Запрудами, заграждающими долину, могутъ быть:

а) Обвалы скалъ (Klönthalersee, озеро Derborence, Alleghesee, Oeschinensee по Брюкнеру, озеро Gohna въ цѣпи Гималайскихъ горъ, образовавшееся въ 1894 г.).

б) Потокъ лавы (озеро Aydat, Делебекъ).

в) Глетчеръ (Merjensee при Алечскомъ ледникѣ).

г) Боковая морена, пересекающая долину (Matt-Marksee).

д) Конечная морена, которая лишь при извѣстныхъ условіяхъ можетъ явиться причиною образованія озера. Обыкновенно черезъ широкую брешь въ моренѣ вырывается потокъ талой воды въ видѣ глетчернаго ручья: валъ морены не является непрерывнымъ и потому не можетъ запрудить долину. Поэтому, конечная морена, сама по себѣ, не можетъ образовать озера. Впрочемъ, моренный валъ можетъ остаться цѣльнымъ въ томъ лишь случаѣ, когда онъ упирается въ противосклонъ, обращенный къ леднику; такова, напримѣръ, морена дилувіальнаго Ронскаго ледника на склонахъ Юры. Тогда талая вода течетъ назадъ подъ ледникъ. Въ этомъ случаѣ застаивающаяся передъ мореной вода можетъ образовать озеро. Но такое озеро будетъ лежать уже внѣ предѣловъ глетчера и по своей природѣ должно быть отнесено къ предыдущему типу, когда плотину образуетъ боковая морена.

е) Если перекрещиваются между собою конечныя морены, соотвѣтствующія различнымъ стояніямъ ледника, подъ острымъ угломъ, то между ними могутъ образоваться маленькія котловины, въ которыхъ собирается вода. Такія моренныя озера весьма часты, но всегда имѣютъ незначительную величину.

ж) Конусъ накопленія изъ обломочныхъ породъ, образованный бурнымъ потокомъ, впадающимъ изъ боковой долины въ главную, можетъ представить собою поперечный заторъ и остановить течение рѣки (Wäggethaler-See—озеро, образовавшееся въ 1878 г., благодаря выносамъ Schlierenbach'a [Heim], Silser- и Silvaplana-see).

з) Къ разсматриваемому же разряду плотинныхъ озеръ относятся также болѣе или менѣе округлыя кратерныя озера, ограниченныя выступами вулканическаго кратера (озера Albano и Nemi). Но кратерныя озера могутъ быть также и смѣшаннаго происхожденія, когда нижней частью котловины является часть самого кратера, а верхнія части составлены изъ матеріала, представляющаго собою изверженія изъ кратера.

4. Озера смѣшаннаго происхожденія.

За исключеніемъ кольцевыхъ валовъ, окружающихъ кратерныя озера, разсмотрѣнныя выше запруды имѣютъ направленіе по прямой или слабо искривленной линіи. Поэтому онѣ представляютъ собою только часть стѣнокъ котловины; другая же ихъ часть образована ранѣе существовавшими склонами. Слѣдовательно возникновеніе большей части плотинныхъ озеръ связано съ наличностью въ данномъ мѣстѣ долины. Поэтому плотинныя озера, вообще говоря, рѣдко бываютъ простого происхожденія; по большей части въ образованіи ихъ котловины принимаетъ участіе два или большее число факторовъ: образованію плотины предшествуетъ процессъ, создающій долину.

Озерообразующіе факторы могутъ комбинироваться весьма разнообразно. И въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ эта комбинація должна быть изслѣдована и точно установлена. Число комбинацій настолько велико, что нѣтъ возможности всѣ ихъ здѣсь перечислить и классифицировать. Но наиболѣе заслуживающимъ вниманія является слѣдующій случай: открытое теченіе рѣки входитъ въ подземелье. Здѣсь, какъ и вездѣ, дѣятельная эрозія размываетъ глубины; тогда выше мѣста, гдѣ вода входитъ въ подземелье, образуется открытая долина, глухо заканчивающаяся внизу. Если же какимъ-либо путемъ произойдетъ засореніе подземнаго канала, отводящаго воду, то долина наполняется водою и образуется озеро. Такъ возникли въ швейцарской Юрѣ озера Joux и les Brenets.

Но если всякое озерное ложе имѣетъ свое собственное происхожденіе, соотвѣтствующее исторіи развитія окружающей его мѣстности, то не нужно при этомъ упускать изъ виду и того, что озера одной и той же области имѣютъ часто совершенно аналогичную и ту же самую исторію. Подтверждающимъ примѣромъ этого могутъ служить озера Финляндіи, Швеціи, сѣверной Пруссіи, Юры, французскаго центрального плато, субъ-альпійской области, а также Великія озера Сѣверо-Американскихъ Соединенныхъ Штатовъ. Всѣ эти озера образуютъ группы или, лучше сказать, настоящія семейства озеръ, отдѣльные члены которыхъ обнаруживаютъ весьма близкое родство другъ съ другомъ¹⁾. Принимая во вниманіе этотъ фактъ, установить происхожденіе извѣстнаго озера бываетъ значительно легче.

III. Ложе озера.

Допустимъ, что благодаря тому или иному процессу образовалась котловина. Если при этомъ дно этой котловины достаточно непроницаемо и климатъ данной страны довольно сырой, такъ что тѣ водныя массы, которыя непосредственно падаютъ въ котловину, вмѣстѣ съ притекающей въ нее водою преобладаютъ надъ количествомъ испаряющейся воды,—тогда котловина наполняется водою, и такимъ образомъ возникаетъ озеро. Масса воды, заключенной въ котловинѣ, измѣняетъ постепенно рельефъ послѣдней. Прибой и волненія вліяютъ на берега. Повсюду на днѣ осаждаются доставляемый притоками озера аллювій и измѣняетъ форму дна. Соотвѣтственно съ этимъ и вся котловина все болѣе и болѣе принимаетъ характеръ озернаго ложа. Эти измѣненія тѣсно связаны съ измѣнчивою высотой стоянія воды, и въ нихъ трудно бываетъ разобраться. Лишь только въ озерахъ со сравнительно постояннымъ уровнемъ они выступаютъ въ полной чистотѣ. Къ ихъ разсмотрѣнію мы обратимся ниже.

IV. Гидрографическія карты.

Рельефъ озернаго ложа выражается при помощи гидрографической карты, на которой наносится достаточно частая сѣть глубинныхъ промѣровъ. Мы не будемъ здѣсь входить въ подробное разсмотрѣніе тѣхъ приѣмовъ, къ которымъ приходится обращаться инженеру и гидрологу при измѣреніи глубинъ, точномъ опредѣленіи измѣренныхъ лотомъ пунктовъ и нанесеніи ихъ на карту. Эта часть работы является весьма важной, и въ зависимости отъ ея точности и частоты

¹⁾ Ср. Penck, Morphologie der Erdoberfläche, II, стр. 233.

ровъ находится и цѣнность самой карты. Но если и соблюдены всѣ общія мѣры предосторожности и измѣрено лотомъ достаточное число пунктовъ ¹⁾, а положеніе ихъ опредѣлено и нанесено на карту, тѣмъ не менѣе научная цѣнность карты будетъ зависѣть еще отъ одного момента—такъ сказать, географическаго такта, съ которымъ гидрографъ изберетъ пункты для своихъ промѣровъ и поведетъ свои промѣрные линіи. Когда дно озера перестаетъ быть видимымъ, что наступаетъ при глубинѣ нѣсколькихъ метровъ, тогда приходится уже чутьемъ угадывать неровности озернаго дна, особенности его рельефа. Поэтому инженеръ, изучающій топографію дна, которую онъ потомъ долженъ графически изобразить и описать, находится какъ-бы въ положеніи слѣпого. Этотъ недостатокъ можетъ быть устраненъ точнымъ знаніемъ законовъ топографіи озеръ. Гидрографъ долженъ знать, гдѣ ему слѣдуетъ ожидать ровнаго озернаго дна и гдѣ могутъ встрѣтиться неправильности. Въ первомъ случаѣ онъ можетъ дѣлать промѣры съ большими промежутками; во второмъ же—промѣры должны быть учащены. При измѣненіи глубины отъ одного промѣра къ другому, онъ долженъ почувствовать, приближается ли подводное возвышеніе или подводное углубленіе. Когда онъ будетъ находиться вблизи такого пункта, то долженъ производить здѣсь промѣры до тѣхъ поръ, пока не найдетъ самаго мелкаго или самаго глубокаго мѣста. Вообще, въ тѣхъ частяхъ озернаго ложа, гдѣ происходятъ отложенія аллювія въ большихъ размѣрахъ, можно ожидать однообразнаго рельефа. Наоборотъ, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ аллювій не скрылъ еще первоначальныхъ неровностей дна—тамъ неправильности на послѣднемъ встрѣчаются столь же часто, сколь и неожиданно. Это приводитъ иногда къ недоразумѣніямъ. Кто могъ-бы, напримѣръ, предугадать открытое Högnlimann'омъ ²⁾ подозерное русло Рейна въ Боденскомъ озерѣ и—Роны въ Женевскомъ? Кто могъ-бы также предсказать существованіе въ озерѣ Аннеси особыхъ норообразныхъ углубленій (Vaubioz)?

Рельефъ озернаго ложа изображается при помощи изобатъ, т. е. кривыхъ, проходящихъ черезъ пункты одинаковыхъ глубинъ, исчисленныхъ для средняго уровня воды. Если гидрографическія карты должны представлять составную часть ландкарты какой-нибудь области, то въ этомъ случаѣ чаще употребляютъ изогипсы или кривыя одинаковыхъ высотъ, т. е. пользуются тѣмъ же самымъ приемомъ, который употребляется при изображеніи рельефа суши.

¹⁾ Число промѣровъ для карты Женевского озера равняется 21 на квадратный километръ, для Боденскаго—20, а для меньшихъ озеръ оно еще больше.

²⁾ *H. B. de Saussure. Voyages dans les Alpes. III, 4. Neuchâtel, 1796. Delebecque. Lacs français, p. 31.*

Карта, предназначенная для научныхъ цѣлей, должна содержать всѣ промѣренные пункты. При этомъ вовсе не является необходимостью снабжать каждый промѣръ соответствующей цифрой, такъ какъ послѣдняя всегда легко можетъ быть опредѣлена для каждаго даннаго пункта изъ хода ближайшей изобаты, построенной на основаніи промѣровъ. Карты, изобилующія глубинными обозначеніями, что имѣетъ мѣсто по отношенію къ морскимъ картамъ, трудно бываетъ читать, хотя-бы изобаты и были нанесены. Подробности рельефа не бросаются при этомъ въ глаза и потому могутъ легко быть пропущены. Безусловною необходимостью является знаніе какъ густоты сѣти промѣровъ, такъ и точнаго мѣстонахожденія каждаго отдѣльнаго промѣра. Лишь при этихъ условіяхъ возможно сужденіе о надежности хода изобатъ и о большей или меньшей вѣроятности сдѣланныхъ гидрографомъ промѣрныхъ недочетовъ. Числа, обозначающія глубину, должны быть поставлены лишь на крайнихъ пунктахъ при вершинахъ подводныхъ возвышеній и при самыхъ глубокихъ мѣстахъ, а также при сѣдловинахъ.

Отъ хорошей гидрографической карты требуется еще, чтобы горизонтальныя кривыя были расположены на равныхъ другъ отъ друга разстояніяхъ. Если по тѣмъ или инымъ причинамъ число кривыхъ въ какомъ-нибудь мѣстѣ должно быть увеличено включеніемъ сюда дополнительныхъ кривыхъ, то необходимо слѣдить за тѣмъ, чтобы послѣднія были проведены достаточно тонко въ отличіе отъ нормальныхъ кривыхъ, равно отстоящихъ другъ отъ друга.

V. Превращеніе котловины въ озерное ложе.

Котловина наполняется водою и становится озеромъ; затѣмъ она постепенно преобразовывается въ озерное ложе. Какія-же измѣненія происходятъ при этомъ?

Какими характерными признаками отличается вообще озерное ложе отъ котловины, изъ которой оно возникло?

Чтобы отвѣтить на эти вопросы, необходимо изслѣдовать:

1) строеніе озернаго ложа, какъ вмѣстителя массы стоячей воды; это дастъ намъ возможность узнать тѣ измѣненія, какія претерпѣло данное вмѣстилище благодаря этой массѣ.

2) строеніе озернаго ложа, какъ собирателя притоковъ; это дастъ намъ знаніе преобразовывающаго вліянія притоковъ.

Типичныя измѣненія, которыя происходятъ при превращеніи котловины въ озерное ложе, легко могутъ быть наблюдаемы на озерахъ съ постояннымъ уровнемъ, но еще лучше на такихъ озерахъ, у кото-

рыхъ вода послѣ продолжительнаго покоя вдругъ спала. На нихъ особенно хорошо можно изучить сложные явленія береговыхъ линій (Lake Bonneville и Lake Lahontan въ С. Америкѣ).

VI. Отдѣльныя части и области озера.

Чтобы дать ясное представленіе о помянутыхъ превращеніяхъ, мы должны разсмотрѣть, на какія отдѣльныя части и области можно подраздѣлить озерное ложе.

Въ каждомъ озерѣ мы различаемъ:

1. Дно озернаго ложа (Sohle, plafond); оно бываетъ болѣе или менѣе горизонтально, часто чрезвычайно ровно, но иногда также и неправильно—съ возвышеніями и впадинами;

2. Склоны озернаго ложа (Gehänge des Seebeckens, talus du lac), которые тянутся съ большимъ или меньшимъ уклономъ со всѣхъ сторонъ отъ дна озера до поверхности воды.

Если озерное ложе занимаетъ дно долины, такъ что его длина больше ширины, то въ этомъ случаѣ различаютъ:

дно;

боковые склоны (Seitengehänge, talus latéraux);

конечные склоны (Endgehänge, talus terminaux), а именно нисходящій или задній склонъ (absteigendes Endgehänge, Hintergehänge; rampe descendante, talus amont) на верхнемъ концѣ озера и восходящій или передній склонъ (ansteigendes Gehänge, Vordergehänge; rampe ascendante, talus aval)—на его нижнемъ концѣ.

Озерное ложе раздѣляется на двѣ, различающіяся во многихъ отношеніяхъ, области.

1. Глубинная область (Tiefenregion) охватываетъ ту часть озера, которая, благодаря своей глубинѣ, находится внѣ сферы вліянія преобразовывающихъ силъ литторальной области; къ этой области озера принадлежатъ какъ дно, такъ и нижняя часть склоновъ озернаго ложа.

2. Береговая область (Küstenregion). Эта область, представляющая собою связь между сушею и глубинною частью озера, по своимъ свойствамъ, является весьма сложною. Къ сушѣ она принадлежитъ той своей частью, которая расположена надъ водою, а къ озеру—той, которая погружена въ воду. Граница этихъ двухъ, лежащихъ одна рядомъ съ другой, зонъ постоянно передвигается взадъ и впередъ, благодаря измѣненіямъ въ высотѣ стоянія воды; поэтому обѣ зоны находятся въ постоянномъ геофизическомъ, физическомъ и біологическомъ взаимодѣйствіи. На этомъ основаніи я и счелъ удобнымъ дать для второй области одно общее названіе—береговой области (côte). Это есть переходный поясъ отъ воды къ сушѣ.

Береговая область подраздѣляется слѣдующимъ образомъ.

I. *Берегъ* (Ufer, rivage) есть поясъ суши, лежащій внѣ озера, надъ поверхностью воды, и окружающій озеро со всѣхъ сторонъ. Берегъ подвергается омывающему дѣйствию прибою волнъ, при чемъ съ него сносятся всѣ землистыя составныя частицы; поэтому онъ состоитъ изъ песка и камня; слѣдовательно, его можно разсматривать, какъ часть твердой земли, омытой озерной водой и видоизмѣненной.

II. *Литторальная зона* (Littoral) представляетъ собою такой же водный поясъ, ограничивающій область воды. Она окружаетъ все озеро и достигаетъ до нижней границы непосредственнаго и косвеннаго воздѣйствія прибою волнъ, т. е. до глубины въ нѣсколько метровъ.

III. *Побережье* (Strand, grève)—это промежуточная полоса, находящаяся между двумя вышеописанными зонами и въ то же время переходящая въ ту и другую; это зона прибойной полосы, на которой разбиваются волны. Непрерывно омываемая волнами, она состоитъ исключительно изъ крупныхъ или мелкихъ галекъ, обнаруживая слабо выраженную покатость измѣнчивой ширины.

Въ побережьи можно различить три подзоны:

а) *Сухое побережье* (trockener Strand, grève exondée), которое при спокойномъ стояніи озера остается сухимъ и орошается лишь заплесками при сильномъ волненіи.

б) *Подводное побережье* (untergetauchter oder überschwemmter Strand, grève inondée)—оно при слабомъ прибоѣ лежитъ подъ поверхностью воды; при сильномъ же по нему разгуливаютъ волны.

Такъ какъ высота стоянія воды во всѣхъ озерахъ измѣнчива, то между этими двумя зонами существуетъ еще переходная ступень

в) *Затопляемое побережье* (überschwemmbarer Strand, grève inondable), которое при низкомъ уровнѣ воды бываетъ сухимъ, при высокомъ же находится подъ водою, становится подводнымъ побережьемъ¹⁾.

Побережье по направленію къ озеру слабо понижается. Это пониженіе, а также ширина его, у разныхъ озеръ бываютъ разныя и измѣнчивы въ различныхъ частяхъ береговой полосы. Варіаціи зависятъ отъ слѣдующихъ условій:

отъ большой или меньшей величины зеренъ того матеріала, изъ котораго построенъ данный берегъ. Песчаное побережье понижается всегда слабѣе, чѣмъ побережье, состоящее изъ крупныхъ галекъ или гравія;

¹⁾ Наше затопляемое побережье представляетъ собою точную аналогію той части океаническаго берега, которая осушается при отливѣ, а при приливѣ—вновь покрывается водою.

отъ величины прибойной волны. Чѣмъ волны больше, тѣмъ слабѣе пониженіе и тѣмъ шире побережье;

отъ общей конфигураціи береговъ. Чѣмъ круче склоны озерной котловины, тѣмъ уже при прочихъ равныхъ условіяхъ побережье.

VII. Преобразование котловины подъ вліяніемъ озерной воды.

Эрозіонными процессами озеро разрушаетъ берега котловины и разсѣиваетъ продукты эрозіонной дѣятельности въ литторальной зонѣ. Эрозіонная работа озера состоитъ въ отрываніи, подкапываніи и раздробленіи. Различаютъ эрозію химическую и механическую.

Озерная вода въ предѣлахъ своего воздѣйствія вліяетъ растворяющимъ образомъ на горныя породы. Не говоря о нѣкоторыхъ легко растворимыхъ породахъ, каковы напримѣръ гипсъ и каменная соль, эта химическая эрозія дѣйствуетъ слабо и медленно. Растворенныя вещества входятъ въ составъ озерной воды, увеличивая количество содержащихся въ ней солей. Впослѣдствіи мы еще возвратимся къ этому.

Механическая эрозія обусловливается главнымъ образомъ ударной силой волнъ. Волны, идущія съ открытаго озера, разбиваются о берегъ; при этомъ онѣ его сотрясаютъ, разрыхляютъ и разбиваютъ. Обломки, образующіеся при этомъ, съ теченіемъ времени размельчаются все болѣе и болѣе, пока не сдѣлаются столь незначительными, что подъ вліяніемъ волнъ вмѣстѣ съ послѣдними приходятъ въ движеніе, катаясь взадъ и впередъ. Благодаря этому движенію, они обтачиваются еще болѣе, превращаясь въ гальки, которыя въ свою очередь, въ зависимости отъ величины, откладываются по банкамъ или въ поясахъ (зонахъ); каждый поясъ состоитъ изъ галекъ приблизительно одинаковой величины.

Что же касается дальнѣйшей судьбы этихъ обломковъ, то судьба ихъ бываетъ различна. Одни изъ нихъ отливающими волнами увлекаются въ глубокую часть озера, гдѣ волны не могутъ уже до нихъ достигнуть и унести ихъ. Здѣсь они образуютъ грубый аллювій озера. Другіе перебрасываются волнами взадъ и впередъ; при этомъ они обтираются, становятся все меньше и меньше, пока наконецъ не превратятся въ самый мелкій песокъ; въ качествѣ тонкаго ила, взвѣшеннаго въ водѣ, они уносятся прочь и образуютъ въ озерѣ наносы тонкаго ила. Эта работа волнъ, кромѣ того, поддерживается различнаго рода побочными дѣйствіями.

Суспендированный въ водѣ песокъ, во время ударовъ волнъ о камни берега, стираетъ ихъ подобно песку, переносимому вѣтромъ.

Вывѣтриванію доступныхъ распаду породъ помогаетъ чередованіе двухъ процессовъ — процесса смачиванія, производимаго прибоемъ волнъ и дождями, и процесса высыканія. Также вліяютъ чередующіяся замерзаніе и оттаиваніе.

Всѣ эти процессы, дѣйствуя совмѣстно, разрушаютъ берегъ, ведя къ образованію такъ называемаго обрыва или яра (Kliff, falaise), медленно отодвигающагося отъ озера въглубь суши. Но будучи непрерывно подмываемъ у своего подножія прибоемъ волнъ, обрывъ въ своихъ верхнихъ частяхъ теряетъ устойчивость и вслѣдствіе этого обрушивается, образуя при своемъ основаніи осыпь, усѣянную обломками, которые въ свою очередь волнами же могутъ быть снесены въ озеро. Все это нагроможденіе обломковъ на побережьѣ промывается водою и освобождаются отъ земляныхъ частицъ. Въ концѣ концовъ, они располагаются въ порядкѣ своей величины, образуя отдѣльныя зоны галекъ, гравія и песка.

Если твердыя породы берега не однородны, если ихъ образуетъ, напримѣръ, глетчерная морена, то на береговой полосѣ могутъ остаться отдѣльныя большія глыбы, труднѣе поддающіяся измѣненію, чѣмъ вся та масса, въ которой онѣ покоились; онѣ долѣе сопротивляются разнаго рода разрушительнымъ процессамъ.

Если же матеріалъ, изъ котораго построенъ берегъ, является достаточно измеленнымъ, то онъ, подвергаясь ударному дѣйствію волнъ, сносится въ озеро въ видѣ суспендированнаго песка. Во время бури литторальная часть озера представляется совершенно мутною отъ этого взрытаго волненіемъ песка. Отливное нижнее теченіе волнъ (Sog) уноситъ такую мутную воду въ озеро. Но стоитъ только этой водѣ выйти изъ сферы дѣйствія волнъ, какъ твердыя суспендированныя частицы начинаютъ осѣдать. Песокъ падаетъ на дно, и образуется аллювіальный наносъ.

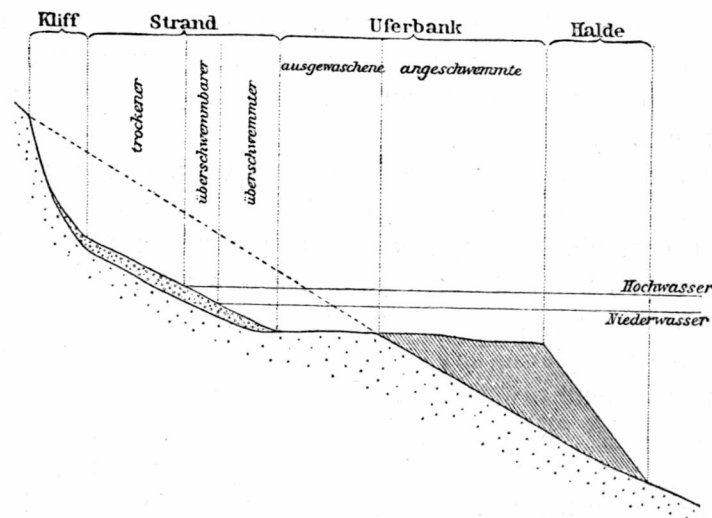
Этотъ аллювій мы находимъ на нижней границѣ дѣйствія волнъ, гдѣ онъ образуетъ подъ водою почти горизонтальную террасу. Подобный наносъ, состоящій изъ массы разнаго рода обломковъ, попавшихъ въ озеро, мы назовемъ вмѣстѣ съ Э. Рихтеромъ¹⁾, береговой отмелью (Uferbank, beine)²⁾; обращенный же къ озеру склонъ этой береговой отмели назовемъ озерной отмелью (Seehalde, mont). Эта литторальная терраса, находящаяся подъ водою, — береговая отмель является характерною принадлежностью литторальной области всѣхъ стоячихъ водъ.

¹⁾ Richter. Seestudien. Wien, 1897, S. 28.

²⁾ На Женевскомъ озерѣ береговую отмель зовутъ «beine»; на Боденскомъ озерѣ существуетъ, по графу Цеппелину (Bodenseeforschungen, I, III Abschn. Lindau, 1893) соотвѣтственное выраженіе — «Wysse».

Береговая отмель складывается изъ двухъ зонъ, которыя, съ теченіемъ времени, увеличиваются въ ширину. Ея внѣшняя, прилегающая къ берегу часть—отмель размыва *ausgewaschene Uferbank*, *beine d'érosion*)—возникаетъ благодаря эрозіонному дѣйствію прибоя волнъ; она представляетъ собою размывъ береговой породы. Внутренняя же, обращенная къ озеру, намывная отмель (*angeschwemmte Uferbank*, *beine d'alluvion*), образуется изъ оторванныхъ отъ берега частей, отлагающихся по направленію къ озеру, на границѣ области дѣйствія прибоя волнъ.

Слѣдующая фиг. 1 даетъ типичный поперечный разрѣзъ берега.



Фиг. 1. Схема эрозіоннаго берега (вертикальный масштаб сильно увеличенъ).
Горизонтальная линіи обозначаютъ уровень высокой и низкой воды.

Кромѣ сравнительно грубаго матеріала, который можетъ отлагаться въ видѣ береговыхъ отмелей лишь въ непосредственной близости отъ мѣста своего возникновенія, въ озеро уносится отъ берега волнами еще масса тонкаго ила. Матеріаломъ для образованія этого послѣдняго служатъ отчасти землистые и глинистыя составныя части суши, часть же ихъ возникаетъ и при процессѣ обтачиванія разнаго рода грубыхъ катышей, носимыхъ силою прибоя туда и сюда. Этотъ илъ долгое время пребываетъ въ водѣ во взвѣшенномъ состояніи и въ такомъ видѣ относится далеко въ озеро; здѣсь онъ осѣдаетъ на дно, вмѣстѣ съ другими подобными иловыми частицами, имѣющими иное происхожденіе, о чемъ подробно мы будемъ говорить въ послѣдующемъ изложеніи.

У тѣхъ озеръ, которыя не имѣютъ притоковъ, какъ напримѣръ кратерныя озера, дѣйствіе на берегъ ограничивается лишь образованіемъ

обрыва и береговой отмели. Но у большинства озеръ имѣются однако притоки, и мы теперь перейдемъ къ разсмотрѣнію тѣхъ преобразованій, какія они вызываютъ въ котловинахъ.

VIII. Преобразование котловины подъ вліяніемъ притоковъ.

Притоки, питающіе озеро, могутъ быть подводными или поверхностными.

Разсмотримъ сперва вліяніе подводныхъ притоковъ. Подземная рѣка или ключъ вливаются въ озеро подъ поверхностью воды въ одномъ или нѣсколькихъ пунктахъ по разсѣлинамъ, имѣющимся въ его днѣ.

Подземные источники по большей части имѣютъ прозрачную воду, безъ всякой примѣси въ ней суспендированнаго матеріала¹⁾; поэтому они не осаждаютъ никакого аллювія. Намъ неизвѣстно ни одной рѣки, которая несла-бы илъ и въ то же время впадала-бы въ озеро подъ его поверхностью. А потому остается неопредѣленнымъ и то вліяніе, которое оказывала-бы подобная рѣка на котловину озера.

Если источникъ съ чистою водою возникаетъ въ какомъ-либо мѣстѣ озернаго ложа, то въ этомъ случаѣ изливающаяся вода своимъ теченіемъ препятствуетъ отложенію въ данномъ мѣстѣ аллювія, который безъ этого долженъ былъ-бы повсюду осѣсть. Отверстіе источника остается свободнымъ отъ аллювія, въ то время какъ кругомъ его осаждаются илъ. Слѣдовательно, ключъ долженъ бить на днѣ воронки, бока которой имѣютъ уклонъ осыпей.

Прекраснѣйшимъ примѣромъ подобнаго рода воронки можетъ служить «Boubioz» въ озерѣ d'Annecy, истинная природа которой точно установлена термометрическими измѣреніями, предпринятыми Делебекомъ. Эта воронка, погруженная въ береговую отмель, имѣетъ 80 метровъ глубины, въ то время какъ наибольшая глубина самого озера составляетъ всего лишь 60 метровъ.

Что же касается открытыхъ притоковъ, доставляющихъ озеру воду въ видѣ потоковъ, рѣкъ, рѣчекъ или ручьевъ, то вода послѣднихъ или всегда чиста, или же несетъ аллювій. Къ числу первыхъ относятся притоки, не имѣющіе половодья, увеличивающаго транспортную силу воды и снабжающаго водныя массы суспендированнымъ аллювіемъ; на видоизмѣненіе котловинъ такіе притоки не имѣютъ никакого вліянія. Иначе обстоитъ дѣло съ притоками, которые постоянно или по временамъ несутъ тотъ или иной матеріалъ изъ твердыхъ частицъ, при чемъ этотъ матеріалъ можетъ быть или

¹⁾ Это стоитъ въ связи съ тѣмъ обстоятельствомъ, что дождевые размывы, доставляющіе надземнымъ рѣкамъ главную массу ила, здѣсь не имѣютъ мѣста.

въ видѣ грубаго аллювія, или въ видѣ ила. Грубый аллювій, какъ песокъ, гравій, гальки и т. п., благодаря своему вѣсу, можетъ быть увлекаемъ лишь при сильномъ теченіи во время половодья; при ослабѣвшемъ теченіи аллювій осаждается.

Рѣка при впаденіи въ озеро быстро теряетъ въ его спокойной водной массѣ силу своего теченія. Грубый аллювій падаетъ на дно, образуя здѣсь конусъ накопленія (Schuttkegel), дельту, отлогость которой будетъ зависѣть отъ характера матеріала. Дельта бываетъ построена всегда слоями, спускающимися по направленію къ озеру. При каждомъ половодѣ отлагается новый, покатыи къ озеру, слой. При этомъ наносный матеріалъ располагается въ извѣстномъ порядкѣ по его величинѣ, именно такимъ образомъ, что наиболѣе крупныя части отлагаются близко при устьѣ рѣки. Если рѣка богата грубыми гальками, то послѣднія нагромождаются непосредственно у самаго устья, образуя такимъ образомъ такъ называемый баръ, поднимающійся надъ поверхностью воды.

Конусъ накопленія растетъ, мало по малу показывается изъ-подъ воды и превращается въ надводную дельту, отодвигающуюся постепенно все дальше внутрь озера. Въ то время какъ дельта въ своей подводной части разрастается, благодаря осажденію дальнѣйшихъ слоевъ, располагающихся наклонно, надводная часть дельты, заливаемая порою рѣкой, нарастаетъ отложеніемъ почти горизонтальныхъ слоевъ. Поэтому въ геологическомъ поперечномъ разрѣзѣ черезъ дельту можно отмѣтить ту высоту, на которой нынѣ откладывающіяся въ горизонтальномъ направленіи частицы рѣчного наноса переходятъ въ косорасположенный озерный аллювій дельты,—какъ среднюю высоту стоянія водъ при ея образованіи.

Если выносъ рѣки происходитъ въ значительныхъ размѣрахъ, то выдвиганіе дельты впередъ вслѣдствіе отложенія аллювія на подводныхъ склонахъ конуса скопленія, на его отсыпи, идетъ очень быстро. Уклонъ, который принимаетъ образующаяся отсыпь, соотвѣтствуетъ уклону подводной части конуса скопленія, и онъ тѣмъ больше, чѣмъ грубѣе и угловатѣе приносимый аллювій. Мелкій гравій и песокъ уносятся далѣе и отлагаются тѣмъ глубже, чѣмъ мельче отдѣльныя зерна, образуя подводныя откосы незначительнаго уклона. Большія рѣки, не принимающія въ своемъ нижнемъ теченіи быстрыхъ притоковъ, несутъ только мелкій песокъ. Онѣ создаютъ лишь медленно возвышающіяся надъ озеромъ дельты, у которыхъ подводный склонъ, обращенный къ озеру, имѣетъ очень слабый уклонъ, простираясь на далекое разстояніе въ озеро.

Тотъ илъ, который придаетъ рѣчной водѣ характерную мутность, окрашивая ее въ сѣрый цвѣтъ, держится во взвѣшенномъ состояніи

въ спокойной прѣсной водѣ чрезвычайно долго ¹⁾. Осаждаясь на дно весьма постепенно, онъ можетъ быть отнесенъ теченіями озера на очень далекія разстоянія. При этомъ путь, сразу избираемый иломъ въ озерѣ, является вполне опредѣленнымъ. Въ тѣхъ случаяхъ, когда суспендированный илъ, содержится въ рѣчной водѣ въ значительномъ количествѣ, онъ замѣтно дѣлаетъ ее тяжелѣе, и удѣльный вѣсъ подобной воды—болѣе удѣльнаго вѣса воды въ озерѣ. По большей части достаточно бываетъ, чтобы на литръ воды приходилось всего нѣсколько сантиграммовъ илу—и эта вода мутнаго притока дѣлается плотнѣе самой плотной воды въ озерѣ ²⁾, т. е. воды наибольшихъ глубинъ, которая имѣетъ низкую температуру и поэтому плотнѣе воды частей озера на значительной глубинѣ. Въ этомъ случаѣ вода притока течетъ въ глубину вдоль склона погруженной въ воду части конуса накопленія вплоть до дна озера. Иногда при этомъ образуется настоящее русло въ видѣ жолоба, такъ какъ по правую и лѣвую стороны теченія—тамъ, гдѣ движущаяся вода этой подводной рѣки граничитъ со спокойной водой озера, отлагаются массы ила и песка. При этомъ образуется два параллельныхъ вала, какъ на примѣръ мы это видимъ у Роны въ Женевскомъ озерѣ и у Рейна—въ Боденскомъ. Но даже и въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ отсутствуетъ такое русло, тяжелая мутная вода притока достигаетъ до самыхъ глубокихъ мѣстъ озера; здѣсь только она приходитъ въ состояніе покоя, постепенно осаждавая взвѣшенные въ ней массы ила, которыя, заполняя и выравнивая дно озера, превращаютъ его въ горизонтальную плоскость.

Но не весь илъ, принесенный рѣкою въ озеро, раздѣляетъ такую участь: часть его остается во взвѣшенномъ состояніи въ водныхъ массахъ поверхностнаго слоя, переносится теченіями и смѣшивается съ тонкими озерными намывами, о которыхъ шла рѣчь въ прошлой главѣ. Этотъ случай имѣетъ мѣсто:

а) когда притокъ впадаетъ въ соленое озеро, вода котораго плотнѣе, чѣмъ вода рѣки, сама по себѣ относительно плотная, благодаря содержанію ила;

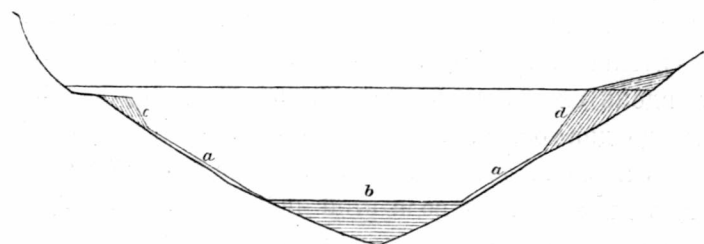
б) когда вода притока отягощена лишь незначительнымъ количествомъ ила и много теплѣе воды глубокихъ слоевъ озера. Въ этомъ случаѣ болѣе легкая рѣчная вода распространяется по поверхности или въ среднихъ слояхъ озера, какъ это всегда происходитъ съ водою рѣкъ, впадающихъ въ море;

¹⁾ Только въ соленой водѣ онъ осаждается сравнительно быстро. Ср. *H. Brewer*, въ *Amer. Journ. of. Sc.* XXIX (1885), 1; далѣе *C. Barus*, тамъ-же, 1889, 122 и *Bull. U. St. Geol. Survey*, Nr. 36, Washington, 1886.

²⁾ Само собой понятно, что это относится только къ прѣсноводнымъ озерамъ.

в) когда озеро взволновано и въ устьѣ притока господствуетъ сильный прибой волнъ. Въ этомъ случаѣ часть рѣчной воды можетъ механически смѣшаться съ озерной. И озерная вода, будучи загрязнена примѣсью къ ней рѣчной, можетъ быть унесена на извѣстное разстояніе, а содержащійся въ ней рѣчной иль совмѣстно съ тонкимъ озернымъ аллювіемъ, можетъ осѣсть въ какомъ-нибудь мѣстѣ озера.

Изъ вышеизложеннаго слѣдуетъ, что можно вообще различать четыре вида аллювія, изъ которыхъ каждый возникаетъ извѣстнымъ образомъ, лишь ему одному свойственнымъ, и имѣетъ свою опредѣленную область распространенія.



Фиг. 2. Четыре типа отложений въ озерѣ.

а) Грубый озерный аллювій образуетъ намывную береговую отмель (фиг. 2 с).

б) Грубый рѣчной аллювій, доставляемый въ озеро притоками, образуетъ надводный и подводный конусы накопленія дельты (d).

в) Тонкій рѣчной аллювій достигаетъ большихъ глубинъ въ озерѣ и, осаждаясь, выравниваетъ неровности дна (b).

г) Тонкій озерный иль съ примѣсью кое-гдѣ рѣчного ила распространяется теченіями по поверхности озера и, смѣшиваясь съ другими родами аллювія, осаждается повсемѣстно по озерному ложу.

IX. Отложения въ озерѣ по ихъ виду и составу.

Мы видѣли, какимъ образомъ происходятъ въ озерѣ отложения. Теперь рассмотримъ осадки по тѣмъ формамъ, какія они образуютъ, независимо отъ способа ихъ возникновенія.

Изъ озернаго и рѣчнаго аллювія строятся вполне опредѣленные формы, которыя ясно бываютъ выражены въ рельефѣ озернаго ложа. Исключеніе составляетъ тонкій озерный иль, осаждающійся равномерно по всему озеру. Формы эти суть слѣдующія:

а) Отсыпи озернаго ложа (Schutthalden des Seebeckens, talus d'écoulement). При устьѣ притоковъ они состоятъ изъ грубаго рѣчнаго аллювія, а вдоль подводной береговой отмели изъ грубаго озернаго аллювія. Чѣмъ грубѣе и тяжелѣе матеріалъ, изъ котораго

этотъ откосъ строится, тѣмъ круче его склонъ; по Тулуз¹⁾ онъ можетъ достигать 41° или 87%.

б) Откосы дельтъ (Schwemmhalden, talus d'alluvion) строятся при устьяхъ рѣкъ и ручьевъ изъ песчаныхъ массъ, доставляемыхъ этими притоками. Чѣмъ многоводнѣе рѣка, чѣмъ сильнѣе ея теченіе; чѣмъ тоньше и легче песчинки, тѣмъ дальше онъ выносятся въ озеро; поэтому отложеніе при устьѣ является наиболѣе обильнымъ и уменьшается по мѣрѣ удаленія въ глубь озера. Такимъ образомъ возникаетъ пологій откосъ, уклонъ котораго уменьшается по мѣрѣ удаленія отъ берега и въ центральной равнинѣ озера становится равнымъ нулю.

в) Центральная равнина озера (centrale Ebene, plafond) образуется изъ тонкихъ иловыхъ массъ, взвѣшенныхъ въ мутной водѣ и осаждающихся на днѣ озера. Эта равнина повсюду горизонтальна и нигдѣ не обнаруживаетъ неровностей. Пока продолжается отложеніе ила, площадь ея увеличивается и можетъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ достигать значительныхъ размѣровъ. Такъ, напримѣръ, центральная равнина Женевского озера представляетъ собою поверхность не менѣе 60 квадр. километровъ.

Петрографическій составъ рѣчныхъ отложений, слагающихъ дельту, равно какъ и рѣчного ила, отлагающагося на днѣ озернаго ложа, зависитъ отъ петрографическихъ свойствъ всего его бассейна. Точно также характеръ горныхъ породъ, изъ которыхъ сложены берега, опредѣляетъ петрографическую природу слоевъ береговой отмели. Тонкій озерный иль, равномерно откладывающійся по всему озерному ложу вмѣстѣ съ другимъ илистымъ матеріаломъ, въ петрографическомъ отношеніи представляетъ собою результатъ смѣшенія илистыхъ частей рѣчного и озернаго происхожденія. Грубый аллювій образуетъ песчанья и гравистыя отмели, пронизанныя болѣе или менѣе тонко-отмученной глиной. Илистые же отложения состоятъ изъ глины, мергеля, углекислой извести или озернаго мѣла, смотря по тому, преобладаютъ ли известковые или кремнистые вещества.

Химическіе осадки, обусловливаемые физическими свойствами воды или біологическими факторами, принимаютъ участіе въ строеніи аллювія, то въ большемъ, то въ меньшемъ размѣрѣ; особенно значительны они бываютъ въ конечныхъ озерахъ, находящихся въ состояніи высыханія²⁾.

Въ минералогическомъ отношеніи иловыя отложения отдѣльных озеръ бываютъ различны, смотря по свойствамъ ихъ бассейна. Они

¹⁾ J. Thoulet. Etudes expérimentales sur l'inclinaison des talus de matières meubles. Nancy, 1887.

²⁾ Cp. J. Russel, Lake Lahontan. U. S. Geolog. Survey, Monograph. Nr. XI. Washington, 1885.

состоять изъ глины, мергеля или изъ мѣла. Образованія конкрецій мнѣ пока не приходилось наблюдать въ подобныхъ современныхъ аллювіяхъ.

Х. Морфометрія.

Морфометріей называется та отрасль географическихъ наукъ, которая стремится выразить внѣшній видъ географическихъ объектовъ при помощи чиселъ. Важнѣйшія морфометрическія данныя, сравненіе которыхъ для разныхъ озеръ даетъ интересные результаты, суть слѣдующія:

1. Площадь озера, т. е. величина его водной поверхности, или площади, очерченной изобатой нуль, за исключеніемъ изъ нея площади, занятой всѣми, встрѣчающимися на озерѣ, островами. Данныя относительно площади должны быть относимы всегда къ уровню среднего стоянія воды въ озерѣ. Затѣмъ можно измѣрить тотъ приростъ поверхности, который имѣетъ площадь озера при высокой водѣ; этотъ приростъ равенъ пространству, залитому прибылой водой. Впрочемъ, я не думаю, чтобы изъ отношеній между величинами поверхности озера при высокомъ, среднемъ и низкомъ стояніяхъ воды можно было сдѣлать полезныя заключенія, такъ какъ тѣ два фактора, которые обуславливаютъ эти числовыя отношенія, суть факторы различнаго рода, именно величина колебаній высоты уровня—съ одной стороны и наклонъ затопляемаго побережья—съ другой; послѣдній въ свою очередь состоитъ изъ двухъ очень неравныхъ частей—отмели размыва и намывной отмели, отношеніе между которыми въ различныхъ случаяхъ можетъ быть различное.

2. Длина озера. Эта величина можетъ быть опредѣляема различно:

а) разстояніемъ между двумя отдаленнѣйшими пунктами озера, измѣряемымъ по прямой линіи.

б) длиною, измѣренною вдоль оси озера, соотвѣтственно всѣмъ ея изгибамъ; это будетъ истинная длина озера.

Измѣреніе длины имѣетъ значеніе лишь при сравнительно простыхъ очертаніяхъ озера; въ случаѣ же сложной фигуры оно является далеко не просто выполнимымъ. Какъ, на примѣръ найти длину двурукавнаго озера Ларіо (Comersee) или длину Фирвальдштетскаго озера, боковыя развѣтвленія котораго на своемъ нижнемъ концѣ перекрещиваются съ направленіемъ главной его оси.

3. *Ширина*, а именно:

а) максимальная—между наиболѣе удаленными береговыми пунктами, измѣренная перпендикулярно къ главной оси,

б) средняя—получаемая черезъ дѣленіе площади озера на длину его продольной оси.

Въ случаяхъ сложнаго очертанія озеръ, найти ширину послѣднихъ бываетъ не менѣе затруднительно, чѣмъ ихъ длину. Такъ я считаю, на примѣръ, невозможнымъ опредѣлить ширину такихъ озеръ, какъ Няси-ярви въ Финляндіи или Фирвальдштетское—въ Швейцаріи.

4. *Глубина*, а именно:

а) максимальная глубина;

б) средняя глубина, получаемая дѣленіемъ объема озера на площадь его поверхности;

в) отношеніе между средней и максимальной глубинами даетъ для простыхъ озеръ до нѣкоторой степени представленіе о большей или меньшей конусообразности озернаго ложа;

г) отношеніе между максимальной глубиной и корнемъ квадратнымъ изъ площади озера является во многихъ случаяхъ достаточнымъ для сужденія объ его относительной глубинѣ, т. е. объ отношеніи глубины озера къ его горизонтальному протяженію.

5. *Объемъ озера*. Для сравнительной оцѣнки водныхъ массъ разныхъ озеръ эта величина имѣетъ весьма большое значеніе.

6. *Средній уголъ уклона озернаго ложа*. Нѣкоторые изъ географовъ, занимавшихся морфометріей озеръ, опредѣлили средній уголъ паденія озернаго ложа¹⁾. Этотъ уголъ получается, если умножимъ сумму длинъ отдѣльныхъ равноотстоящихъ изобатъ на высоту ихъ разстояній и полученное произведеніе раздѣлимъ на площадь поверхности озера²⁾:

$$B = \frac{h}{G} \cdot (\Lambda_1 + \Lambda_2 + \Lambda_3 + \dots)$$

Здѣсь В есть средній уклонъ озернаго ложа, выраженный въ процентахъ, Λ —длина изобаты, G—величина поверхности озера и h—взаимное разстояніе между изобатами.

Знаніе этой величины, въ случаѣ просто построеннаго ложа, весьма полезно. Напротивъ, для озеръ съ многочисленными бухтами и озеръ, представляющихъ собою комплексъ отдѣльныхъ водоемовъ—опредѣленіе этого угла едва-ли можетъ имѣть какое значеніе.

Болѣе детальное опредѣленіе угла уклона получается въ томъ случаѣ, когда вычисляется средняя степень паденія склоновъ на различныхъ глубинахъ озера³⁾. Въ этомъ случаѣ для полученія настоя-

¹⁾ Ср. А. Penck. Morphologie, I, 47 и слѣд., II, 215 — А. Penck. Morphometrie des Bodensees. Jahresbericht des geograph. Gesellsch. München, XV, 1892—93, стр. 119.

²⁾ Я употребляю тѣ же самыя буквы, что и Пенкъ.

³⁾ Ср. А. Penck. Morphometrie des Bodensees. Jahrbuch d. geograph. Gesellsch. München, стр. 119.—Halbfass. Morphometrie des Genfer Sees. Zeitschrift d. Gesellsch. f. Erdkunde, XXXII, 47. Berlin, 1897.

шей величины (B_1) половину суммы длины двух смежных изогипс (Λ_1 и Λ_2) умножают на вертикальное разстояние между ними и произведение делятъ на величину горизонтальной поверхности, ограниченной обѣими этими изогипсами ($g_2 - g_1$).

$$B_1 = \frac{h (\Lambda_1 + \Lambda_2)}{2 (g_2 - g_1)}$$

Полученныя такимъ образомъ данныя, относящіяся къ разнымъ глубинамъ озера, весьма значительно отличаются другъ отъ друга. Въ виду большого различія природы дна въ отдѣльныхъ областяхъ озера, я не думаю, чтобы эти числа, кромѣ нѣкоторыхъ исключительныхъ случаевъ, могли дать полезные результаты. Въ самомъ дѣлѣ, какую можетъ имѣть цѣль вычисленіе средняго паденія откоса какой-либо зоны, образованной частью склономъ дельты, частью береговой отмели и частью склономъ откосовъ озернаго ложа.

Между тѣмъ сравненіе угловъ уклона (Neigungswinkel) на различныхъ глубинахъ одного и того же профиля или хотя для разныхъ областей, но на одной и той же глубинѣ—можетъ дать интересные результаты. Углы паденія природныхъ склоновъ озера, его скалистыхъ боковъ, отсыпей озернаго ложа и откосовъ выноса, а также углы наклона рѣчныхъ и ручьевыхъ дельтъ—весьма различны и ихъ цифровыя опредѣленія могутъ представлять глубокой интересъ.

Уголь уклона всего удобнѣе измѣрять его тангенсомъ, получаемымъ дѣленіемъ разности высотъ двухъ точекъ, находящихся на линіи наибольшаго паденія, на ихъ горизонтальное разстояние.

7. Гипсографическая кривая. Наболѣе подходящимъ способомъ точно представить форму озернаго ложа, по моему мнѣнію, является гипсографическая кривая *Пенка* ¹⁾, такъ какъ въ случаѣ просто построенныхъ озеръ она даетъ результаты, легко сравнимые между собою. Она вычерчивается при помощи прямоугольной системы координатъ, при чемъ величины, соотвѣтствующія пространствамъ, заключеннымъ между различными изобатами, наносятся какъ абциссы, глубины же этихъ изобатъ какъ ординаты. Построенная такимъ образомъ кривая обнаруживаетъ рѣзкія различія въ зависимости отъ того, приближается-ли озерное ложе по своей формѣ къ полному цилиндру, къ полному конусу или же представляетъ собою котловину, въ которой углубленія почти совсѣмъ не выражено. Но я все же думаю, что можно достигнуть тѣхъ же результатовъ болѣе простымъ способомъ, сравнивая поперечные профили различныхъ озеръ, проведенные въ соотвѣтствующихъ направленіяхъ.

8. Степень развитія берега въ связи съ расчлененностью озера лучше всего выражается при помощи отношенія истинной длины

¹⁾ Penck. Morphologie, I, стр. 43. Stuttgart, 1894.

береговой линіи къ окружности круга, площадь котораго равна площади озера. Чѣмъ больше это отношеніе, тѣмъ богаче озеро бухтами и мысами.

Формулой это отношеніе выражается такъ:

$$u = \frac{\lambda}{2 \sqrt{G \pi}},$$

гдѣ u —степень изрѣзанности берега, λ —длина береговой линіи ¹⁾ и G —поверхность озера.

Но этотъ приемъ никоимъ образомъ не можетъ быть признанъ пригоднымъ въ тѣхъ случаяхъ, когда озеро расчленяется на отдѣльныя ложа.

9. Острова озера ²⁾. Присутствіе большого или меньшаго числа острововъ большого или малаго размѣровъ придаетъ озеру совершенно особый характеръ. Численно характеризовать озеро съ этой стороны можно при помощи отношенія поверхности, занимаемой островами, ко всей поверхности озера, включая и острова.

Предложено еще много другихъ способовъ численнаго выраженія формъ озера, но они имѣютъ всегда лишь ограниченное примѣненіе. Въ большинствѣ случаевъ индивидуальность озеръ бываетъ такъ рѣзко выражена, что если и возможно иногда сравнивать опредѣленные отношенія двухъ озеръ, выраженные въ числахъ, то въ случаѣ присоединенія третьяго и четвертаго озера, примѣненный методъ становится уже болѣе непригоднымъ. Вообще всѣ описанныя числовыя отношенія, выражающія тѣ или иные особенности формы озернаго ложа, непригодны для непосредственнаго сравненія, за исключеніемъ весьма немногихъ, приведенныхъ выше, случаевъ. Тѣхъ читателей, которые интересуются подробностями числовыхъ выражений частностей топографическаго рельефа, мы отсылаемъ къ превосходной главѣ о морфометріи, помѣщенной въ трудѣ *Пенка*, много разъ нами цитированнаго; тамъ эти методы разработаны съ полной обстоятельностью ³⁾.

¹⁾ Для того чтобы имѣть для различныхъ озеръ сравнимыя величины, измѣренія длины береговой линіи должны быть сдѣланы по возможности на картахъ одного и того же масштаба, такъ какъ понятно, что при увеличеніи масштаба карты увеличивается и число отдѣльныхъ извилинъ береговой линіи, а слѣдовательно и ея длина.

²⁾ K. Ritter. Ueber die geographische Stellung und horizontale Ausbreitung der Erdteile. Докладъ въ Королевской Академіи Наукъ, Берлинъ, 1826 г.; перепечатано въ его „Einleitung zur allgemeinen vergleichenden Geographie“, 1832.

³⁾ Penck. Morphologie, I, стр. 33 и слѣд. Stuttgart, 1894.

XI. Возрастные ступени озера.

Накопление рѣчныхъ и озерныхъ отложений необходимо влечетъ за собою заполненіе озернаго ложа, благодаря чему пространство, занимаемое водой, постепенно уменьшается. Такимъ образомъ озеро всегда представляетъ собою преходящее явленіе, которое въ теченіе ряда лѣтъ, или лучше столѣтій и тысячелѣтій, претерпѣваетъ различныя видоизмѣненія, пока окончательно не исчезнетъ. Различныя фазы этихъ видоизмѣненій мы и отмѣчаемъ, какъ возрастные ступени озера.

Первая фаза: періодъ юности. Отложения не оказали еще замѣтнаго вліянія на форму озернаго ложа; первоначальный рельефъ котловины со всѣми ея особенностями представляется неизмѣненнымъ ни рѣчнымъ, ни озернымъ аллювіемъ.

Вторая фаза: періодъ зрѣлости. Озерный аллювій образовалъ вокругъ озера береговую отмель. Изъ грубыхъ рѣчныхъ наносовъ возникли у устья притоковъ надводные или подводные конусы накопленія (дельты); тонкій рѣчной илъ, осѣвшій на дно озера, выравнивалъ его. Но все же еще не всѣ черты первоначальной котловины скрыты отложениями: кое-гдѣ въ отдѣльныхъ областяхъ черезъ тонкій слой осѣвшаго ила еще виднѣются подробности ея первоначальной формы.

Третья фаза: періодъ старости. Аллювій господствуетъ повсемѣстно. Подъ нимъ повсюду исчезли склоны первоначальной котловины; все озерное ложе состоитъ теперь изъ центральной горизонтальной равнины, окруженной откосами дельтъ и отсыпями береговыхъ отмелей.

Четвертая фаза: озеро превратилось въ прудъ. Центральная равнина, благодаря продолжающемуся притоку ила, повысилась и сравнялась съ береговыми отмелями. Въ озерномъ ложѣ не замѣчается болѣе никакихъ уклоновъ, кромѣ склона побережья. Прудъ есть мелкое озеро безъ особыхъ глубинъ; на всемъ своемъ протяженіи онъ можетъ быть заселенъ литторальной озерной растительностью.

Пятая фаза: прудъ превратился въ болото, когда продолжающееся засыпаніе его глубинъ достигло той степени, что подводная флора, свойственная пруду, замѣняется надводной болотной растительностью.

Что касается растительныхъ сообществъ, то флора озеръ и прудовъ является характерною для „живой“ воды. Части, отдѣлившіяся отъ материнскаго организма водяного растенія (*Potamogeton*, *Myriophyllum* и т. д.), продолжаютъ жить самостоятельно, очищая воду посредствомъ дѣятельности заложеннаго въ нихъ хлорофилла; поэтому

то озера и пруды отличаются свѣжей водою. Болотная же флора (тростникъ, *Typhaceae*, *Cyperaceae* и т. д.) характеризуетъ, напротивъ, стоячую „мертвую“ воду. Обломки этихъ растеній быстро загниваютъ или превращаются въ торфъ и скоро дѣлаютъ воду вонючей. (Говоря о прудѣ и болотѣ, какъ о стадіяхъ развитія озера, я не имѣлъ въ виду сказать этимъ, что во всѣхъ случаяхъ прудъ и болото являются водоемами озернаго происхожденія. Въ возникновеніи ихъ могли участвовать и совершенно инныя причины. Наоборотъ, каждое озеро въ концѣ концовъ должно превратиться въ прудъ и затѣмъ въ болото, хотя бы его развитіе почему-нибудь и было задержано).

Но не существуетъ-ли еще другихъ явленій, вызывающихъ смерть озера? За исключеніемъ глухихъ озеръ, каждое озеро имѣетъ надземный или подземный стокъ своихъ водъ. Этотъ стокъ размываетъ его ложе, расширяетъ и углубляетъ его, такъ что отливъ воды все возрастаетъ. Въ результатъ этого происходитъ прогрессивное пониженіе уровня воды, продолжающееся до тѣхъ поръ, пока озеро не превратится наконецъ просто въ рѣку. Но такъ дѣло обстоитъ въ одной только теоріи; въ дѣйствительности же этотъ процессъ имѣетъ лишь ничтожное значеніе, благодаря крайней медленности, съ какою онъ протекаетъ. Эта медленность обуславливается тѣмъ обстоятельствомъ, что уходящая черезъ стокъ вода есть вода озерная и, какъ таковая, не содержитъ въ себѣ не только галекъ, но даже и песочныхъ или иловыхъ массъ, посредствомъ которыхъ она могла бы производить размываніе. Поэтому механическая эрозія, производимая треніемъ о стѣнки ложа, очень мала. Стокъ озера можетъ производить эрозіонное дѣйствіе лишь:

1) механическимъ отрываніемъ частицъ отъ непрочнаго матеріала. Если ложе состоитъ изъ сыпучаго матеріала при различной величинѣ отдѣльныхъ зеренъ, то они могутъ передвигаться, благодаря вращательной и поступательной силѣ воды, но лишь съ очень небольшою скоростью;

2) химическимъ дѣйствіемъ, мало по малу растворяя твердыя части ложа стока.

Но въ большинствѣ случаевъ оба эти дѣйствія, благодаря своей медленности, могутъ быть оставлены безъ вниманія.

Совершенно иное мы видимъ по отношенію къ тектоническимъ измѣненіямъ, происходящимъ въ ложѣ стока ниже озера; они всегда вліяютъ на уровень воды въ озерѣ. Но эти явленія стоятъ въ тѣсной связи съ возникновеніемъ озерной котловины. Разсматривая же здѣсь лишь нормальную исторію развитія озеръ, мы не можемъ ихъ касаться.

ВТОРАЯ ЧАСТЬ.

О з е р н а я в о д а .

Глава первая.

Г и д р о л о г і я .

1. Питаніе озера; приходъ воды.

Всякое озеро питается притекающей къ нему водою. Собирающаяся въ озерную котловину вода происходитъ изъ атмосферы и попадаетъ въ озеро, во-первыхъ, непосредственно въ видѣ осадковъ (дожда, снѣга, града), падающихъ въ озеро, или въ видѣ водяныхъ паровъ, конденсирующихся на его поверхности; во-вторыхъ, косвенно, въ видѣ рѣчной воды, вливающейся въ озеро поверхностными или подземными притоками, рѣками, ручьями, ключами и т. д. Количество же попадающихъ въ озеро осадковъ зависитъ отъ климатическихъ условій области, въ которой лежитъ данное озеро, обнаруживая большія или меньшія колебанія, смотря по мѣсту и времени. Количество приносимой притоками воды зависитъ отъ:

- а) величины бассейна;
- б) отъ относительной влажности, обусловливающей повторяемость выпаденія осадковъ, и отъ абсолютной влажности, опредѣляющей ихъ количество;
- в) отъ температуры воздуха, обусловливающей величину абсолютной и относительной влажности; при пониженіи температуры можетъ произойти конденсація водяныхъ паровъ воздуха;
- г) отъ климата вообще; отъ него зависитъ, выпадаютъ-ли въ извѣстное время года осадки въ жидкомъ видѣ, тотчасъ же и стекающіе, или же въ видѣ снѣга, дающаго сточную воду лишь послѣ таянія, слѣдовательно по истеченіи извѣстнаго промежутка времени;
- д) отъ геологическихъ свойствъ грунта даннаго бассейна; въ зависимости отъ того, обладаетъ-ли онъ большей или меньшей водоне-

проницаемостью, находится количество воды въ притокахъ. Имѣетъ вліяніе также обильное или скудное развитіе растительности на площади бассейна.

Вообще же считается, что въ умѣренномъ климатѣ количество воды, доставляемой рѣками, составляетъ около трети всѣхъ выпадающихъ осадковъ; остальные двѣ трети—испаряются.

2. Расходъ воды.

Испареніе. Потери воды, происходящія въ озерѣ, если не считать стока, должны быть отнесены исключительно за счетъ испаренія. Если бы въ началѣ возникновенія озернаго ложа стѣны его котловины и были водопроницаемы и извѣстная часть воды терялась бы благодаря просачиванью, то вскорѣ всякая возможность такого просачиванія должна была бы исчезнуть. Такимъ образомъ испареніе съ поверхности озера является единственнымъ процессомъ расхода воды, который можно противопоставить ея приходу. Вѣдь, конденсація водяныхъ паровъ воздуха начинается происходить на поверхности озера съ того момента, когда точка росы прилегающаго къ водѣ воздуха становится выше температуры воды; испареніе же, наоборотъ, имѣетъ мѣсто въ томъ случаѣ, когда точка росы воздуха становится ниже температуры воды. Вслѣдствіе этого происходитъ постоянная смѣна испаренія и конденсаціи въ зависимости отъ условій погоды и климата.

Какъ велико испареніе, происходящее на поверхности озера, этого мы не знаемъ. Изъ нѣкоторыхъ систематическихъ наблюдений, произведенныхъ на сушѣ, можно сдѣлать лишь то общее заключеніе, что въ умѣренномъ климатѣ на небольшихъ водныхъ площадяхъ слой испаряющейся воды по своей толщинѣ приблизительно равенъ слою осадковъ. Въ сырыхъ странахъ онъ меньше осадочнаго слоя, въ сухихъ же—больше. Эти выводы можно считать въ общихъ чертахъ вѣрными. Но ни въ какомъ случаѣ найденныя отношенія между испареніемъ и осадками не могутъ быть отнесены къ поверхности большихъ озеръ, надъ которыми воздухъ чаще бываетъ насыщенъ водяными парами, чѣмъ надъ сушею. Числовыя выраженія величины испаренія, совершающагося съ поверхности озера, на подобіе точнымъ исчисленіямъ, фигурирующимъ въ выкладкахъ гидротехниковъ, достоверно еще совершенно неизвѣстны¹⁾; между тѣмъ эти опредѣленія были-бы весьма цѣнны.

¹⁾ Нѣкоторыя исключенія существуютъ, конечно, и здѣсь; напримѣръ, по наблюденіямъ въ Бомбей *S. Tomlinson* находитъ, что годовое испареніе съ большой водной поверхности съ 1 кв. метр. до 2,17 м., съ резервуара въ 100.000 кв. м. до 1,93, и съ озера въ 1—10 кв. килом. до 1,89 м. *Quarterly Journal R. Met. Soc. London*, XX (1894), 63.

Если приходъ воды, доставляемой притоками и осадками, превышает расходъ ея путемъ испаренія, то уровень воды въ озерѣ повышается; въ обратномъ же случаѣ—понижается. Соответственно тому, какъ чередуются эти два противоположныхъ фактора, послѣдовательно измѣняется и уровень воды въ озерѣ. Когда сухой періодъ года съ преобладаніемъ испаренія надъ осадками продолжается очень долго, тогда можетъ случиться, что испарится вся вода и озеро высохнетъ. Слѣдовательно въ этомъ случаѣ озеро является временнымъ, существуя лишь въ теченіе сырого времени года. Съ этой точки зрѣнія озера можно подраздѣлить на постоянныя озера, въ которыхъ вода всегда держится, и временныя, исчезающія въ сухое время года. Отношеніе промежутка времени, въ теченіе котораго озеро остается безводнымъ, къ тому періоду, когда его котловина наполнена водою, измѣняется въ самыхъ широкихъ границахъ, въ зависимости отъ климата.

Стоки. Въ тѣхъ случаяхъ, когда приходъ воды превышаетъ испареніе, что наблюдается въ нѣкоторыхъ странахъ постоянно, въ другихъ же въ теченіе сырого времени года, уровень воды въ озерѣ повышается; вода можетъ переполнить озерное ложе, и тогда озеро образуетъ стокъ, размѣръ котораго опредѣляетъ та или иная высота уровня въ озерѣ.

Стокъ можетъ быть подземнымъ, напримѣръ, черезъ какую-нибудь щель или разсѣлину въ стѣнѣ котловины. Въ этомъ случаѣ сила стока зависитъ, при одной и той-же площади поперечнаго сѣченія, отъ давленія водяного столба, находящагося надъ выходнымъ отверстіемъ. Если недостаточно этого стока, чтобы уравновѣсить совершающійся приходъ воды, то вода подымается до тѣхъ поръ, пока не откроются новые вышележащія стоки—второй, третій и т. д., изъ которыхъ каждый стремится, такъ сказать, истощить озеро. Когда расходъ воды посредствомъ подземнаго стока становится равенъ приходу, тогда наступаетъ равновѣсіе: уровень воды перестаетъ повышаться и въ дальнѣйшемъ остается приблизительно на одной и той же высотѣ.

Если подземный стокъ отсутствуетъ или если дѣятельность подземныхъ ходовъ слишкомъ слаба, то вода въ озерѣ подымается все выше и выше, пока окончательно не перельется черезъ край; въ этомъ случаѣ озеро получаетъ открытый стокъ.

Величина убыли воды черезъ стокъ является функціей высоты стоянія воды въ озерѣ. Вода въ котловинѣ подымается до тѣхъ поръ, пока приходъ воды превышаетъ ея расходъ. Какъ только обѣ эти величины дѣлаются равными, то поднятіе уровня прекращается и наступаетъ стаціонарное состояніе.

Въ качествѣ исключенія могутъ быть озера съ двумя стоками, какъ напримѣръ, Lesjö—озеро среди тѣсинъ въ Норвегіи, питающее одновременно и Raume и Logen.

Такимъ образомъ расходъ воды можетъ происходить не только путемъ испаренія, но и при помощи одного или нѣсколькихъ подземныхъ и одного (рѣдко двухъ) надземныхъ (открытыхъ) стоковъ. Большинство же озеръ умѣреннаго и полярнаго поясовъ имѣетъ по одному единственному простому стоку (Abfluss, émissaire).

Итакъ, высота стоянія воды въ озерѣ зависитъ:

а) отъ величины прихода воды, т. е. отъ количества какъ осадковъ, такъ и притоковъ;

б) отъ величины расхода черезъ испареніе и черезъ стоки.

Обозначая черезъ *Da* величину прихода воды, черезъ *De*—величину расхода, въ куб. метрахъ въ секунду, и черезъ *S*—площадь поверхности озера въ квадр. километрахъ,—найдемъ, что измѣненія высоты уровня озера—*h* (въ метрахъ)—за время *t* секундъ выразится слѣдующимъ уравненіемъ:

$$h = t \frac{Da - De}{S \cdot 1.000.000}^1)$$

3. Прѣсныя и соленыя озера.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что озера подраздѣляются на 2 типа: временныя и постоянныя озера—въ зависимости отъ отношенія величины бассейна къ величинѣ котловины и отъ климатическихъ условій, регулирующихъ приходъ-расходъ воды. Далѣе озера можно классифицировать на озера глухія, безъ стока (Endseen) и озера проточныя, со стокомъ (Flusseen). Временныя озера бываютъ почти всегда глухими, между тѣмъ какъ среди постоянныхъ встрѣчаются какъ глухія, такъ и проточныя.

Проточныя озера въ свою очередь дѣлятся на озера съ перемежающимся стокомъ и озера съ постояннымъ стокомъ.

Такимъ образомъ мы имѣемъ слѣдующаго рода классификацію:

озера	временныя/глухія	{	съ перемежающимся стокомъ.
	постоянныя/проточныя		съ постояннымъ стокомъ.

¹⁾ Эта формула совершенно точно можетъ быть приложимой лишь къ колебаніямъ уровня озера при условіи отвѣсныхъ береговъ; при болѣе же или менѣе отлогихъ побережьяхъ, что всегда въ дѣйствительности имѣетъ мѣсто, значеніе *S* различно при различныхъ высотахъ стоянія воды. Ср. Brückner, Klimaschwankungen. Wien, 1890. Стр. 87.

Такое раздѣленіе весьма важно. И насколько оно существенно, доказывается въ особенности различными свойствами воды озеръ, относящихся къ различнымъ озернымъ группамъ. Вода, притекающая къ озеру, никогда не бываетъ химически чистой: она всегда содержитъ въ растворенномъ видѣ рядъ минеральныхъ веществъ. Удаляется же путемъ испаренія лишь чистая вода, да развѣ еще кое-какія летучія составныя части. Благодаря этому вода глухихъ озеръ, расходуемая лишь путемъ испаренія, все болѣе и болѣе обогащается растворенными веществами и при извѣстныхъ условіяхъ она дѣлается даже насыщенною ими. Поэтому-то глухія озера бываютъ и солеными. Какія соли содержатся въ водѣ и каково ихъ процентное содержаніе—зависитъ отъ породъ, изъ которыхъ сложена окружающая мѣстность.

Относительное содержаніе соли измѣняется въ зависимости отъ объема воды, а слѣдовательно и высоты стоянія ея въ озерѣ. При поднятіи уровня растворъ дѣлается болѣе слабымъ, при пониженіи же концентрируется. Во временныхъ озерахъ по испареніи воды составныя части соленого раствора выдѣляются и осѣдаютъ на днѣ ложа. Когда озеро вновь наполняется водою, то эта послѣдняя можетъ вновь растворить соли отчасти или нацѣло ¹⁾.

Въ проточныхъ же озерахъ наоборотъ не происходитъ такого накопленія солей. Стокъ вмѣстѣ съ озерной водою непрерывно уноситъ также и растворенныя въ ней вещества, доставляемыя притоками. Слѣдовательно, содержаніе солей въ водѣ такого озера, если не принимать во вниманіе незначительнаго дѣйствія испаренія, равно среднему содержанію солей въ притекающей водѣ. Поэтому вода подобныхъ озеръ бываетъ прѣсной, коль скоро дѣятельность стока продолжается и вода притоковъ не содержитъ сколько-нибудь значительнаго количества солей.

Если стокъ—перемежающійся, то увеличеніе солености озера происходитъ при низкомъ стояніи уровня въ озерѣ, когда стокъ бездѣйствуетъ; растворъ концентрируется вслѣдствіе испаренія воды, а также благодаря солямъ, доставляемымъ притоками. При наступленіи высокаго уровня, содержаніе солей уменьшается, до тѣхъ поръ, пока функционируетъ стокъ. Въ такихъ случаяхъ содержаніе солей въ озерѣ зависитъ отъ продолжительности времени, въ теченіе котораго стокъ находится въ дѣйствіи, а также, разумѣется, и отъ количества содержанія солей въ водѣ притоковъ. Поэтому озера съ перемежающимся стокомъ имѣютъ воду болѣе или менѣе солоноватую (Brackwasser).

¹⁾ Ср. *Обручевъ*. О такырахъ въ Туркестанѣ. Рефер. въ „*Petermanns Mittheilungen*“, 1895; въ обзорѣ литературы № 175.

Съ этой точки зрѣнія всѣ озера могутъ быть классифицированы слѣдующимъ образомъ:

солёныя озера; къ этой группѣ могутъ принадлежать какъ временныя, такъ и постоянныя озера;

солончатые озера—это тѣ проточныя озера, которыя имѣютъ перемежающійся стокъ, и

прѣсныя озера—озера съ постояннымъ стокомъ.

4. Пребываніе воды въ озерѣ.

Продолжительность пребыванія воды въ озерѣ зависитъ отъ

а) объема озера,

б) ухода воды черезъ стокъ.

Если V —объемъ озера, D —количество воды, уносимой стокомъ, то $\frac{V}{D}$ выражаетъ время пребыванія воды въ озерѣ. Но это выраженіе не должно быть понимаемо въ томъ смыслѣ, что всѣ водяныя капли, доставляемыя притоками и дождями, задерживаются въ озерѣ на одинаковое время, такъ какъ озерныя теченія переносятъ ихъ съ различной быстротой и въ различное время съ мѣста ихъ вступленія въ озеро къ мѣсту ихъ удаленія изъ него. Данная формула выражаетъ лишь среднюю продолжительность пребыванія водной частицы въ озерѣ; оно часто бываетъ весьма продолжительнымъ. Для примѣра возьмемъ условія Женевского озера. Объемъ послѣдняго составляетъ 88.920 милліоновъ куб. метровъ; расходъ воды черезъ стокъ въ среднемъ 252 куб. метра въ секунду. Слѣдовательно, вода остается въ озерѣ въ теченіе 11,2 лѣтъ.

Въ теченіе этого времени вода подвергается различнымъ вѣдѣйствіямъ, которыя ее перемѣшиваютъ и измѣняютъ. Рѣчная и дождевая вода превращается въ озерную воду, отличающуюся отъ всѣхъ иныхъ видовъ воды—болотной, ключевой, грунтовой и т. д. При этомъ вода каждого озера обладаетъ своими особыми свойствами. Проточное озеро есть такимъ образомъ лишь случайное явленіе на пути рѣки, которое ее существенно видоизмѣняетъ и преобразовываетъ. Величина его стока есть не что иное, какъ алгебраическая сумма его притоковъ, при чемъ величина испаренія разсматривается въ качествѣ отрицательнаго слагаемаго этой суммы.

Опишемъ здѣсь вкратцѣ тѣ видоизмѣненія, какія претерпѣваетъ въ озерѣ рѣчная вода, отложивъ на дальнѣйшее изложеніе болѣе точное выясненіе этого вопроса.

а) Притокъ при своемъ вступленіи въ озеро процессомъ осажденія освобождаются отъ твердыхъ частицъ. Стокъ уноситъ лишь чистую озерную воду.

б) Что касается химического состава озерной воды, то таковой какъ по отношенію къ пространству, такъ и по отношенію ко времени, представляетъ среднее воды его притоковъ. Во всякой рѣкѣ вода ея различныхъ притоковъ совершенно перемѣшивается, благодаря теченію, струямъ и водоворотамъ; все-таки составъ воды измѣняется въ зависимости отъ ея прихода и отъ времени года. Эти временныя колебанія исчезаютъ въ озерѣ, благодаря долгому пребыванію здѣсь воды, въ теченіе котораго она тщательно перемѣшивается всякаго рода движеніями. Поэтому вода стока есть озерная вода очень равномернаго и почти постояннаго состава.

в) Въ термическомъ отношеніи вода всякаго притока характеризуется своей температурой, отличающейся отъ температуръ другихъ притоковъ и измѣняющейся сообразно времени года. Всѣ эти массы воды распредѣляются въ озерѣ слоями соотвѣтственно плотности, но во время своего пребыванія въ озерѣ онѣ претерпѣваютъ ежедневныя, ежегодныя и циклическія измѣненія въ своей температурѣ. Стокъ уноситъ воду съ температурой, соотвѣтствующей температурѣ того слоя озерной воды, на высотѣ котораго беретъ начало сточное русло. Поэтому подземные стоки отводятъ воду съ температурой среднихъ или глубокихъ слоевъ озера; наоборотъ, открытые стоки уносятъ воду верхнихъ слоевъ. Смотря по формѣ той бухты, откуда беретъ начало стокъ, водныя массы глубокихъ слоевъ перемѣшиваются въ большей или меньшей степени съ поверхностными слоями, чѣмъ обуславливается какъ температура, такъ и составъ воды стока.

г) По отношенію къ количеству воды, уходящей черезъ стоки, слѣдуетъ вообще замѣтить, что высокая или низкая вода притоковъ влияетъ на высоту уровня воды въ озерѣ, а слѣдовательно и на количество воды, расходуемой стокомъ; однако при этомъ разница уровней, благодаря распредѣленію водныхъ массъ, принесенныхъ притоками, по большой поверхности озера, значительно сглаживается. Для рѣки, протекающей черезъ озеро, это послѣднее играетъ роль регулятора при расходованіи воды ¹⁾).

д) Въ біологическомъ отношеніи важно то обстоятельство, что озеро получаетъ съ водою притоковъ и содержащіеся въ ней организмы. Если послѣдніе не могутъ приспособиться къ жизненнымъ условіямъ озера, то рано или поздно они погибаютъ и своими трупами увеличиваютъ содержаніе въ водѣ органическихъ составныхъ частей. Иные же организмы могутъ вполне приспособиться къ жизненнымъ

¹⁾ О соотношеніи во времени высокихъ водъ въ притокѣ и озерѣ ср. *Brückner, Klimaschwankungen, Wien, 1890, стр. 94.*

условіямъ озера и тогда они поселяются здѣсь и размножаются, представляя собой составную часть животнаго и растительнаго населенія озера.

Съ другой стороны тѣ животныя и растенія, которыя не прикрѣплены прочно къ опредѣленному мѣсту, уносятся вытекающимъ изъ озера стокомъ, почему флора и фауна его носятъ озерный характеръ.

Такимъ образомъ изъ вышеизложеннаго видно, какъ разнообразны взаимодѣйствія между озеромъ и его притоками и стоками и какое важное значеніе они имѣютъ. Такимъ образомъ озеро, будучи случайнымъ явленіемъ, оказываетъ важное вліяніе на жизнь рѣки.

5. Лимниметрія.

Лимниметріей называется тотъ отдѣлъ озеровѣдѣнія, который занимается вопросомъ о высотѣ стоянія водъ. Знаніе лимниметрическихъ условій озера важно для берегового жителя, такъ какъ высокое поднятіе уровня водъ можетъ повлечь за собою наводненіе, слишкомъ же низкое стояніе воды затрудняетъ судоходство. Лимниметрія привлекаетъ къ себѣ вниманіе и метеоролога, такъ какъ высота стоянія воды въ озерѣ находится въ зависимости отъ климата, — по измѣненіямъ высоты уровня воды можно сдѣлать заключеніе объ измѣненіяхъ климата и наоборотъ.

Высота стоянія воды измѣняется при помощи прочно установленнаго футштока съ точными дѣленіями; нуль футштока слѣдуетъ точно сравнить путемъ нивелировки съ какой-либо опредѣленной геодезической точкой, съ постояннымъ реперомъ, на тотъ случай, чтобы при поврежденіи футштока можно было поставить новый на той же высотѣ. Кромѣ простыхъ футштоковъ существуютъ различные усовершенствованные аппараты для измѣренія высоты стоянія воды; такъ, для этой цѣли служитъ *лимниметръ* съ поплавкомъ. Этотъ инструментъ помѣщается въ шахтѣ, соединенной съ озеромъ. Указатель поплавка, смотря по высотѣ стоянія воды въ шахтѣ, то опускается, то поднимается; эти движенія совершаются передъ неподвижной шкалой. *Самопишущій лимниметръ* или *лимнографъ* отмѣчаетъ высоту стоянія воды на развертывающейся полосѣ бумаги при помощи штифтика, прикрѣпленнаго къ поплавку.

Каковъ бы ни былъ режимъ озера, уровень его всегда обнаруживаетъ періодическія колебанія трехъ родовъ.

Суточные колебанія. Приходъ воды, доставляемой озеру притоками, днемъ часто увеличивается; этотъ случай особенно имѣетъ мѣсто при таяніи снѣга у глетчерныхъ потоковъ, такъ какъ таяніе снѣга и льда происходитъ сильнѣе днемъ, чѣмъ ночью. Но эти измѣ-

ненія въ количествахъ воды, доставляемой притоками, вызываютъ лишь слабыя колебанія уровня озера, такъ какъ притекающія массы воды распредѣляются по большой поверхности. Поэтому суточные колебанія уровня могутъ быть оставлены безъ вниманія.

Годичныя колебанія. Различныя времена года различны по степени свойственной имъ влажности, и осадки, на счетъ которыхъ главнымъ образомъ питаются рѣки, также распредѣлены въ году неравномѣрно, что и вызываетъ колебанія въ приходѣ воды озера. Времена года различаются также и по количеству тепла. Въ полярномъ, такъ же какъ и въ умѣренномъ, климатѣ зимою осадки выпадаютъ въ видѣ снѣга. Эти снѣговые осадки уносятся рѣками только лишь послѣ того, какъ они растаютъ отъ весенняго или лѣтняго тепла. Обстоятельство это является причиной годовыхъ колебаній уровня притоковъ. Наконецъ, испареніе бываетъ сильнѣе въ сухое и жаркое время года, чѣмъ зимою, и соотвѣтственно этому увеличивается количество воды, переходящей изъ озера въ атмосферу. Значеніе послѣдняго обстоятельства съ особенной силой бываетъ выражено на озерахъ тропическихъ и сухихъ странъ. Но количество воды, доставляемой притоками, обуславливается также испареніемъ съ ихъ бассейна.

Эти смѣны прихода и расхода воды въ озерѣ создаютъ колебанія уровня его, повторяющіяся ежегодно въ извѣстной послѣдовательности. Смотря по годовому періоду высоты стоянія воды, озера различаются на слѣдующіе типы:

а) Озера жаркаго климата. Высокій уровень въ продолженіе дождливаго времени года, низкій—въ сухое время (напримѣръ, Schotts и Sebkas, большія африканскія озера).

б) Озера умѣреннаго климата. Зимой, во время выпаденія снѣговыхъ осадковъ, уровень воды—низкій. Весной, при таяніи снѣговъ, уровень озера повышается; лѣтомъ, въ жаркіе періоды съ сильнымъ испареніемъ, онъ понижается¹⁾ съ тѣмъ, чтобы подняться въ сырую осеннюю пору.

в) Озера полярнаго климата. Зимой все замерзаетъ, и уровень воды въ озерѣ стоитъ низко. Лѣтомъ наступаетъ повсюду таяніе снѣга и льда, рѣки наводняются и вода въ озерахъ подымается до высокаго уровня.

Субальпійскія²⁾ озера соотвѣтствуютъ одновременно двумъ ти-

¹⁾ Только въ самыхъ континентальныхъ странахъ, гдѣ вліяніе лѣтняго усиленнаго испаренія съ избыткомъ покрывается особенно большимъ лѣтнимъ максимумомъ осадковъ, мы имѣемъ высокій уровень и лѣтомъ. Ср. въ остальномъ: *Woeikof, Seen und Flüsse als Produkte des Klimas. Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin, 1885. Стр. 92.*

²⁾ Выраженіе «субальпійскій» я отношу къ областямъ, расположеннымъ не только у подножія центральныхъ европейскихъ Альпъ, но также у подножія вообще высокихъ цѣпей горъ.

памъ: типу умѣренныхъ и полярныхъ странъ. Первый изъ типовъ выражается притоками, принадлежащими низменности, второй—притоками, берущими начало въ альпійской области. Зимой, благодаря холодной засухѣ, мы наблюдаемъ въ нихъ низкую воду, весною по причинѣ таянія снѣговъ въ равнинахъ и въ предгорьяхъ, а также вслѣдствіе весеннихъ дождей—въ этихъ озерахъ бываетъ высокій уровень воды. Высокое же стояніе воды, свойственное лѣту, объясняется таяніемъ горныхъ снѣговъ и ледниковыхъ массъ. Что же касается осенняго высокаго уровня, то причина его кроется въ осеннихъ ливняхъ; происходящая при этомъ прибыль воды въ озерахъ не можетъ быть уравновѣшена никакимъ испареніемъ, какъ бы послѣднее ни было сильно.

г) Циклическія колебанія. Тотъ фактъ, что климатъ подлѣжитъ періодическимъ колебаніямъ, въ настоящее время уже не нуждается въ доказательствахъ (Брюкнеровскіе климатическіе періоды)¹⁾. За рядомъ сырыхъ, дождливыхъ годовъ, влекущихъ за собою поднятіе кривой уровня стоянія водъ, слѣдуетъ рядъ сухихъ годовъ съ соотвѣтствующимъ пониженіемъ данной кривой. Поэтому до нѣкоторой степени является возможнымъ по относительнымъ измѣненіямъ высоты стоянія водъ какого-либо озера дѣлать заключеніе о соотвѣтствующихъ измѣненіяхъ климата. Такія лимниметрическія колебанія бываютъ особенно рѣзко выражены у озеръ безъ стока (глухія озера) или озеръ съ временнымъ стокомъ. У озеръ съ постояннымъ стокомъ они также замѣтны, хотя и не такъ сильно обозначены.

У озеръ, стокъ которыхъ регулируется искусственнымъ загражденіемъ (шлюзы, плотины), само собой понятно, болѣе или менѣе затемняется природное соотношеніе между высотой уровня въ озерѣ и приходомъ воды черезъ притоки.

Кромѣ этихъ періодическихъ, вообще довольно неравномѣрныхъ, колебаній, существуютъ еще неперіодическія колебанія. Эти послѣднія обязаны своимъ происхожденіемъ въ большинствѣ случаевъ сильнымъ дождямъ, посѣщающимъ всю или часть питающей данное озеро мѣстности; они возникаютъ также благодаря внезапно наступившему таянію снѣга, имѣющему мѣсто, напримѣръ, при тепломъ вѣтрѣ (Föhnsturm), вслѣдствіе обвала, запрудившаго притокъ, благодаря разливу плотиннаго озера, или же вообще отъ какого-либо ненормальнаго поднятія воды въ одномъ или нѣсколькихъ притокахъ. Такимъ образомъ лимниметрическая кривая озера даетъ надежныя указанія, касающіяся условій погоды даннаго года, до тѣхъ поръ, пока истокъ его не потерпитъ измѣненій отъ какихъ-либо загражденій или плотинъ.

¹⁾ *Brückner. Klimaschwankungen. Wien, 1890.*

Отношение между высотой стояния воды и количеством воды притоковъ и истоковъ можно выразить слѣдующей общей формулой:

$$h = \frac{Z + R - (E + A)}{G}$$

Здѣсь h означаетъ окончательный результатъ процессовъ убыли и прибыли воды озера въ определенное время, Z —количество воды, доставленной озеру притоками въ равные промежутки времени, R —количество воды, выпавшей на озеро въ видѣ дождя и сконденсировавшейся на его поверхности, E —количество испарившейся воды, A —количество воды, уходящей изъ озера черезъ стоки въ равные промежутки времени, наконецъ G —всю поверхность озера.

Отсюда слѣдуетъ, что если намъ извѣстно количество воды, уходящей по стоку, то мы можемъ вычислить сумму воды, доставляемой притоками плюсъ дожди, минусъ испареніе, именно:

$$Z + R - E = A + hG$$

Амплитуда лимниметрическихъ колебаній зависитъ отъ соотношенія между величиной поверхности озера и приходе-расходомъ воды черезъ притоки и стоки. Прямое наблюденіе даетъ намъ указанія о наибольшихъ поднятіяхъ и пониженіяхъ воды въ озерѣ, происходящихъ въ определенный промежутокъ времени, на примѣръ, въ теченіе дня. Величина этихъ колебаній представляетъ собою лимниметрическую чувствительность озера; въ разныхъ озерахъ она бываетъ весьма различна.

Далѣе, наблюденія даютъ намъ возможность заключать о величинѣ годовичнаго колебанія, т. е. о разности между максимальной и минимальной высотами стоянія воды за годовой промежутокъ времени.

Среднее годовое колебаніе выражается разностью двухъ чиселъ, представляющихъ средніе предѣлы годовыхъ колебаній уровня. Эти среднія величины мы найдемъ, если изъ наблюденій, производившихся въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ, мы отмѣтимъ наивысшія и наинизшія точки стоянія водъ для каждаго года и затѣмъ возьмемъ среднія для каждой изъ этихъ двухъ группъ крайнихъ чиселъ. Не мѣшаетъ также знать и разницу между самымъ высокимъ и самымъ низкимъ уровнями за все время наблюденій надъ озеромъ (наибольшее колебаніе). Если позволяютъ обстоятельства, интересно бываетъ вычислить измѣненія въ годовыхъ колебаніяхъ и, отмѣтивъ абсолютныя числа максимума и минимума для каждаго года, вывести величины годовыхъ колебаній.

Глава вторая.

Гидравлика.

1. Гидростатическое давленіе.

Сила давленія, производимаго столбомъ воды на тѣло, находящееся въ водѣ, выражается въ атмосферахъ. Нормальное давленіе одной атмосферы равно давленію 1.033 гр. на 1 квадр. сант., или, иначе, говоря, давленію, производимому столбомъ дистиллированной воды въ 10,33 метра высотой при 4° С. Замѣтимъ при этомъ что разница въ плотности воды, производимая различными факторами, въ столь слабой степени отражается на величинѣ давленія водяного столба, что ею въ большинствѣ случаевъ можно вполне пренебречь.

Въ качествѣ доказательства приведемъ здѣсь высоту водяного столба, соотвѣтствующую давленію атмосферы при различныхъ, встречающихся въ природѣ, крайнихъ случаяхъ.

Высота столба, соотвѣтствующая одной атмосферѣ, считая съ поверхности воды, которая сама находится подъ давленіемъ одной атмосферы, составляетъ:

при дистиллированной водѣ и при 4° С.	10,33 м.
» дистиллированной водѣ и при 20° С.	10,35 »
» прѣсной водѣ, при 4° С. и при плотности 1,0002 ¹⁾	10,328 »
» морской водѣ, при 4° С. и при плотности 1,027	10,06 »
» дистиллированной водѣ, при 4° С., содержащей на литръ 2 гр. взвѣшенныхъ частицъ.	10,31 »

Эти числа лишь незначительно измѣняются съ глубиной, такъ какъ вода почти несжимаема. Вода на 300 метр. глубины (Женевское озеро), подверженная давленію въ 30 атмосферъ, такъ мало уплотнена отъ сжатія, что здѣсь высота столба воды, соотвѣтствующая одной атмосферѣ при 4° С., равна 10,31 м., т. е. всего лишь на 2 см. меньше чѣмъ на поверхности. На днѣ же Байкальскаго озера, гдѣ давленіе достигаетъ 137 атмосферъ, высота упомянутого водяного столба должна составлять 10,26 м.

2. Поверхность озера.

Поверхность озера есть сегментъ сфероидальной поверхности земли ²⁾. Разницу кривизны земной поверхности въ разныхъ широ-

¹⁾ Вода Женевскаго озера.

²⁾ Мы не считаемся здѣсь съ точной формой геоида.

тахъ (кривизна въ экваторіальныхъ странахъ болѣе, чѣмъ въ полярныхъ), вслѣдствіе ея незначительности, мы можемъ не принимать во вниманіе при разсмотрѣніи своей задачи. Поэтому мы можемъ всякую озерную поверхность разсматривать и вычислять, какъ часть шаровой поверхности, описанной радіусомъ въ 6.370 килом. Высота дуги, которую мы получаемъ при пересѣченіи озерной поверхности вертикальной плоскостью, выражается слѣдующими числами:

при длинѣ дуги въ	100 м.	0,2 миллим.
» » » »	1 килом.	1,9 сантим.
» » » »	10 килом.	1,9 метр.

Сила притяженія береговъ оказываетъ чрезвычайно ничтожное вліяніе на измѣненіе формы поверхности озера, и поэтому ее можно совершенно не принимать во вниманіе.

3. Денивелляціи вообще.

Мы только что говорили, что поверхность озера есть часть сфероидальной поверхности, или, допуская извѣстную степень приближенія, часть шаровой поверхности земли, описанной радіусомъ въ 6.370 килом. Но эта нормальная форма озерной поверхности измѣняется вслѣдствіе различныхъ причинъ; эти измѣненія—денивелляціи—могутъ быть постоянными и временными.

А) Постоянныя денивелляціи.

Большинство факторовъ, вліяющихъ въ большей или меньшей степени на поверхность морей, являются неприменимыми къ озеру; таковы, напримѣръ, неправильности, возникающія благодаря приливамъ и отливамъ, неправильности вслѣдствіе теченій, различій въ химическомъ составѣ воды и проч. Всѣ подобные факторы по отношенію къ озеру имѣютъ ничтожное вліяніе и потому не заслуживаютъ вниманія. Лишь только въ соленыхъ озерахъ разница въ плотности между тяжелой озерной водой и легкой водой притоковъ въ ихъ устьяхъ можетъ повести къ постоянной замѣтной денивелляціи.

Но у озеръ наблюдается свойственное имъ явленіе, вызывающее денивелляцію и потому подлежащее специальному разсмотрѣнію. Озеро получаетъ въ одномъ или нѣсколькихъ пунктахъ увеличеніе массы своихъ водъ. Если озеро проточное, то уменьшеніе водной массы происходитъ только въ одномъ мѣстѣ—мѣстѣ стока. Изъ этого слѣдуетъ, что вода у устья притоковъ должна стоять выше, чѣмъ въ началѣ стока. Благодаря этому поверхность проточнаго озера видоизмѣняется совершенно своеобразно. У устья каждаго изъ его прито-

ковъ водная поверхность имѣетъ видъ очень плоскаго конуса съ выпуклой поверхностью, вершина котораго лежитъ въ устьѣ притока; напротивъ, въ бухтѣ, изъ которой вода вытекаетъ по истоку, эта поверхность имѣетъ видъ конуса съ вогнутой поверхностью. Эта вогнутая поверхность также чрезвычайно плоска. Отъ мѣста устья притока къ мѣсту выхода воды по стоку происходитъ движеніе воды—теченіе. Но это теченіе бываетъ очень медленнымъ и въ дѣйствительности не можетъ быть измѣрено, благодаря тому, что поперечное сѣченіе рѣки увеличивается въ мѣстѣ ея впаденія въ озеро и озеро представляетъ собой не что иное, какъ расширенную рѣку. Это теченіе явственно замѣтно лишь въ маленькихъ озерахъ, черезъ которыя протекаютъ сравнительно большія рѣки, напримѣръ, въ Нижнемъ озерѣ (Untersee) на Рейнѣ, или въ узкихъ проливахъ, связывающихъ въ одно цѣлое отдѣльные водоемы (плёса) расчлененнаго озера.

Теоретическая же необходимость такого теченія доказываетъ существованіе уклона (паденія) на пространствѣ между устьемъ главнаго притока и начальнымъ пунктомъ стока. Разумѣется, величина этого паденія до такой степени мала, что почти никогда не поддается наблюденію; констатированіе ея бываетъ возможнымъ только при извѣстныхъ условіяхъ и при примѣненіи очень тонкихъ измѣрительныхъ методовъ.

Б) Временныя денивелляціи.

Временныя денивелляціи могутъ происходить по космическимъ причинамъ, вслѣдствіе измѣненія положенія земнаго шара относительно ближайшихъ небесныхъ тѣлъ. Такія денивелляціи (приливы и отливы) до сихъ поръ наблюдались всего лишь по отношенію къ единственному озеру, именно оз. Мичиганъ; въ немъ онѣ достигали высоты нѣсколькихъ сантиметровъ. Но существованіе ихъ на данномъ озерѣ нѣкоторые выдающіеся ученые подвергаютъ сомнѣнію и нынѣ. Въ небольшихъ озерахъ и озерахъ средней величины подобныя денивелляціи, во всякомъ случаѣ, не замѣчаются; поэтому ихъ и можно оставить безъ вниманія.

Но временныя денивелляціи могутъ быть вызваны также атмосферными явленіями; такого рода денивелляціи часто встрѣчаются и имѣютъ важное значеніе. Такъ возникаютъ:

а) Неритмическія денивелляціи. Проносящійся надъ озеромъ вѣтеръ гонитъ поверхностную воду отъ одного берега къ другому, противоположному. Такъ возникаетъ временная поверхностная денивелляція, при которой у подвѣтреннаго берега вода опускается, а у берега, подверженнаго дѣйствію вѣтра,—поднимается. Гладь озера въ этомъ случаѣ обнаруживаетъ подъемъ къ наветренному берегу.

Эта деформация съ усиленіемъ вѣтра увеличивается, съ ослабленіемъ—уменьшается и при наступленіи штиля пропадаетъ вовсе. Самыя большія денivelляціи подобнаго рода, какія мнѣ пришлось наблюдать на Женевскомъ озерѣ, достигали 12 сант. Чѣмъ обширнѣе озеро, тѣмъ больше и возникающія на немъ такимъ путемъ денivelляціи, при равной глубинѣ.

Если озеро расчленено на части, соединенныя между собою проливами, то разница въ высотахъ можетъ быть весьма значительна. Особенно большой величины эта разница достигаетъ въ томъ случаѣ, когда озеро мелко. *Е. ф. Хольноки* свидѣтельствуетъ, что подобныя денivelляціи у мелкаго Платтенскаго озера достигаютъ 25—30 сантиметровъ ¹⁾.

б) Ритмическія денivelляціи. Ритмическія колебательныя движенія или, короче, волнообразныя движенія на озерѣ могутъ выражаться двояко:

Во-первыхъ, въ формѣ поступательнаго колебанія—въ видѣ простыхъ волнъ. Это колебательное движеніе ограничивается поверхностью, захватывая лишь верхніе слои воды.

Во-вторыхъ, въ формѣ «стоячихъ волнъ». При этомъ происходитъ въ движеніе вся масса воды въ озерѣ до самыхъ глубинъ. Это явленіе у жителей Женевскаго озера носитъ названіе «сейшъ» (Seiches); въ виду трудности подыскать соотвѣтствующее переводное слово на другихъ языкахъ, мы оставляемъ это мѣстное французское выраженіе и будемъ употреблять далѣе наименованіе «сейши», какъ определенный лимнологическій терминъ.

4. Поступательныя волны или просто волны озера.

Каждый толчокъ, получаемый въ какомъ-либо мѣстѣ спокойной водяной массы, производитъ въ данной точкѣ смѣщеніе водяныхъ молекулъ изъ ихъ первоначальнаго положенія покоя, къ каковому онѣ вновь возвращаются лишь послѣ ряда колебаній. При этихъ колебаніяхъ путь каждой изъ молекулъ представляетъ собою замкнутую кривую. Но колебательное движеніе частицы водяной массы не можетъ происходить безъ того, чтобы этимъ движеніемъ не захватывались и рядомъ лежащія частицы. Вслѣдствіе этого движеніе послѣдовательно передается отъ одной молекулы къ другой. Этими колебаніями деформируется водная поверхность. Получаются волны, поперечный профиль

¹⁾ Resultate der wissenschaftlichen Erforschung des Plattensees. I. II. S. 34. Wien, 1897.

которыхъ въ каждый данный моментъ сверху ограниченъ кривой, именно трохондой ¹⁾.

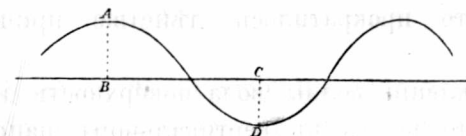
Волны представляютъ собою вытянутые въ длину и параллельные между собою водяные хребты, гребни волнъ, между которыми лежатъ долины (подошвы) волнъ; гребни и подошвы волнъ движутся впередъ одновременно и съ одинаковою скоростью отъ мѣста возникновенія волны и такимъ образомъ, что въ теченіе цѣлаго періода волны одна и та же точка водной поверхности принадлежитъ поочередно гребню волны, потомъ ея подошвѣ и въ заключеніе опять гребню.

Я не буду входить здѣсь подробнѣе въ теорію движенія волнъ; читателю, интересующемуся этимъ вопросомъ, я укажу на работы о морскихъ волнахъ, результаты которыхъ отлично систематизированы *Крюммелемъ* ²⁾. Для нашей же цѣли достаточно будетъ ознакомиться съ слѣдующими важнѣйшими элементами волненія:

Длиною волны (λ) называется взаимное разстояніе между однородными точками двухъ сосѣднихъ волнъ, на примѣръ, разстояніе между двумя гребнями.

Высотой волны ($2h$) обозначаютъ вертикальное разстояніе между наивысшей точкой гребня и самой низшей точкой подошвы волны, или, иначе говоря, разстояніе отъ гребня волны до поверхности воды, находящейся въ покоѣ, сложенное съ разстояніемъ той же поверхности отъ глубины подошвы (фиг. 3).

$$AB + CD = 2h.$$



Фиг. 3. Высота волны.

AB не равно точно CD по абсолютной величинѣ, такъ какъ среднія точки кривой, описываемой водяными частицами при волнообразномъ движеніи, не совпадаютъ со спокойной поверхностью воды, а лежатъ нѣсколько выше. Но эта разница настолько мала, что мы ею пренебрегаемъ.

Размахомъ волны (ρ) называется радіусъ круга, описываемаго при волненіи молекулой воды на ея поверхности. Размахъ частицъ,

¹⁾ Трохондой называется кривая, которую описываетъ какая-либо точка, лежащая внутри круга, между тѣмъ какъ кругъ катится по прямой.

²⁾ *O. Krümmel. Ozeanographie. II, 1, 137. Stuttgart, 1887.*

лежащихъ подъ поверхностью болѣе глубокихъ слоевъ 1, 2, 3... обозначаются черезъ $\rho_1, \rho_2, \rho_3...$

Періодомъ волны (t) является время, потребное для прохожденія волною пространства, равнаго ея длинѣ; или, выражаясь иначе, время, исчисляемое отъ момента, когда гребень одной волны проходить черезъ какую—либо постоянную точку, до момента, когда черезъ ту же точку проходить гребень непосредственно слѣдующей волны. И это время равно времени, которое употребляетъ частица воды для совершенія кругообразнаго колебанія, для завершенія полного круга.

Скоростью волны (v) называютъ пространство, пробѣгаемое гребнемъ волны въ единицу времени.

Длина и высота волнъ выражаются въ метрахъ, періодъ въ секундахъ, быстрота въ метрахъ въ секунду.

Передняя часть волны есть тотъ ея склонъ, который обращенъ по направленію движенія волны, задняя же—обратный склонъ. При волненіи, возбужденномъ вѣтромъ, передней стороной волны будетъ сторона подвѣтренная, задней—навѣтренная.

Вкратцѣ общія свойства волнъ могутъ быть представлены слѣдующимъ образомъ:

а) Такъ какъ волна есть выраженіе колебательнаго движенія, то никогда не можетъ быть единичной волны; напротивъ того, каждая волна сопровождается рядомъ другихъ аналогичныхъ колебаній, равныхъ по длинѣ и періоду. Высота каждой послѣдующей волны меньше высоты предыдущей и подъ конецъ дѣлается равной нулю; при этомъ предполагается, что прекратилось дѣйствіе причины, вызвавшей волненіе.

б) При прохожденіи волны вода поверхности движется по-переменно то вверхъ, то внизъ въ вертикальномъ направленіи, а также взадъ и впередъ въ горизонтальномъ или, выражаясь болѣе правильно,—она движется сначала внизъ, затѣмъ назадъ, потомъ вверхъ, потомъ впередъ. Вертикальное передвиженіе каждой отдѣльной молекулы воды соотвѣтствуетъ высотѣ волны и равняется двойному размаху или амплитудѣ волны:

$$2h = 2\rho, \quad h = \rho.$$

Горизонтальное передвиженіе слагается такъ же.

в) Сложныя уравненія, выражающія поступательное движеніе волнъ, могутъ быть въ значительной степени упрощены, если исключить изъ нихъ нѣкоторые несущественные члены. Связь между важнѣйшими элементами волны, двигающейся на поверхности стоячей воды, глубина которой неограниченно велика или по крайней мѣрѣ

достаточна для того, чтобы можно было исключить всякое вліяніе дна на волну, можетъ быть представлена слѣдующими формулами:

$$t = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}} = 0,8\sqrt{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{gt^2}{2\pi} = 1,56 t^2.$$

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} = 1,25 \sqrt{\lambda}$$

Приведенныя формулы показываютъ, что три элемента волны—длина, періодъ и скорость—находятся между собой во взаимной связи и, слѣдовательно, варьируютъ одновременно.

Съ помощью этихъ формулъ можно найти числовыя значенія элементовъ волнъ, проходящихъ по глубокой водѣ. Эти числовыя соотношенія выражаются въ такомъ видѣ:

Періодъ t . Длина λ . Скорость v .

0.5 сек.	0,4 м.	0,8 м.
1 "	1,6 "	1,6 "
2 "	6,2 "	3,1 "
3 "	14 "	4,7 "
4 "	25 "	6,2 "
5 "	39 "	7,8 "
6 "	56 "	9,4 "
7 "	76 "	10,9 "
8 "	100 "	12,5 "

г) Высота и длина волны независимы одна отъ другой. Но въ общемъ тѣмъ длиннѣе волны, чѣмъ онѣ выше. Чѣмъ сильнѣе толчокъ, дѣйствующій на водную поверхность, тѣмъ длиннѣе и выше вызываемыя имъ волны. Отношеніе между высотой $2h$ и длиной λ принимается приблизительно равнымъ отношенію 1:20.

д) Размѣръ волнъ быстро увеличивается, если возбуждающая ихъ причина продолжаетъ дѣйствовать, какъ это, на примѣръ, имѣетъ мѣсто при вѣтрѣ. При этомъ возрастаютъ одновременно высота и длина волнъ.

е) Если причина, вызвавшая волны, дѣйствуетъ короткое время или если причина, бывшая длительною, прекращается, то это влечетъ за собою пониженіе волнъ. Но отношеніе между длиной, періодомъ и скоростью волнъ остается ненарушеннымъ все время, пока волны, постепенно уменьшаясь въ своей высотѣ, не затихнутъ, наконецъ, совершенно.

ж) Волны представляют собою явление поверхностных слоев воды. Колебание (орбитальное движение) водяных частиц всего сильнее въ поверхностномъ слое; это колебание распространяется и въ глубь, въ нижележащие слои, но здѣсь размахъ ихъ колебаній быстро уменьшается.

Величину этого уменьшенія можно легко выразить, если мы вмѣстѣ съ *Ранкинымъ* мысленно разложимъ всю водную массу на слои, мощность которыхъ составляетъ девятую часть длины волны ($\frac{\lambda}{9}$). Размахъ ρ въ этомъ случаѣ убываетъ въ направленіи сверху внизъ такъ, что величина его въ каждомъ слое представляетъ половину величины въ предыдущемъ слое:

Слой.	Глубина.	Обозначеніе.	Величина.
Поверхность.	0	ρ	ρ
1.	$\frac{\lambda}{9}$	ρ_1	$\frac{\rho}{2}$
2.	$\frac{2\lambda}{9}$	ρ_2	$\frac{\rho}{4}$
3.	$\frac{3\lambda}{9}$	ρ_3	$\frac{\rho}{8}$
4.	$\frac{4\lambda}{9}$	ρ_4	$\frac{\rho}{16}$
5.	$\frac{5\lambda}{9}$	ρ_5	$\frac{\rho}{32}$

Размахъ водяной частицы въ слое, находящемся на глубинѣ, равной длинѣ волны, составляетъ $\frac{1}{512}$ размаха частицы поверхностного слоя. Въ то время, какъ въ теоріи колебательныя движенія должны передаваться на самыя большія глубины, на практикѣ они перестаютъ быть замѣтными уже на незначительной глубинѣ.

з) Если волна изъ глубокой части озера, двигаясь къ берегу, достигаетъ мелкой части, она претерпѣваетъ могочисленныя измѣненія. Скорость и длина волнъ уменьшаются, гребни волнъ сближаются другъ съ другомъ тѣмъ тѣснѣе, чѣмъ мельче вода. Въ этомъ случаѣ, волны вздымаются и ихъ первоначальная высота увеличивается; при этомъ обѣ стороны водяного вала построены неодинаково, именно сторона, обращенная къ берегу, падаетъ круче, чѣмъ обращенная къ озеру, и благодаря тому, что верхнія части волны движутся быстрѣе нижнихъ, задерживаемыхъ треніемъ о дно, гребень волны нависаетъ впередъ, дѣлая переднюю сторону ея вогнутою. Наконецъ, волна съ пѣной низвергается и разбивается. Съ этого момента высота волны начинается послѣдовательно уменьшаться, между тѣмъ какъ волна выбѣгаетъ на плоскій берегъ. Только періодъ волны остается при этомъ постояннымъ, являясь единственнымъ элементомъ, неизмѣняющимся отъ

уменьшенія глубины. Это важный фактъ; онъ позволяетъ опредѣлять съ берега размѣръ волнъ, для чего требуется точно установить величину t , значеніе которой легко вывести изъ числа волнъ, набѣгающихъ на берегъ въ теченіе одной минуты. Такимъ образомъ возможно вычислить различные элементы волнъ въ открытомъ озерѣ на глубокой водѣ, за исключеніемъ лишь одного элемента—ихъ высоты. Конечно, для того, чтобы подобное опредѣленіе не заключало въ себѣ болѣе или менѣе грубыхъ погрѣшностей, наблюдателю необходимо выбрать довольно обрывистый берегъ. Именно при этомъ можетъ случиться, что кое-гдѣ волны, катящіяся черезъ мелкую береговую банку, будутъ догонять другъ друга и одна съ другой смѣшиваться. Поэтому счетъ волнъ съ низменнаго берега можетъ дать очень малое число, весьма увеличивающее ихъ періодъ.

Вслѣдствіе того, что скорость волнъ уменьшается съ приближеніемъ ихъ къ берегу, волны стремятся расположиться параллельно берегу; такимъ образомъ прибой ударяетъ въ берегъ всегда почти перпендикулярно къ его направленію.

Волны могутъ быть изолированными или ассоціированными. Одиночный толчокъ, внезапное сотрясеніе, вызываетъ изолированную волну, распространяющуюся въ видѣ круга отъ мѣста своего рожденія во всѣ стороны водной поверхности. Такъ какъ частицы воды, получившія такое сотрясеніе, не сразу успокаиваются, но нѣкоторое время продолжаютъ колебаться, то за первой волной слѣдуютъ дальнѣйшія равной длины, равнаго періода и равной скорости; но высота слѣдующихъ волнъ соотвѣтственно уменьшается, пока не сдѣлается равной нулю.

Изолированная волна можетъ быть кругообразной или прямолинейной.

Кругообразныя изолированныя волны могутъ возникнуть отъ паденія сверху въ воду твердаго или жидкаго тѣла (дождевыя капли, градъ и пр.) или отъ поднятія изъ глубины, на примѣръ, пузырей воздуха, лопающихся на поверхности воды.

Прямолинейныя изолированныя волны вызываются поступательнымъ движеніемъ по поверхности воды какого-нибудь твердаго тѣла. Въ качествѣ примѣра, могутъ быть приведены волны, расходящіяся справа и слѣва отъ носа движущагося судна.

Ассоціированныя или рядовыя волны бываютъ обязаны своимъ происхожденіемъ непрерывно и одновременно дѣйствующимъ причинамъ. Примѣромъ могутъ служить волны, возникающія сзади, за кормой находящагося въ движеніи парохода, затѣмъ волны отъ движеній рыбы, плавающей вблизи поверхности воды.

Самымъ же главнымъ и наиболѣе частымъ возбудителемъ такихъ рядовыхъ волнъ остается все-таки *вѣтеръ*. Отъ тренія воздуха движущейся

щагося по поверхности воды, частицы послѣдней приходятъ въ колебательное движеніе; такимъ образомъ возникаютъ вѣтровыя волны. Эти наиболѣе важныя озерныя волны изучены полнѣе, чѣмъ всѣ иныя многочисленныя типы волнъ. Приведемъ здѣсь вкратцѣ результаты произведенныхъ надъ ними наблюденій.

а) Вѣтровыя волны, будучи сначала чрезвычайно маленькими, по мѣрѣ того, какъ пробѣгаютъ озеро, все возрастаютъ и возрастаютъ въ своей величинѣ. При продолжающемся на нихъ дѣйствіи вѣтра, онѣ получаютъ все новые и новые импульсы, усиливающіе ихъ орбитальное движеніе. Волны, едва замѣтныя у подвѣтреннаго берега, достигаютъ нерѣдко наибольшей величины у противоположнаго берега, открытаго вѣтру. Коль скоро волны, вызванныя вѣтромъ, достигли извѣстной величины, ихъ строеніе становится болѣе сложнымъ, благодаря возникновенію на ихъ скатахъ вторичныхъ и третичныхъ волнъ.

б) Послѣ того, какъ вѣтеръ уже стихъ, волненіе нѣкоторое время все еще продолжается. Волны имѣютъ равныя длину, скорость и періодъ, высота же ихъ постепенно убываетъ. Но это уже не живыя, бѣгущія по вѣтру волны, это—волны мертвыя, мертвая зыбь (*Dünung, houle*).

в) Когда волны ударяютъ въ отвѣсно стоящій скалистый берегъ или въ стѣну, то въ этомъ случаѣ онѣ отчасти отражаются и отбрасываются. Отброшенные волны интерферируютъ со встрѣчными, высота которыхъ, благодаря этому, можетъ увеличиться почти вдвое. Такъ возникаетъ прибой (*Wellenkreuzung, ressac*).

г) Если пришедшая съ озера волна бьетъ въ крутой скалистый берегъ, то ея живая сила, превращаясь въ ударъ, съ большою энергіей передается прибрежной скалѣ. Повторные толчки волнъ мало-по-малу подрываютъ берегъ, образуя характерный береговой обрывъ (*Kliff*). Отдѣльные водяные снопы и пѣнистыя массы вздымаются вверхъ на весьма значительную высоту, далеко превышающую высоту волнъ въ открытомъ озерѣ (береговой бурунь [*Kliffbrandung* и *Strandbrandung*]*). Если берегъ представляетъ твердую породу или составленъ изъ гравія, то бурунные волны омываютъ его на значительной высотѣ, далеко превосходящей среднюю высоту стоянія водъ (*Strandbildung*).

д) Какъ мы уже говорили, движеніе волнъ съ поверхности озера распространяется и въ нижележащіе слои воды, сопровождаясь быстрымъ убываніемъ амплитуды. Нижняя граница замѣтнаго дѣйствія волнъ совпадаетъ съ нижнею границею слѣдовъ волнъ на пескѣ въ видѣ ряби (*Wellenfurchung*, англійское—*Ripple marks*).

Слѣдующій примѣръ даетъ точное представленіе о нижней границѣ дѣйствія волнъ. На Женевскомъ озерѣ самыя крупныя изъ всѣхъ наблюдавшихся до настоящаго времени волнъ имѣли періодъ (t) въ 5 секундъ, длину (λ) въ 20 метровъ и скорость (v) въ 7,8 метровъ въ секунду. Наибольшая же глубина, на которой на мелкомъ пескѣ озернаго дна наблюдались слѣды волнъ, составляетъ около 9 м. ниже низкаго уровня воды.

е) Дѣйствіе вѣтра, вызывающее волненіе, можетъ быть парализована въ томъ случаѣ, если на поверхности воды плаваетъ тонкій слой жира. Масляный слой толщиной всего только въ 0.000005—0.00001 миллим. достаточенъ, чтобы помѣшать образованію ряби отъ вѣтра.

ж) Интерференція волнъ разныхъ видовъ и разнаго происхожденія дѣйствуетъ на волненіе успокаивающимъ образомъ. Круговыя волны, возникающія при паденіи дождевыхъ капель, очень скоро уменьшаютъ высоту прямолинейныхъ волнъ отъ вѣтра. Очень легко наблюдать, какъ сильное волненіе, разведенное на озерѣ вѣтромъ, очень быстро прекращается при дождѣ ¹⁾.

5. Сейши.

Толчокъ, полученный водной поверхностью лишь на ограниченномъ пространствѣ, влечетъ за собой мѣстныя поверхностныя, широко распространяющіяся, колебанія водяныхъ частицъ. Мы уже изучили эти колебанія по отношенію къ поступательнымъ волнамъ озера, т. е. къ волнамъ въ тѣсномъ смыслѣ этого слова. Толчекъ, претерпѣваемый одновременно большей частью озерной поверхности, вызываетъ общее нарушеніе равновѣсія, которое и приводитъ въ движеніе всю массу воды. По прекращеніи причины, вызвавшей это нарушеніе, водныя массы возвращаются къ состоянію прежняго покоя послѣ ряда колебаній, проникающихъ до самаго дна. Вотъ такія-то колебательныя движенія, въ которыхъ принимаетъ участіе вся масса воды, въ противоположность поступательнымъ волнамъ, носятъ названіе *стоячихъ волнъ*. Мы ранѣе упоминали, что такія стоячія волны въ озерѣ кратко называются *сейшами*.

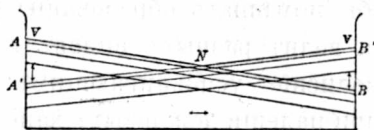
Если мы захотимъ экспериментальнымъ путемъ въ маленькомъ корытѣ или блюдѣ вызвать сейши, то нужно дать толчекъ, нарушающій равновѣсіе, или сосуду, содержащему воду, или прямо самой жидкости. Въ обоихъ случаяхъ вся водная масса начинаетъ колебаться, производя вправо и влево отъ нѣкоторой вертикальной плоскости,

*) Подробности о бурунѣ см. *Penck: Morphologie*, II, S. 463—491.

¹⁾ Отсюда французская поговорка: «petite pluie abat grand vent».

въ которой находится узелъ колебаній (N), рядъ маятникообразныхъ горизонтальныхъ качаній.

Если бы сосудъ былъ безконечно великъ, то обнаружилось бы лишь одно горизонтальное маятникообразное движеніе. Но, такъ какъ жидкость ограничена стѣнками чаши, то вода скопляется у одной стороны, вызывая здѣсь повышеніе уровня, и уходитъ отъ другой, производя пониженіе стоянія воды въ этой части. Здѣсь мы имѣемъ дѣло съ вторичнымъ явленіемъ, когда вода на одномъ концѣ сосуда отъ A до A¹ опускается, а на другомъ отъ B до B¹ подымается, и затѣмъ такимъ же образомъ происходитъ обратное движеніе (фиг. 4).



Фиг. 4. Унинодальная стоячая волна.

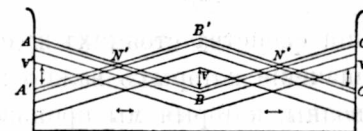
На обоихъ концахъ сосуда колебанія воды происходятъ всего сильнѣе. Здѣсь лежатъ выпуклины (V) стоячей волны (Bäuche). Въ мѣстѣ выпуклинъ вода опускается и подымается, не производя при этомъ горизонтальнаго передвиженія; напротивъ въ узлахъ вода движется горизонтально туда и сюда, оставаясь постоянно на одномъ и томъ же уровнѣ. На практикѣ лишь съ большимъ трудомъ можно констатировать горизонтальное передвиженіе воды въ узлахъ. Напротивъ того, въ выпуклинахъ періодическія колебанія уровня воды явственны замѣтны. Только эти, собственно вторичныя, колебанія являются въ практическомъ отношеніи предметомъ изученія сейсмъ.

Какъ при маятникообразномъ колебаніи, такъ и при стоячей волнѣ, ширина колебанія (высота) бываетъ наибольшей при первой волнѣ, при слѣдующихъ же волнахъ она постепенно уменьшается, пока не упадетъ до нуля.

Случай, который мы сейчасъ разсмотрѣли, является самымъ простымъ; это случай типической *унинодальной стоячей волны*, т. е. стоячей волны съ однимъ узломъ. Узелъ дѣлитъ водную массу приблизительно пополамъ; направо и налево лежатъ выпуклины. Но колебанія могутъ быть гораздо сложнѣе. При извѣстныхъ условіяхъ водяная масса подъ вліяніемъ толчка можетъ получить такого рода качаніе, когда каждая изъ половинъ сама по себѣ колеблется *унинодально*; въ этомъ случаѣ вся масса воды движется уже въ *бинодальной стоячей волнѣ*. Поверхность воды показываетъ точки постояннаго уровня, т. е. узлы, при N¹ и N², полную выпуклину B B¹ въ серединѣ и двѣ полувыпуклины A A¹ и C C¹ на концахъ (фиг. 5). Унинодаль-

ныя и бинодальныя стоячія волны могутъ быть вызваны одновременно въ опытномъ сосудѣ и качаться одна рядомъ съ другой. Интерференція обоихъ колебаній даетъ очень сложныя и въ разныхъ мѣстахъ различныя движенія. Естественно думать, что существуютъ три,—квадри—и плюринодальныя стоячія волны. Но въ озерахъ таковыя до сихъ поръ не были ясно доказаны.

Стоячія волны можно искусственно вызвать по направленію любой изъ двухъ горизонтальныхъ главныхъ осей сосуда. Если обѣ оси неравны, то различаютъ *продольныя* и *поперечныя колебанія*. Оба движенія могутъ происходить въ сосудѣ одновременно. Смотря по соотношенію между унинодальной и бинодальной волнами могутъ возникать болѣе или менѣе запутанныя явленія интерференціи. Можно даже допустить, что вода колеблется въ стоячихъ волнахъ одновременно болѣе, чѣмъ по двумъ направленіямъ. Но въ современномъ состояніи озерныхъ изслѣдованій этотъ вопросъ не имѣетъ значенія.



Фиг. 5. Бинодальная стоячая волна.

Экспериментально стоячія волны я вызывалъ двоякимъ путемъ:

а) Дѣйствіемъ на сосудъ. Одинъ конецъ сосуда приподнимаютъ и затѣмъ сразу опускаютъ. Возникающія при этомъ колебанія воды унинодальны.

б) Дѣйствіемъ на воду. Погружаютъ въ жидкость достаточно большое твердое тѣло и двигаютъ имъ ритмически вверхъ и внизъ, такъ чтобы интервалы времени соотвѣтствовали стоячему періоду волны. То мѣсто въ водѣ, гдѣ погружается тѣло, становится выпуклиной (Bauch) стоячей волны. Если погружать тѣло (съ соотвѣтствующимъ ритмическимъ движеніемъ) у конца сосуда, то получается унинодальное колебаніе. Бинодальное же напротивъ произойдетъ, когда мы до- трагиваемся тѣломъ середины жидкости въ сосудѣ.

Если сосудъ имѣетъ горизонтальное дно, то періодъ стоячей волны пропорціоналенъ длинѣ оси, по которой происходитъ колебаніе, и обратно пропорціоналенъ корню квадратному изъ глубины воды:

$$t = \frac{1}{\sqrt{g}} \quad \frac{1}{V_h} = \frac{1}{\sqrt{gh}},$$

гдѣ t равняется половинѣ продолжительности колебанія, т. е. равняется тому времени, въ теченіе котораго вода на одномъ изъ

концовъ сосуда переходитъ изъ высшаго своего положенія въ низшее. Иначе сказать, продолжительность колебанія $2t$ —есть время, протекающее отъ момента, когда водная поверхность занимаетъ опредѣленное положеніе, до ближайшаго слѣдующаго момента, когда она вновь приходитъ въ то же положеніе; l —длина оси сосуда въ метрахъ; h —глубина воды въ метрахъ; g —ускореніе силы тяжести=9,809.

Теоретически періодъ бинодальнаго колебанія долженъ относиться строго говоря къ періоду унинодальнаго, какъ 1 : 2. Но мои экспериментальныя изслѣдованія въ лабораторіи всегда давали нѣкоторое отклоненіе отъ этого отношенія. Слѣдовательно, въ этомъ пунктѣ теорія еще нуждается въ дополненіи.

Если сосудъ поставленъ косо, такъ что на одной сторонѣ глубина будетъ больше, чѣмъ на другой, то продолжительность колебанія нѣсколько удлинится, и выпуклина на мелкой сторонѣ будетъ сильнѣе; одновременно узелъ немного отступаетъ въ сторону мелкаго мѣста.

Вотъ тѣ главнѣйшія свойства стоячихъ волнъ, добытыя экспериментальнымъ путемъ, значеніе которыхъ важно при изученіи сейшъ.

Такія же стоячія волны, которыя мы производимъ и наблюдаемъ въ стаканѣ, въ ваннѣ, имѣютъ мѣсто и въ прудахъ, въ озерахъ—большихъ или малыхъ. Примѣромъ наибольшаго озера, сейши котораго подвергались донинѣ изученію, служить Женевское озеро, имѣющее въ длину 72 километра, а объемъ въ 89 миллиардовъ кубическихъ метровъ ¹⁾. Мнѣ удалось констатировать, что сейши этого озера обладаютъ всѣми свойствами стоячихъ волнъ, представляя собой маятникообразныя колебанія, въ которыхъ участвуетъ вся масса водъ озера вплоть до самыхъ глубинъ.

Сейши Женевского озера, какъ и вообще всякаго другого, суть періодическія (ритмическія) денivelляціи воды, при которыхъ вода на извѣстныхъ мѣстахъ попеременно подымается и опускается, при чемъ водная поверхность не подвергается деформации сколько-нибудь замѣтной для глаза образомъ.

Картина такихъ колебаній уровня воды хорошо рисуется числовыми данными, относящимися къ періоду сейшъ. Въ слѣдующемъ изложеніи я приведу эти данныя для различныхъ озеръ, въ отношеніи которыхъ имѣется достаточное число наблюденій. При этой ха-

¹⁾ Сейши были также констатированы на Платтенскомъ озерѣ (77,2 килом. въ длину). Унинодальныя сейши имѣютъ періодъ въ 10—12 часовъ. Такое медленное колебаніе въ связи съ быстрымъ убываніемъ амплитудъ, что затрудняетъ самое наблюденіе, обусловливается весьма ничтожной глубиной озера (3½ м. въ среднемъ и 11 м. максимумъ). Ср. *Eugen v. Chotnoky*, Wissensch. Erforschung des Plattensees. I. III. Limnologie. Wien. 1897.

рактистикъ разныхъ типовъ сейшъ въ отдѣльныхъ озерахъ я воспользуюсь обозначеніями, сдѣланными для выше приведенныхъ опытовъ. Періодъ, выраженный въ минутахъ $2t$, соответствуетъ полному колебанію, въ теченіе котораго вода на извѣстномъ пунктѣ опускается отъ максимума до минимума и затѣмъ опять подымается до максимума.

Въ различныхъ изслѣдованныхъ озерахъ я могъ наблюдать слѣдующія сейши:

1. продольныя сейши, движущіяся по продольной оси вытянутаго въ длину озера;

2. поперечныя сейши, движущіяся по короткой или по одной изъ короткихъ осей озера.

Въ обоихъ случаяхъ различаютъ:

а) унинодальныя сейши;

б) бинодальныя сейши;

в) сдвоенныя сейши, ¹⁾ т. е. сейши, возникающія отъ интерференціи унинодальной и бинодальной сейшъ.

г) плюринодальныя сейши.

	Длина оси килом.	Максимальная ширина килом.	Средняя глубина м.	Объемъ глубина м.	Періодъ сейшъ продольн. поперечн. унинод. бинод. унинод. м и н у т ы			
					кб. килом.	м и н у т ы		
Женевское озеро .	72	13,8	310	153	89	73	35,5	10
Боденское озеро .	65	—	252	90	48	55,8	28,1	—
Цюрихское озеро .	29	—	143	44	4	45,6	23,8	—
Нейенбургск. озеро	38	—	153	64	14	50	25	—
Озеро Георга ²⁾ .	29	—	—	5	—	131	72	—
Платтенское озеро	77	—	—	3	—	600—700	—	—

Неправильности въ строеніи озерной впадины не вызываютъ неправильности въ движеніи сейшъ. Напримѣръ, Женевское озеро имѣетъ видъ асимметрическаго полумѣсяца. На юго-западномъ концѣ озеро имѣетъ сильное суженіе, раздѣляющее его на большой и малый бассейны, при чемъ малая часть отличается меньшей глубиной; несмотря на это, сейши Женевского озера представляютъ собой очень правильныя колебанія, слѣдующія другъ за другомъ длинными сериями. Въ сложно-построенныхъ озерахъ, напримѣръ, въ Фирвальдштетскомъ озерѣ, раздѣленномъ на различныя, рѣзко отграниченныя, плёса, могутъ возникать въ каждомъ водоемѣ свои индивидуальныя

¹⁾ Т. е. сейши съ двумя ударами, почему лимнографъ вычерчиваетъ кривую съ двумя вершинами, подобно сдвоенной кривой сердечныхъ ударовъ при опредѣленныхъ болѣзняхъ сердца.

²⁾ Въ Австраліи.

сейши. Но на этомъ озерѣ наблюдались также унинодальные и бинодальные сейши, охватывающія одновременно все озеро.

Неправильности въ строеніи озернаго ложа отражаются на данномъ явленіи инымъ образомъ. Если подошва ложа не горизонтальная и не ровная, то общая формула (стр. 61)

$$t = \frac{1}{\sqrt{g}} \left(\frac{1}{\sqrt{h}} \right)^l$$

которая представляетъ собою періодъ сейши, какъ функцію глубины озера, болѣе уже непримѣнима и требуетъ измѣненія.

Paul du Boys удалось разрѣшить эту проблему. Онъ приравнялъ качательное движеніе сейши къ движенію поступательной волны, длина которой представляетъ двойную длину озернаго ложа и является замкнутой въ разсматриваемомъ озерѣ. Волна на граничныхъ пунктахъ котловины отражается, возвращается обратно и интерферируетъ съ ближайшей, идущей ей навстрѣчу, поступательной волной въ видѣ стоячей волны.

Чтобы выяснитъ продолжительность колебанія сейши, t , для любого озернаго ложа, разлагаютъ все это ложе (или его продольный профиль) вдоль оси озера на нѣкоторое число (m) отдѣльных частей, изъ которыхъ каждая, взятая въ отдѣльности, могла бы быть разсматриваема, какъ особое ложе съ ровнымъ дномъ. Тогда въ формулу для сейшъ (стр. 61) вставляютъ вмѣсто корня квадратнаго изъ глубины ($\sqrt{h}$), арифметическое среднее корня квадратнаго изъ глубины начала ($\sqrt{h_{n-1}}$) и корня квадратнаго изъ глубины конца ($\sqrt{h_n}$) соответственной части озера. Затѣмъ вычисляютъ время, необходимое волнѣ на пробѣгъ отдѣльной части (l_n) продольнаго профиля, глубина которой измѣрена на обоихъ концахъ (h_{n-1} и h_n). Суммирование этихъ временъ даетъ искомую величину t :

$$t = \frac{1}{\sqrt{g}} \sum_{n=1}^{n=m} \frac{l_n}{\frac{1}{2} (\sqrt{h_{n-1}} + \sqrt{h_n})}$$

Такъ какъ въ озерахъ съ неправильнымъ и неровнымъ дномъ движеніе сейшъ на мелкихъ мѣстахъ замедляется, то узлы не находятся уже точно на тѣхъ мѣстахъ, гдѣ они должны были бы быть по теоріи (т. е. при унинодальномъ колебаніи по срединѣ продольной оси, при бинодальномъ же—въ разстояніи $\frac{1}{4}$ отъ cadaго изъ концовъ), а сдвигаются нѣсколько въ сторону болѣе мелкаго конца озера.

Какъ выраженіе маятникообразнаго качанія, сейши никогда не бываютъ одиночными, а всегда являются въ видѣ цѣлой серіи. Пер-

вая стоячая волна отличается наибольшей величиной съ наибольшимъ размахомъ какъ вверхъ, такъ и внизъ; слѣдующія же волны дѣлаются все меньше и меньше, пока ихъ амплитуда не станетъ, наконецъ, равна нулю. Самая длинная серія сейшъ изъ всѣхъ до нынѣ извѣстныхъ наблюдалась на Женевскомъ озерѣ. Она началась 26 марта (н. ст.) 1891 года. Въ теченіе $7\frac{1}{2}$ сутокъ произошло 147 колебаній при періодѣ въ 73 минуты. Высота колебанія спустилась съ 20 см. до 7 см. Если бы эта серія сейшъ не была прервана другимъ рядомъ иного рода сейшъ, то она, какъ это можно вычислить изъ амплитудъ путемъ экстраполированія, продолжалась бы $9\frac{1}{2}$ дней, и до того момента, когда амплитуда сдѣлалась бы равной нулю, произошло бы 182 колебанія.

Сейши появляются на озерахъ вслѣдствіе атмосферныхъ явленій, нарушающихъ равновѣсіе озера. Во время мгновенныхъ барометрическихъ скачковъ или въ моменты грозъ и бурь сейши возникаютъ внезапно и часто съ большими амплитудами. При неспокойной погодѣ онѣ сильнѣе, чѣмъ при спокойной. Но и при совершенно тихой погодѣ сейши въ озерѣ не прекращаются вполне; случаи, когда ихъ совсѣмъ не бываетъ, чрезвычайно рѣдки. Достаточно чувствительнымъ инструментомъ, каковы, на примѣръ, лимнографъ или племиаметръ, можно всегда обнаружить въ озерѣ стоячія волны.

Само собою понятно, что высота одной и той же сейши измѣняется отъ одного пункта берега къ другому. Въ пунктахъ, лежащихъ на линіи, перпендикулярной къ оси колебанія и проходящей черезъ узлы, высота сейши равна нулю. Обнаруживающееся здѣсь движеніе проявляется въ едва замѣтномъ горизонтальномъ передвиженіи. Въ центрѣ выпуклости всего сильнѣе вертикальное движеніе.

Мѣстные условія наблюдательныхъ пунктовъ также имѣютъ вліяніе на высоту сейшъ. При прочихъ равныхъ условіяхъ, въ концѣ узкой и незначительной по глубинѣ бухты амплитуда гораздо больше, чѣмъ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ озерное дно круто переходитъ на большія глубины.

Наибольшей величины сейши были наблюдаемы въ Женевѣ 3 октября 1841 года изслѣдователемъ *Veinie*. Онѣ достигали высоты (т. е. разницы между максимальнымъ и минимальнымъ стояніемъ, болѣе 1,87 м.). Послѣ того какъ были поставлены самопишущіе аппараты, они отмѣтили самую большую высоту сейшъ съ амплитудой въ 63 см. 20 августа 1890 года.

Что касается зависимости сейшъ у Женевы, обнаружившихъ необыкновенную высоту, отъ мѣстныхъ условій, то мы находимъ, что сейши 3 октября 1841 года, амплитуда которыхъ достигала почти 2 м.,

были вызваны мѣстнымъ измѣненіемъ атмосфернаго давленія на 6 мм. въ теченіе одного получаса ¹⁾.

Напрасно я искалъ связи между землетрясеніями и сейшми. Сейсмическіе волнообразные толчки имѣютъ слишкомъ короткую продолжительность, всего нѣсколько секундъ, для того, чтобы они могли считаться причиной медленныхъ колебаній сейшъ, изъ которыхъ самыя короткія въ нашихъ большихъ озерахъ имѣютъ періодъ все еще въ нѣсколько минутъ. Но землетрясеніе можетъ вызвать все-таки стоячія волны въ маленькомъ прудѣ.

Вибраціи озеръ.

Кромѣ сейшъ, движенія которыхъ мы сводимъ на уни- и бинадальныя стоячія волны, можно наблюдать на водѣ озеръ еще другія, быстро проходящія, колебанія продолжительностью отъ половины до одной минуты. Мы обозначаемъ ихъ предварительно общимъ именемъ вибрацій. Вѣроятно, тутъ дѣло заключается въ плюринодальныхъ колебаніяхъ, и, повидимому, вибраціи возникаютъ отъ двухъ причинъ: съ одной стороны, отъ сотрясенія водной массы, напримѣръ при прохожденіи парохода, съ другой—подъ вліяніемъ вѣтра ²⁾.

6. Теченія.

Подъ вліяніемъ разныхъ причинъ водныя массы озера могутъ получить поступательное движеніе; такимъ образомъ происходятъ теченія. По своему возникновенію теченія бываютъ различнаго рода.

а) *Сточное теченіе.* Каждое проточное озеро можно разсматривать, какъ расширенную часть рѣки. Вода течетъ въ озерѣ отъ впаденія притока до выхода истока. Но это теченіе замѣтно только въ мѣстѣ впаденія и мѣстѣ истока; въ огромной же массѣ озерной воды оно, вообще говоря, исчезаетъ. Только лишь въ небольшомъ озерѣ, черезъ которое протекаетъ рѣка, или въ сѣуженныхъ мѣстахъ озера такое теченіе можетъ быть явственнымъ ³⁾.

б) *Теченія, вызванныя динамическими причинами,* могутъ быть всякаго рода, именно смотря по тому, обязаны-ли они своимъ происхожденіемъ вѣтрамъ или сейшамъ.

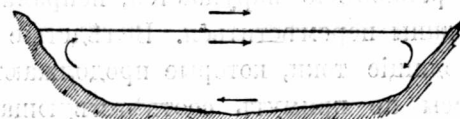
Вѣтровыя теченія. Вѣтеръ въ своемъ движеніи производитъ треніе воздуха о поверхность воды, отрываетъ и уноситъ съ собою верхнія водяныя частицы,—такъ возникаетъ теченіе, имѣющее то же

¹⁾ См. *F. A. Forel. Les Seiches et les variations locales de la pression atmosphérique. Archives des Sc. phys. et nat. IX, 39. Genève, 1897.*

²⁾ Дальнѣйшія подробности о сейшахъ и вибраціяхъ см. въ моей монографіи Женевского озера: *Le Léman, T. II, p. 39—231. Lausanne, 1895.*

³⁾ Ср. выше, стр. 51.

направленіе, что и вѣтеръ. Это теченіе поверхностное, которое лишь очень медленно проникаетъ въ болѣе глубокіе слои. Благодаря этому теченію, вода накапливается у того берега, къ которому дуетъ вѣтеръ; получается нагонъ воды вѣтромъ (*Windstau*). Вслѣдствіе этого возникаетъ противоположное теченіе на глубинѣ. Вода опускается вдоль склоновъ озернаго ложа въ глубь и движется, какъ горизонтальный токъ, въ среднихъ и глубокихъ слояхъ озера къ противоположному берегу; здѣсь она опять подымается вдоль склоновъ вверхъ, чтобы соединиться съ первичнымъ токомъ на поверхности озера, идущимъ въ противномъ направленіи. Если вѣтеръ дуетъ продолжительное время, то вся водяная масса озера можетъ притти въ движеніе, вызывая замкнутую циркуляцію (фиг. 6).



Фиг. 6. Циркуляція, вызываемая вѣтромъ.

Обратное теченіе происходитъ на разныхъ глубинахъ, смотря по тому, существуетъ ли въ водѣ озера термическое наслоеніе или нѣтъ. Это теченіе имѣетъ мѣсто между легкими слоями поверхности и болѣе тяжелыми слоями средней и глубинной областей. Но и нижніе слои при этомъ могутъ быть, отчасти увлечены токомъ, и такимъ образомъ перемѣшиваются водяныя массы различной температуры. Температурныя наблюденія нерѣдко даютъ возможность констатировать подобное смѣшиваніе.

Сейшевыя теченія. Качательныя движенія воды при сейшахъ, разсмотрѣнныя въ предыдущей главѣ, характеризуются, между прочимъ, горизонтальнымъ колебаніемъ, приливомъ и отливомъ, воды, которое всего сильнѣе въ узловой линіи. Такъ возникаютъ чередующіяся теченія и противутеченія. Но эти теченія, какъ показываетъ исчисленіе, бываютъ слабы, даже тогда, когда они усиливаются мѣстнымъ сѣуженіемъ озера; только въ такихъ узкихъ мѣстахъ и можно рассчитывать ихъ наблюдать. Поэтому-то до послѣдняго времени они ускользали отъ наблюденія за однимъ исключеніемъ классическаго, съ древнихъ временъ извѣстнаго, теченія Еврипа при Халкидѣ, если только возможно привести здѣсь этотъ случай, касающійся не озера, а моря ¹⁾.

¹⁾ Ср. *F. A. Forel, C. R. Acad. Sc. Paris. LXXXIX (1879), 859, а также Krümmel, Zum Problem des Euripus. Petert. Mitteil. 1838. S. 331.*

Термическія теченія. Мѣстное нагрѣваніе или охлажденіе рядомъ или другъ надъ другомъ лежащихъ массъ воды создаетъ разницу въ плотности слоевъ, дающую поводъ къ теченіямъ въ озерѣ. Если мѣстное нагрѣваніе повышаетъ температуру верхнихъ водяныхъ слоевъ въ одной области сильнѣе, чѣмъ въ сосѣдней, то происходитъ нарушеніе равновѣсія, которое можетъ быть восстановлено лишь горизонтальнымъ теченіемъ. Когда измѣненіе температуры—независимо отъ того, будетъ ли это нагрѣваніе или охлажденіе—влечетъ за собой измѣненіе плотности слоевъ, лежащихъ другъ надъ другомъ, тогда могутъ возникать вертикальныя теченія. Сдѣлаются-ли при этомъ поверхностные слои отъ перемены температуры тяжелѣе, чѣмъ глубже лежащіе, или болѣе глубокіе слои станутъ легче поверхностныхъ,—въ томъ и другомъ случаѣ равновѣсіе нарушается; неправильно расположенные слои воды должны перемѣститься. Вслѣдствіе этого образуются восходящіе и нисходящіе токи, которые продолжаются до тѣхъ поръ, пока водяныя массы не примутъ соотвѣтствующаго ихъ плотности равновѣсія. Подобные токи особенно сильно проявляются въ тѣ времена года, когда термическое наслоеніе въ озерной водѣ исчезаетъ и озеро принимаетъ состояніе термическаго однообразія. Тѣмъ не менѣе подобныя теченія ускользаютъ отъ прямого наблюденія, и объ ихъ существованіи мы заключаемъ по другимъ фактамъ. Еще менѣе мы знаемъ эти токи на глубинахъ, хотя при извѣстныхъ условіяхъ они должны имѣть мѣсто и тамъ.

в) *Теченія, вызываемыя гидростатическими причинами.*

Подъ этимъ названіемъ я подразумѣваю всѣ тѣ теченія, которыя вызываются разницей въ удѣльномъ вѣсѣ двухъ водныхъ массъ, лежащихъ въ сосѣдствѣ между собой, при чемъ эта разница можетъ проистекать отъ растворенныхъ или механически взвѣшенныхъ тѣлъ.

Многочисленны случаи, когда мы можемъ наблюдать въ водѣ подобную разницу; то опредѣленная водная масса легче окружающей ее воды, то наоборотъ, тяжелѣе. Такъ, напримѣръ, притокъ вносить въ прѣсное озеро очень соленую воду; подземный прѣсный ключъ выступаетъ на днѣ соленого озера; вода притока сильно обогащена суспендированными массами ила, увеличивающими ея удѣльный вѣсъ; вода вблизи берега, благодаря сильнымъ ударамъ волнъ, содержитъ въ себѣ взмученный илъ; вода на большихъ глубинахъ, будучи богата иловыми частицами, черезъ осажденіе теряетъ часть своего ила и т. д.

Если эта разница въ удѣльномъ вѣсѣ не выравнивается температурными разностями, дѣйствующими въ обратномъ отношеніи, то данныя водныя массы, благодаря своей аномальной плотности, нахо-

дятся въ состояніи неустойчиваго равновѣсія, вслѣдствіе чего возникаютъ восходящіе и нисходящіе токи. Самыя интересныя и наилучше изученныя теченія подобнаго рода—это тѣ, которыя появляются у устья притока, отягченнаго взвѣшенными матеріалами. Мутная тяжелая вода скользитъ, по линіи наибольшаго паденія, по склонамъ погруженной дельты въ глубину и здѣсь опускается на дно озера. Изученіе термическихъ условій озеръ показало, что крайне незначительная разница въ плотности, выражающаяся лишь въ четвертомъ или пятомъ десятичномъ знакѣ, можетъ уже повлечь за собой конвекціонные выравнивающіе токи. Подобная же ничтожная разница должна вызывать также и гидростатическія теченія.

Въ сравненіи съ океаническими теченіями теченія въ озерахъ слабы, независимо отъ того, какого они происхожденія—динамическаго, термическаго или гидростатическаго. Въ большинствѣ случаевъ они неправильны и вообще трудно поддаются общему описанію.

Глава третья.

Химія озеръ, химическій составъ озерной воды.

За нѣкоторыми частными исключеніями, которыя мы рассмотримъ въ послѣдующемъ изложеніи, химическій составъ озерной воды зависитъ отъ слѣдующихъ трехъ факторовъ:

отъ состава воды притоковъ и ея распредѣленія по временамъ года;

отъ измѣненій, претерпѣваемыхъ водою во время ея пребыванія въ озерѣ и

отъ расхода озеромъ воды.

1. Составъ притекающей воды.

а) Дожди. Вода, конденсирующаяся на поверхности озера, можетъ быть разсматриваема, какъ химически чистая. Дождевая вода, падающая на озеро, есть вода дистиллированная; но при своемъ прохожденіи черезъ атмосферу она можетъ поглощать атмосферные газы, какъ-то: кислородъ, азотъ, аргонъ, углекислоту, азотистую и азотную кислоты, амміакъ и т. д. Градъ и снѣгъ представляютъ собою химически чистую воду въ твердомъ состояніи, но также съ нѣкоторымъ содержаніемъ атмосферныхъ газовъ. Если бы озеро питалось исключительно этими осадками, то вода его была бы слегка подкисленной, насыщенной воздухомъ и со слабымъ содержаніемъ амміачныхъ солей.

б) Рѣки. Для большинства озеръ рѣки являются главнѣйшими источниками питанія. Рѣчная вода происходитъ изъ дождевой, которая пребываетъ болѣе или менѣе продолжительное время въ нѣдрахъ земной коры или на ея поверхности. Во время своего теченія рѣчная вода насыщается не только атмосферными газами, но растворяетъ также соли и органическія вещества. Смотря по петрографическому сложенію питающаго бассейна, эта вода содержитъ карбонаты кальція и магнія, сульфаты кальція и магнія и далѣе карбонаты и сульфаты щелочныхъ металловъ, хлористый натрій, кремневую кислоту и т. д. ¹⁾ Эти соли встрѣчаются въ рѣчной водѣ въ большемъ или меньшемъ количествѣ, смотря по взаимодействию между твердой породой и водой, которая по ней протекаетъ. При этомъ можно бываетъ наблюдать всѣ степени насыщенія, начиная отъ самой чистой воды вплоть до насыщеннаго раствора. Сильно минерализованная вода содержитъ отъ 20 до 30 гр. солей на литръ, слѣдовательно столько же, а иногда и болѣе, чѣмъ вода океана.

Изъ органическихъ соединений, растворенныхъ въ водѣ, нужно прежде всего назвать гумусовую и ульминовую кислоты, образующіяся изъ торфа и растительной земли, азотистую и азотную кислоты, амміачныя соединения и т. д.

Если-бы содержаніе солей въ водѣ озера зависѣло исключительно отъ того или иного содержанія солей въ его притокахъ, то озерная вода по своей солености представляла бы средній составъ воды притоковъ (принимая во вниманіе различіе массъ воды, приносимыхъ разными притоками).

2. Измѣненія, претерпѣваемая водой за время ея пребыванія въ озерѣ.

а) Разбавленіе воды дождемъ. Вода, выпадающая прямо изъ атмосферы, чище озерной воды. Ея примѣсь къ озерной водѣ производитъ поэтому разбавленіе раствора солей, уменьшеніе концентраціи послѣдняго.

б) Химическіе осадки выдѣляются только тогда, когда вода насыщена или пересыщена солями. Выдѣленію ихъ благопріятствуютъ различнаго рода факторы. Колебанія температуры обуславливаютъ увеличеніе или уменьшеніе растворимости разныхъ солей. Поэтому чере-

¹⁾ Для воды обыкновенной температуры существуютъ слѣдующіе максимальные предѣлы растворимости:

Гипсъ	2000	млгр. на литръ
Студенистая кремневая кислота	130	» » »
Углекислая известь	20	» » »
Силикатъ алюминія	5	» » »

Въ подкисленной водѣ растворимость повышается.

дующіяся нагрѣванія и охлажденія озерной воды играютъ важную роль въ процессѣ образованія химическихъ осадковъ.

Особенно же сильное вліяніе имѣетъ присутствіе въ водѣ определенныхъ, растворенныхъ въ ней, тѣлъ. Наиболѣе это важно по отношенію къ углекислотѣ. Когда уменьшается количество послѣдней, на примѣръ, подъ вліяніемъ дѣятельности хлорофилла водяныхъ растений, тогда осаждаются растворенныя въ водѣ двууглекислыя соли кальція, магнія и желѣза, такъ какъ карбонаты менѣе растворимы, чѣмъ бикарбонаты ¹⁾.

в) Измѣненія отъ біологическихъ процессовъ. Подъ вліяніемъ свѣта водяныя растенія при помощи содержащагося въ нихъ хлорофилла редуцируютъ растворенную въ водѣ углекислоту, выдѣляя въ окружающую ихъ среду свободный кислородъ. Вмѣстѣ съ этимъ, благодаря ассимиляціонной и питательной функціямъ растеній, осаждаются растворенныя въ водѣ органическія вещества (CO_2 , NO_3R , NO_2R). Животныя же напротивъ поглощаютъ кислородъ и выдѣляютъ главнымъ образомъ углекислоту и амміачныя соли. Растенія и животныя берутъ изъ окружающей ихъ воды для построенія своего скелета кремневую кислоту, далѣе щелочные и земельные металлы въ видѣ карбонатовъ, фосфатовъ, щавелевокислыхъ солей и т. д. Въ иныхъ случаяхъ это накопленіе минеральныхъ веществъ бываетъ столь значительнымъ, что послѣ смерти данныхъ организмовъ появляются органогенные осадки на днѣ озера, особенно въ береговой полосѣ. Во всякомъ случаѣ, эти отложенія образуются столь медленно, что трудно даже сказать, имѣютъ-ли они дѣйствительно какое-нибудь вліяніе на составъ воды въ озерѣ.

г) Химическое раствореніе. Если каменистыя породы, состоящія изъ растворимыхъ солей, приходятъ въ непосредственное соприкосновеніе съ озерной водой, то ею онѣ могутъ быть отчасти выщелочены и перейти въ растворъ, каковы, на примѣръ, каменная соль, гипсъ, углекислыя соли щелочныхъ земель, кремневая кислота и пр.

3. Вліяніе расхода озеромъ воды.

Оба фактора, обуславливающіе расходъ воды въ озерѣ, дѣйствуютъ различно и приблизительно во взаимно противоположныхъ направленіяхъ на химическій составъ озерной воды.

¹⁾ При давленіи въ 760 мм. и при соотвѣтственномъ нормальномъ содержаніи въ воздухѣ углекислоты чистая вода растворяетъ слѣдующія количества углекислаго кальція (по А. Delebecque, Laes français, p. 218).

Температура	Бикарбонатъ	Карбонатъ
при 4°	62 млгр. въ литрѣ	11 млгр. въ литрѣ
» 25°	42 » »	14 » »

а) Испарение удаляетъ изъ озера кромѣ газовъ только чистую воду. Такъ какъ въ глухихъ озерахъ оно является единственнымъ факторомъ, уносящимъ изъ озера воду, доставляемую ему притоками, то оно ведетъ здѣсь къ обогащенію озерной воды солями. Минеральныя соли не могутъ удаляться изъ озера вмѣстѣ съ водяными парами; соли эти остаются въ водѣ, концентрируя тѣмъ самымъ все сильнѣе и сильнѣе растворъ, пока, наконецъ, онъ не сдѣлается насыщеннымъ и пересыщеннымъ. Въ тѣхъ озерахъ, которыя въ сухое время года совершенно пересыхаютъ, растворенныя соли осаждаются и, наконецъ, образуютъ на днѣ озернаго ложа соляную корку. Когда въ дождливое время года котловина вновь наполняется водою, то эти массы солей вновь растворяются. Поэтому глухія озера бываютъ солеными. Составъ воды отдѣльныхъ озеръ бываетъ различнымъ, такъ какъ зависитъ отъ того или иного содержанія солей въ водѣ ихъ притоковъ. Вода постоянного глухого озера можетъ сдѣлаться съ теченіемъ времени совершенно насыщенной, при чемъ моментъ насыщенія для разныхъ солей наступаетъ въ разное время, а именно тѣмъ быстрѣе, чѣмъ менѣе растворима данная соль и чѣмъ большее количество ея доставляется притоками. Когда насыщеніе наступило, тогда соль начинаетъ выпадать изъ раствора, осаждаясь на днѣ озернаго ложа. Такимъ образомъ возникли въ геологическія эпохи на днѣ древнихъ озеръ нѣкоторые напластованные химическіе осадки и отложенія, выступающіе нынѣ въ видѣ составныхъ частей геологическихъ формаций.

б) Если существуетъ надземный или подземный стокъ, черезъ который расходуется вода озера, то этотъ стокъ уноситъ воду изъ озера вмѣстѣ съ растворенными въ ней веществами. Слѣдовательно, химическій составъ озерной воды не измѣняется отъ стока. Озеро съ постояннымъ стокомъ показываетъ то содержаніе солей, которое соответствуетъ среднему содержанію солей всѣхъ притоковъ, если не принимать при этомъ во вниманіе незначительныхъ измѣненій отъ другихъ причинъ, приведенныхъ выше и обусловливаемыхъ испареніемъ.

Если въ озерѣ съ перемежающимся стокомъ этотъ послѣдній продолжительное время будетъ оставаться безъ воды и не будетъ функционировать, то при этомъ концентрація солей въ озерѣ путемъ испаренія можетъ быть усилена, и содержаніе ихъ въ озерной водѣ можетъ превысить таковое же притоковъ. Когда позднѣе истокъ начнетъ снова дѣйствовать, тогда онъ будетъ уводить изъ озера концентрированную воду, вытѣсняемую притоками; такимъ образомъ содержаніе солей въ озерѣ становится мало-по-малу вновь нормальнымъ.

Изъ вышеприведенныхъ соображеній слѣдуетъ, что глухія озера болѣею частью бываютъ солеными; проточныя озера съ постояннымъ стокомъ имѣютъ въ большинствѣ случаевъ прѣсную воду, у про-

точныхъ же озеръ съ переменнымъ стокомъ—вода бываетъ по болѣе части солоноватой (Brackwasser), при чемъ степень ея насыщенія зависитъ отъ продолжительности функционирования стока.

Поэтому вода озеръ съ постояннымъ стокомъ характеризуется относительно постояннымъ составомъ, который тѣмъ равномернѣе, чѣмъ больше объемъ озера по отношенію къ объему притоковъ. Глухія и проточныя озера съ перемежающимся стокомъ, напротивъ, отличаются измѣняющимся составомъ воды. Чѣмъ ниже высота стоянія воды въ озерѣ, тѣмъ концентрированнѣе въ немъ растворъ солей. Чѣмъ больше эта высота въ глухомъ озерѣ или чѣмъ долѣе продолжается дѣятельность временной рѣки, тѣмъ менѣе содержаніе солей.

Изъ этого слѣдуетъ, что каждое озеро обладаетъ своей специфической соленостью и что содержаніе солей и размѣры колебаній солености принадлежатъ къ наиболѣе отличительнымъ чертамъ озера.

4. Озерная вода.

Химическій составъ озерной воды колеблется сравнительно незначительно. Онъ измѣняется всегда въ двухъ направленіяхъ, показывая годовыя періодическія колебанія, болѣею частью очень слабыя, и въ зависимости отъ мѣста—мѣстныя колебанія, которыя иногда бываютъ значительны.

А. Годовыя колебанія химическаго состава. Содержаніе солей въ притокахъ озера зависитъ отъ наличія въ нихъ въ данное время воды. Вообще же растворъ тѣмъ слабѣе, чѣмъ болѣе воды. Поэтому при высокой водѣ соленость меньше, чѣмъ при низкой. Вслѣдствіе этого химическій составъ воды притоковъ подверженъ довольно значительнымъ годовымъ колебаніямъ. Напротивъ, въ проточныхъ озерахъ, вся масса воды которыхъ гораздо болѣе общаго годового притока протекающихъ черезъ него рѣкъ, колебанія въ содержаніи солей малы, по болѣе части совсѣмъ ничтожны. Для того, чтобы содержаніе въ озерной водѣ какой-нибудь соли измѣнилось на 1 миллигр. на 1 литръ, притокъ этой соли долженъ варьировать въ предѣлахъ столькихъ тоннъ, сколько миллионъ куб. метровъ воды содержитъ озеро. Поэтому замѣтное годовое колебаніе въ содержаніи солей можетъ происходить только въ глухихъ озерахъ, въ сухомъ климатѣ съ рѣзко различными сухимъ и дождливымъ временами года.

Б. Мѣстныя колебанія. Въ противоположность годовымъ колебаніямъ, мѣстныя колебанія въ составѣ озерной воды, т. е. измѣненія его отъ одного пункта къ другому, часто бываютъ весьма значительны. У каждаго притока наблюдается свое опредѣленное содержаніе солей, отличное отъ сосѣднихъ. Это содержаніе одновременно

отличается и отъ озерного, такъ какъ вода озера есть среднее для всѣхъ его притоковъ.

Вода притоковъ распредѣляется внутри озера соотвѣтственно своему характеру и въ зависимости отъ своего происхожденія различнымъ образомъ.

а) Дождевая вода, какъ химически-чистая, имѣетъ незначительную плотность. Она выпадаетъ всегда на обширную площадь озера, разбавляя его верхніе слои.

б) Рѣчная вода всегда бываетъ болѣе или менѣе богатой солями. Она вливается въ озеро на мѣстѣ устьевъ притоковъ. Съ этого момента судьба ея можетъ быть различной, смотря по ея плотности, обусловливаемой температурой и содержаніемъ растворенныхъ и взвѣшенныхъ въ ней веществъ. Вода притока можетъ быть легче озерной воды; тогда она распространяется по верхнимъ слоямъ озера и остается на его поверхности. Смѣшиваніе ея съ нижележащими слоями происходитъ весьма медленно подъ вліяніемъ волненій и теченій. Доказательствомъ послѣдняго служатъ пятна изъ слегка замутненной воды, наблюдаемыя днями или недѣлями на чистой поверхности озера.

Если же вода притока тяжелѣе поверхностной воды въ озерѣ, то она опускается все глубже и глубже до тѣхъ поръ, пока не достигнетъ одного изъ срединныхъ слоевъ, соотвѣтствующаго ея плотности, въ которомъ она и распространяется.

Наконецъ въ томъ случаѣ, когда притекающая вода тяжелѣе воды самыхъ плотныхъ слоевъ озера, тогда она тотчасъ же опускается на дно озера, распространяясь здѣсь по центральной равнинѣ его дна.

Относительная плотность воды притоковъ зависитъ отъ трехъ факторовъ: отъ температуры, отъ содержанія въ ней взвѣшеннаго ила и отъ относительнаго количества растворенныхъ въ ней веществъ. Результативное дѣйствіе этихъ трехъ факторовъ опредѣляетъ плотность притекающей воды, а слѣдовательно и положеніе слоя, въ которомъ или надъ которымъ данная вода распространяется въ озерѣ.

Но два изъ этихъ факторовъ непостоянны; въ теченіе непродолжительнаго времени они подвергаются измѣненіямъ въ озерѣ: во-первыхъ, температура рѣчной воды постепенно сравнивается съ температурой окружающихъ ее водъ озера; это увеличиваетъ или уменьшаетъ плотность рѣчной воды; во-вторыхъ—взвѣшенные частицы осаждаются, что и влечетъ за собою уменьшеніе плотности. Эти измѣненія въ плотности вызываютъ необходимость перемѣщенія распредѣлившихся слоевъ изъ первоначально занятого ими положенія въ другое; эти слои поднимаются или опускаются, такъ что окончательное ихъ размѣщеніе по установившимся плотностямъ зависитъ лишь отъ третьяго фактора—содержанія солей. Какъ только они заняли свое окончательное

положеніе, такъ сейчасъ же рѣчная вода входитъ совершенно въ составъ озера, дѣлаясь озерной водой. И это установившееся наслоеніе воды по содержанію солей продолжается и далѣе такимъ образомъ, что водяныя массы наибольшей плотности располагаются на днѣ, а наименьшей—на поверхности озера.

Но можно при этомъ задаться вопросомъ, не измѣняется ли такое наслоеніе конвекціонными токами, которые своимъ вліяніемъ измѣняютъ и даже прекращаютъ термическія наслоенія, устанавливая однородную температуру вплоть до самаго дна? Именно такой случай имѣетъ мѣсто по отношенію къ тропическимъ озерамъ въ концѣ суровой зимы, а по отношенію къ полярнымъ—въ концѣ лѣта. Но я сомнѣваюсь, чтобы происходящія при этомъ конвекціонныя токи, приводящія въ вертикальное движеніе лежащія другъ надъ другомъ слои, могли колебать наслоеніе по солености, или, говоря иначе, уничтожить соленую стратификацію. Увеличеніе плотности поверхностныхъ теплыхъ слоевъ, какъ результатъ охлажденія ихъ, не нарушаетъ той разницы въ плотностяхъ, которая обусловливается соленостью. Верхній болѣе легкій слой при своемъ охлажденіи опускается и распространяется по тому слою, который имѣетъ равную съ нимъ температуру, но содержитъ въ своемъ растворѣ больше солей. Такимъ образомъ эти внутреннія теченія, обусловливаемыя термической конвекціей, какъ разъ и приводятъ къ прочному наслоенію по солености. Поэтому соленость является выдающимся свойствомъ озерной воды, свойствомъ, единственнымъ по постоянству.

Какъ же относятся другъ къ другу двѣ водныя массы, которыя при различномъ химическомъ составѣ обладаютъ равной плотностью. Предположимъ, мы имѣемъ двѣ массы воды съ одинаковой плотностью, но одна изъ нихъ имѣетъ въ растворѣ углекислый кальцій, другая гипсъ; пусть вода не будетъ насыщена этими солями. Тогда эти массы, вступивъ въ озеро, должны будутъ опуститься на такую глубину, которая соотвѣтствовала бы ихъ плотности; первое время положеніе каждой изъ этихъ массъ будетъ обособленнымъ, но потомъ начнутъ дѣйствовать явленія диффузіи, которыя перемѣшаютъ ихъ съ окружающей водой озера. Благодаря этому, онѣ теряютъ часть своихъ специальныхъ солей, но зато изъ окружающей среды примутъ въ себя недостающія въ нихъ соли и въ концѣ концовъ по своему составу будутъ одинаковы съ озерной водой.

Легко можно было бы показать, что стратификація по солености вызывается измѣненіями въ относительныхъ количествахъ лишь только той соли, которая преобладаетъ въ растворѣ. Остальныя же соли раствора, будучи побочными, распредѣлены по всей водяной массѣ равномерно.

Единственно чѣмъ можетъ до извѣстной степени нарушаться

соляная стратификація, такъ это механическимъ все перемѣшивающимъ движениемъ теченій, вызванныхъ вѣтромъ. Однако мы не должны забывать, что встрѣчныя теченія, наступающія при наличности верхняго теченія, происходятъ обыкновенно въ верхнихъ и среднихъ слояхъ, большія же глубины остаются ими незатронутыми. Поэтому мы имѣемъ право считать, что ихъ дѣйствіе не имѣетъ исчерпывающаго значенія въ дѣлѣ нарушенія соляной стратификаціи. Значитъ, наслоеніе воды въ прѣсныхъ озерахъ идетъ обыкновенно сообразно ея солёности: болѣе глубокіе слои солонѣе, чѣмъ верхніе ¹⁾.

Истокъ уводитъ изъ озера главнымъ образомъ только поверхностную воду, содержаніе солей въ которой меньше, чѣмъ средняя солёность озера или чѣмъ содержаніе солей притоковъ, особенно богатыхъ растворенными веществами. Вслѣдствіе этого озерная вода обнаруживаетъ тенденцію увеличивать концентрацію своихъ солей такъ, что по истеченіи длиннаго періода времени солёность въ глубокихъ слояхъ можетъ достигнуть той же крѣпости, какую имѣетъ самый богатый солями притокъ. Поэтому теоретически среднее содержаніе солей прѣсноводнаго озера должно быть больше, чѣмъ среднее содержаніе солей всѣхъ его притоковъ, взятыхъ вмѣстѣ; но на самомъ дѣлѣ эта разница очень мала или равна нулю.

5. Содержаніе газовъ въ озерной водѣ.

Вода притоковъ поглощаетъ газы, когда соприкасается во время своего теченія съ атмосфернымъ воздухомъ или когда она принимаетъ въ себя осадки въ видѣ дождя. Газы, поглощаемые при этомъ водою, суть: кислородъ, азотъ, аргонъ и углекислота. Благодаря этому процессу, вода въ озерѣ первоначально провѣтривается.

Поглотительная способность воды по отношенію къ газамъ мало измѣняется въ зависимости отъ содержанія въ ней растворенныхъ твердыхъ тѣлъ. Насыщенная вода содержитъ при нормальномъ давленіи въ литрѣ 7 куб. сантим. кислорода, 14 куб. сантим. азота и 6,5 куб. сантим. углекислоты. Эти количества растворенныхъ въ водѣ газовъ могутъ, однако, нѣсколько измѣняться во время пребыванія воды въ озерѣ. Въ этомъ отношеніи заслуживаетъ вниманія разница между водой поверхности и водой болѣе глубокихъ слоевъ.

А. *Поверхностная вода.* Поверхность озера находится въ постоянномъ соприкосновеніи съ атмосферою. Газовый обмѣнъ между обѣими

¹⁾ Delebesque, изслѣдовавшій данный фактъ по отношенію къ разнымъ озерамъ, нашелъ, что, напримѣръ, въ озерѣ de la Girotte, гдѣ разница въ содержаніи солей можетъ достигать до 450 миллигр. на 1 литръ, верхніе слои содержатъ 69 миллигр., нижніе же, на глубинѣ 95 м.—521 миллигр. на литръ. (Lacs français, p. 199).

средами происходитъ безпрепятственно, такъ что парціальное давленіе газовъ въ нихъ становится равнымъ. Но это равновѣсіе, т. е. отношеніе различныхъ, растворенныхъ въ водѣ, газовъ, нарушается благодаря двумъ факторамъ, между тѣмъ какъ составъ атмосферы остается одинъ и тотъ же. Помянутые факторы суть: температура воды и давленіе воздуха.

а) *Температура воды.* Коэффициентъ поглощенія водою газовъ измѣняется въ отношеніи обратномъ къ температурѣ, а именно онъ соотвѣтствуетъ при:

температурѣ воды.	Для кислорода.	Для азота.	Для углекислоты.
0°	0,0421	0,0203	1,797
5°	0,0362	0,0179	1,449
25°	0,0284	0,0140	0,901

Отсюда слѣдуетъ, что при всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ холодная вода содержитъ въ растворѣ большее количество газовъ, чѣмъ теплая. Такъ какъ воздухъ при нормальномъ составѣ содержитъ 0,208 кислорода, 0,792 азота и 0,0004 углекислоты, то количество газовъ, растворенныхъ въ 1 литрѣ воды при 760 м.м. барометрическаго давленія и при разныхъ температурахъ, будетъ выражаться слѣдующимъ образомъ:

Температура.	Кислородъ.	Азотъ.	Углекислота.
5°	7,5 куб. сантим.	14,2 куб. сантим.	0,5 куб. сантим.
25°	4,5 »	8,4 »	0,3 »

б) *Давленіе воздуха.* Количество растворенныхъ газовъ находится въ прямой зависимости отъ давленія. Поэтому въ озерахъ, расположенныхъ на равнинахъ, газовъ бываетъ растворено больше, чѣмъ въ горныхъ озерахъ.

Температура воды и давленіе воздуха по отношенію къ любому озеру не остаются безъ измѣненій и вліяніе ихъ на верхніе слои воды выражается такъ: эти слои обогащаются газами при поднятіи барометра и паденіи температуры, тогда какъ, наоборотъ, при паденіи давленія и повышеніи температуры воды, верхніе слои бѣднѣютъ газами. Однако, дѣйствіе температурныхъ измѣненій выражается рѣзче, чѣмъ дѣйствіе измѣненій въ давленіи: при поднятіи температуры съ 0° до 25°, поглотительная способность воды по отношенію къ газамъ уменьшается на 30—40%, тогда какъ при самыхъ сильныхъ колебаніяхъ въ атмосферномъ давленіи она колеблется всего въ предѣлахъ 6%.

Обыкновенно поверхностная вода въ озерѣ бываетъ насыщена газами. Если насыщеніе неполное, то вода продолжаетъ поглощать газы изъ атмосферы; если наступаетъ пересыщеніе, то газы уходятъ обратно въ атмосферу: тогда образуются въ водѣ пузырьки воздуха, лопающіеся на поверхности.

Но такое нормальное состояние часто, однако, нарушается различными влияниями. Животные, растения и аэробные микробы поглощают при своем дыхательном процессе растворенный кислород, отдавая вместо него воду углекислоту. У растений преобладает, по крайней мере днем, редуцирующая деятельность хлорофилла, так что поверхностная вода обогащается кислородом. Мертвые органические вещества разлагаются под влиянием ферментов и дают углекислоту, углеводы, аммиачные соединения и т. д. В озерах с богатой растительностью, вследствие сильной редукции углекислоты, производимой в течение дня растениями, вода соответственно пересыщается кислородом. В обратном отношении действует тенденция к пересыщению углекислотой. Так как аммиачные газы необычайно легко растворимы, то поэтому они легко и поглощаются; наоборот, когда давление их в воздухе равно нулю, то они быстро совершенно улетучиваются из воды. Напротив, углеводы—особенно метан или болотный газ—продукты процессов гниения органических веществ, обладает очень малой растворимостью в воде. Поэтому он улетает из воды в виде больше или меньше крупных пузырьков, лопающихся на воздухе.

Итак, поверхностная вода озера бывает насыщена атмосферными газами; она хорошо проветривается и, благодаря избытку углекислоты, бывает очень слабо подкислена.

Б) Вода глубоких слоев. Растворимость газов с увеличением давления возрастает. Чем давление больше, тем больше газов поглощает вода; поэтому глубокие слои озера могли бы содержать очень большие количества газов. Для каждого данного слоя количество растворенных газов приблизительно должно было бы равняться объему газов в поверхностном слое, умноженному на глубину слоя, выраженную в дециметрах (водяной столб в 10 м., соответствующий давлению 0,97 атмосферы).

Хотя таким образом в глубоких слоях и можно было бы ожидать больших объемных количеств газа, но на самом деле содержание газов на глубине не больше или немногим больше содержания их на поверхности. Единственным источником газов для глубоких слоев являются только атмосферные газы, проникающие туда двумя путями:

а) *Непосредственно*. Это бывает только тогда, когда вода, находящаяся в данное время на глубине, была еще на поверхности и находилась в непосредственном соприкосновении с атмосферой; в этом случае естественно, что, опустившись на глубину, вода содержит лишь то количество газа, которое соответствует растворимости его при давлении одной атмосферы.

б) *Косвенным путем* через диффузию, при помощи передачи атмосферных газов из поверхностных слоев в срединные и затем далее—в глубокие. Но диффундировать может газ лишь из того слоя, в котором давление больше нормального. Как бы ни была велика поглотительная способность нижележащих слоев, они не могут взять из верхних слоев газа больше, чем содержится его в этих последних. А так как давление их в поверхностном слое всегда находится в соответствии с атмосферным давлением, т. е. нормально, то выравнивание наблюдающихся малых разниц происходит в сторону наименьшего сопротивления, т. е. вверх; в силу этого первый слой может отдать нижележащим слоям лишь нормальное количество газов. Поэтому глубокие слои озера, которые находятся в связи с атмосферой лишь через посредство поверхностных слоев, никогда не могут заключать большее количество газов, чем эти последние их имеют.

Таким образом вода глубоких областей есть поверхностная вода, погруженная на глубину и вследствие этого вмещающая в себя лишь то количество газов, которое соответствует обыкновенному давлению. Это погружение происходит главным образом вследствие термических конвекционных токов, когда температура воды поверхности падает до температуры глубоких слоев. Поэтому, содержание газов в глубоких слоях соответствует тому количеству газов поверхностных вод, какое содержится в них в холодное время года; следовательно, оно довольно значительно.

На больших глубинах содержание газов претерпевает некоторые изменения, обуславливающие в известной степени количественные соотношения между растворенными газами. Сюда главным образом относятся биологические и химические процессы. Дыхательным процессом глубоководной фауны и флоры поглощается кислород и производится углекислота; гниющие органические остатки развивают углекислоту, углеводы и аммиачные соединения. Последние два газа мало по малу уходят через воду в атмосферу. Напротив, в глубоких слоях, как то показывают анализы, обнаруживается тенденция к некоторому накоплению углекислоты и уменьшению кислорода¹⁾. Эта убыль кислорода не может быть покрыта ассимиляционной деятельностью растительного хлорофилла, как это бывает на поверхности, потому что зеленые растения, благодаря быстрому поглощению дневного света, встречаются в срединных слоях редко, а в глубоких и совсем отсутствуют.

¹⁾ (Walther) ср. F. A. Forel, Le Léman, II, p. 621.

6. Органическія вещества.

Озерная вода содержитъ въ растворѣ перемѣнное количество органическихъ веществъ. Эти вещества могутъ происходить:

- а) изъ дождевой воды, берущей ихъ изъ атмосферы;
- б) изъ воды притоковъ, вымывающей ихъ изъ почвы своего питательнаго бассейна и кромѣ того принимающей человѣческіе и животные отбросы;
- в) изъ животныхъ и растеній, живущихъ въ озерѣ и его притокахъ и выделяющихъ органическія соединенія, такъ же какъ и изъ гниющихъ послѣ ихъ смерти труповъ. ;

Таковыми органическими веществами являются, между прочимъ:

- а) углекислота;
- б) метанъ, разные углеводы, гумусовая кислота, ульминовая кислота, разные продукты распада клѣтчатки;
- в) амміакъ и бѣлковыя вещества во всѣхъ стадіяхъ разложенія;
- г) азотистая и азотная кислоты.

Количество всѣхъ содержащихся въ озерной водѣ органическихъ веществъ, опредѣляемое при помощи марганцево-кислаго кали, рѣдко превосходитъ 1—2 сантигр. на 1 литръ. Мы еще будемъ имѣть случай говорить объ этихъ веществахъ при разсмотрѣніи біологическихъ условій озеръ.

Глава четвертая.

Термика.

1. Общая часть.

Температура воды въ озерѣ можетъ быть различной въ разныхъ мѣстахъ и слояхъ воды; она претерпѣваетъ колебанія какъ правильныя—періодическія, такъ и неправильныя. Водамъ озера свойственны процессы поглощенія и выделения тепла. Происходитъ постоянный тепловой обмѣнъ между различными водяными слоями и между ближайшими и болѣе далекими областями озера.

Источниками теплоты для озера служатъ:

- а) непосредственная лучистая теплота солнца;
- б) лучистая теплота лежащей надъ озеромъ атмосферы и склоновъ, окружающихъ озерное ложе;

в) теплота слоя воздуха, соприкасающагося съ поверхностью озера, она непосредственно передается водѣ ¹⁾);

г) скрытая теплота, освобождающаяся при конденсаціи водяныхъ паровъ на поверхности озера;

д) теплота, доставляемая вливающейся въ озеро водою (рѣки и дожди);

е) теплота, возникающая при превращеніи механической работы вѣтра;

ж) теплота, развивающаяся при біологическихъ процессахъ (жизненные явленія у животныхъ и растеній) или при взаимныхъ химическихъ реакціяхъ веществъ, растворенныхъ въ водѣ;

з) собственная теплота земного шара.

Потеря же теплоты происходитъ:

- а) при излученіи теплоты въ міровое пространство и въ атмосферу;
- б) при отдачѣ тепла холодному воздуху;
- в) при притокѣ холодной воды (дождевая и рѣчная вода);
- г) при переходѣ теплоты въ скрытое состояніе во время испаренія воды съ поверхности озера и при таяніи снѣга или града, выпадающихъ въ озеро.

Дѣйствія большинства перечисленныхъ факторовъ, изъ которыхъ одни доставляютъ теплоту, а другіе ее отнимаютъ, — общеизвѣстны. Изъ нихъ только два заслуживаютъ болѣе обстоятельнаго разсмотрѣнія.

Во первыхъ, собственная теплота земного шара. Она распредѣляется въ озерѣ при посредствѣ постепенной передачи черезъ водяные слои, которые находятся въ соприкосновеніи съ твердыми породами дна и склоновъ озернаго ложа. Но тепловой эффектъ, производимый этимъ источникомъ, необычайно малъ. Именно, извѣстно, что за годъ количество теплоты, достигающей до земной поверхности изъ центральной части земного шара, — равняется тому количеству, которое способно растопить слой льда всего лишь въ 5,2 м.м. толщиною. А такъ какъ количество теплоты, потребное на таяніе одного килограмма льда, составляетъ 80 калорій, то изъ этого слѣдуетъ, что количество тепла, которое доставляется земнымъ шаромъ, можетъ повысить на 1 градусъ слой воды всего лишь въ 0,41 метра толщиною, или иначе на 0,1° слой въ 4,1 метра. Это—ничтожная величина. Поэтому вліяніемъ собственной теплоты земного шара въ большинствѣ случаевъ можно пренебрегать.

Второе тепловое явленіе, требующее поясненія, есть нагрѣваніе глубокихъ слоевъ озера водою притоковъ. Если вода источника чиста и удѣльный вѣсъ ея равенъ удѣльному вѣсу озерной воды, то при своемъ вступленіи въ озеро, она тотчасъ же опускается до той глу-

¹⁾ Рихтеръ показалъ, что этотъ источникъ теплоты значительно слабѣ лучистой солнечной теплоты. (Seestudien. Pencks geogr. Abhandl. Bd. VI, H. 2, S. 70).

бины, на которой встрѣчаетъ слои одинаковой съ ней температуры. Въ этомъ случаѣ ея термическое дѣйствіе равно нулю. Но въ большинствѣ случаевъ бываетъ, что вода, приносимая притоками, содержитъ въ себѣ большія или меньшія количества суспендированнаго ила, увеличивающаго ея удѣльный вѣсъ¹⁾. Поэтому рѣчная вода большею частью бываетъ тяжелѣе озерной при условіи равенства температуръ. Вслѣдствіе этого она, войдя въ озеро, опускается внизъ глубже, чѣмъ слѣдовало бы по ея температурѣ, и достигаетъ тѣхъ слоевъ, которые имѣютъ одинаковую съ нею плотность, но которые, по законамъ термической стратификаціи, холоднѣе опустившейся рѣчной воды. Здѣсь нагруженная иломъ рѣчная вода смѣшивается съ холодной глубинною водою озера, нагревая послѣднюю. Это термическое дѣйствіе въ нѣкоторыхъ случаяхъ бываетъ весьма значительнымъ²⁾.

Изъ всѣхъ прямыхъ источниковъ теплоты, получаемой земной поверхностью, самый главный—солнечное излученіе (инсоляція). Но дѣйствіе солнечнаго нагреванія на поверхности озера мѣняется, въ зависимости отъ ея зеркальности. Будетъ-ли поверхность воды находиться подъ вліяніемъ вѣтра въ движеніи, или же она будетъ совершенно спокойной,—въ обоихъ случаяхъ падающіе на нее тепловые лучи будутъ частью отражены, а частью поглощены. Изъ изслѣдованій Луи Дюфура, произведенныхъ въ 1892 году, слѣдуетъ, что количество отражаемой теплоты можетъ быть весьма значительно; при благоприятныхъ условіяхъ, именно когда солнце находится вблизи горизонта и поверхность озера гладкая,—это количество можетъ достигать 68% излучаемаго солнцемъ тепла³⁾. Но въ большинствѣ случаевъ количество отраженной теплоты обыкновенно бываетъ значительно меньше; остатокъ ея, составляющій въ самомъ неблагоприятномъ случаѣ цѣлую треть, поглощается водной средой, проникая въ верхніе слои озера и нагревая ихъ.

Роль, которую играютъ при тепловомъ обмѣнѣ отдѣльныя части озера, представляется въ слѣдующемъ видѣ:

Черезъ посредство озерного дна, къ которому мы относимъ также и бока его ложа, теплота притекаетъ только отъ внутренности земного шара; этимъ притокомъ теплоты, какъ сказано выше, мы можемъ пренебречь. Средніе и глубокіе слои озера водою притоковъ нагреваются, а въ рѣдкихъ случаяхъ охлаждаются.

Что же касается верхнихъ слоевъ озера, то черезъ нихъ происходитъ какъ притокъ теплоты, такъ и ея расходъ; они являются главной

¹⁾ Ср. Le Léman, I. 367.

²⁾ Замѣтимъ, что при обратной термической стратификаціи (напримѣръ, зимой) холодная и очень плотная вода притоковъ, вливающаяся въ озеро, должна была бы охлаждать глубокіе слои.

³⁾ Bull. Soc. Vaud. Sc. nat. XII, 1. Lausanne, 1873.

ареной наиболѣе сильныхъ и важныхъ термическихъ колебаній. Находясь въ непосредственномъ соприкосновеніи съ атмосферой, они то нагреваются, то охлаждаются. Лишь на поверхности происходитъ пріятіе и отдача лучистой теплоты. Изъ этихъ различныхъ отношеній различныхъ частей озера и создается тенденція къ термической дифференціаціи; происходитъ то нагреваніе, то охлажденіе. Эти постоянныя смѣны не возникаютъ одновременно во всей массѣ озера, но бываютъ приурочены къ строго опредѣленнымъ слоямъ. Благодаря этому, образуется рѣзкая дифференціація отдѣльныхъ частей озера въ термическомъ отношеніи.

Но вмѣстѣ съ этимъ дѣйствуютъ и другіе процессы, сглаживающіе эту разницу и стремящіеся уравнивать температуру въ озерѣ. Сюда относятся:

1. Передача теплоты отъ одного слоя къ другому; она совершается и при спокойномъ состояніи воды. Теплая вода отдаетъ часть своей теплоты сосѣднимъ холоднымъ массамъ, повышая тѣмъ ихъ температуру; холодная же вода, наоборотъ, понижаетъ температуру сосѣднихъ водъ.

2. Тепловой обмѣнъ совершается внутри озера, когда вся его водная масса приходитъ въ движеніе; это тепловое движеніе имѣетъ *термическое происхожденіе* въ томъ случаѣ, когда оно возникаетъ вслѣдствіе нагреванія или охлажденія водной массы (конвекція). Водяныя массы одинаковой температуры, а слѣдовательно и одинаковой плотности, стремятся къ взаимному сліянію. Теплыя водяныя массы стремятся вверхъ, холодныя же—внизъ.

Передвиженіе тепловыхъ запасовъ могутъ быть также и *механическаго происхожденія* въ томъ случаѣ, когда они вызваны какимъ-нибудь внѣшнимъ толчкомъ, напримѣръ, теченіями, возникающими отъ вѣтра. Въ этомъ случаѣ слои разныхъ температуръ приходятъ въ соприкосновеніе другъ съ другомъ, и температурное выравниваніе происходитъ при помощи передачи теплоты или отъ перемѣшиванія воды.

Термика озера обусловливается физическими свойствами его воды. Важнѣйшія въ этомъ отношеніи свойства слѣдующія:

1. *Высокая степень удобоподвижности водяныхъ частицъ*, обусловливаемая тѣмъ, что взаимное сцѣпленіе (Kohäsion) между отдѣльными молекулами очень мала. Благодаря этому свойству, легкія массы воды всегда располагаются сверху тяжелыхъ, въ результатъ чего мы имѣемъ стратификацію, при которой плотность воды увеличивается, идя сверху внизъ.

2. *Диатермичность* воды, позволяющая лучистой теплотѣ проникать въ воду, а равно выходить изъ нея. Но вода имѣетъ малую теплопрозрачность. Изъ всѣхъ жидкостей, изслѣдованныхъ Меллони, вода оказалась всего менѣе прозрачной для теплоты. Въ силу этого верхніе слои воды озера поглощаютъ наибольшее количество лучистой

солнечной теплоты, и лишь ничтожная часть ее достигает до средних слоев. Точно также, когда вода излучает теплоту, то всего больше участвуют в этом процессе ее верхние слои. Поэтому охлаждение происходит почти исключительно на поверхности.

Суспендированный в воде твердые частицы обладают большею способностью поглощения лучистой теплоты, чем чистая вода. Поэтому вода мутная от взвешенного в ней ила нагревается от инсоляции сильнее, чем чистая вода.

По I. A. Сорэ, диатермичность воды для светлых тепловых лучей больше, чем для темных. Вследствие этого нагревание средних слоев под влиянием солнечного излучения происходит в большей степени, чем охлаждение их через лучеиспускание.

3. *Теплопроводность* воды очень мала. Ф. Г. Вебер в Цюрихе определил, что коэффициент теплопроводности воды равен 0,0745 в то время, как тот же коэффициент для ртути составляет 0,91¹⁾. Пользуясь этим коэффициентом, Вебер вычислил скорость распространения теплоты в спокойной воде. Он нашел, что в течение 24 часов теплота проходит не более 0,3 м., а в течение года не более 6 м.

4. Вода имеет очень значительную *удельную теплоту* (теплоемкость), превышающую удельную теплоту всех других тел, исследованных в этом отношении. Теплоемкость воды превышает такую же металлов в 3—20 раз, а воздуха—в 3,000 раз.

5. Способность *теплого излучения* (испускательная способность) воды очень велика; по опытам Лесли, она должна быть равна испускательной способности сажи.

6. Чистая вода обладает наибольшей плотностью между 3,9° и 4° Ц. (*температура наибольшей плотности*). Следовательно, при 4° вода имеет наибольший вес. Присутствие растворенных тел в воде несколько понижает температуру ее наибольшей плотности. При том же количестве солей, какое содержится в пресной воде, это понижение можно не принимать во внимание, так как содержание солей в количестве 1‰ изменяет температуру наибольшей плотности меньше, чем на 0,1° Ц. Но в соляных озерах это понижение бывает часто значительным.

7. Вода в твердом состоянии—в виде *льда*—имеет меньшую плотность, чем жидкая вода при 0°; ее считают равной 0,92. Вследствие этого лед плавает на поверхности воды при 0°.

В какой же зависимости от физических свойств воды находится термика озера?

¹⁾ Vierteljahresschr. d. Züricher Nat. Gesellsch. XXIV. 252. 1879.

1. Вследствие свойства текучести, присущего воде в высокой степени, слоистость выражается всегда таким образом, что самые плотные, самые тяжелые водяные массы покоятся на дне, а наиболее легкие плавают поверху.

2. Так как наибольшую плотность пресная вода имеет при 4° С., то термическая слоистость оказывается прямо взаимно-противоположными для тех случаев, когда вода теплее и когда она холоднее 4°. *Теплая вода*, т. е. вода с температурой выше 4°, показывает *прямую* термическую слоистость, при которой теплые слои лежат на более холодных, следовательно, температура убывает сверху вниз. *Холодная вода*, т. е. вода, температура которой находится между 0° и 4°, показывает обратное расположение температурных слоев: более теплые массы находятся внизу, самые же холодные—наверху; следовательно, температура повышается в направлении сверху вниз.

3. Главнейшие источники, доставляющие тепло озерной воде, суть излучение солнца и передача теплоты из теплого воздуха, находящегося в соприкосновении с водою. Главнейшие же причины потери теплоты водою суть излучение в атмосферу и мировое пространство и передача тепла через соприкосновение с холодным воздухом. Эти явления имеют место только на поверхности озера. Другие термические явления, которые по их незначительности можно назвать побочными, могут быть обойдены молчанием. Итак, на поверхности озера происходят важнейшие приток и потеря теплоты.

4. Термические явления, разыгрывающиеся на озерной поверхности, вызывают в водных массах озера или резкую температурную слоистость, или же ослабление этой слоистости вплоть до ее исчезновения.

5. Термическая прямая слоистость (теплые слои наверху, холодные внизу) устанавливается или обостряется, когда вода поверхности озера продолжает нагреваться; обратная же (холодные слои наверху, теплые—внизу)—когда она продолжает охлаждаться. В первом случае теплый поверхностный слой воды удерживает свое положение в силу продолжающегося нагревания, во втором—в силу продолжающегося охлаждения; условия как того, так и другого случая дѣлают его самым легким слоем. Разница в плотностях между верхними и нижними слоями благодаря этому дѣлается больше, обостряя термическую стратификацию.

6. В противоположном случае термическая слоистость нарушается и температура выравнивается между верхними и нижними слоями. Когда теплое озеро охлаждается с поверхности или холодное нагревается, тогда верхний слой дѣлается плотнее и погружается, пока не встретит слоя, равного ему по плотности. При этом толщина

поверхностного слоя съ одинаковой, постоянно падающей, температурой, такъ называемаго *гомотермического* слоя, прогрессивно увеличивается, между тѣмъ какъ вертикальными конвенционными токами поверхностные слои перемѣшиваются съ нижележащими до тѣхъ поръ, пока не примутъ температуру послѣднихъ, постепенно охлаждаясь (или нагрѣваясь). Температура возникающаго такимъ образомъ поверхностного слоя, продолжающаго увеличиваться въ толщину, должна считаться отъ верху до низу приблизительно равномѣрной. Такимъ образомъ это явленіе ведетъ къ уничтоженію термической стратификаціи и къ выравниванію температуры на всемъ протяженіи водныхъ массъ, захватываемыхъ даннымъ процессомъ.

7. Мы видѣли, что одни и тѣ-же явленія разыгрываются какъ въ теплой, такъ и въ холодной водѣ, но, разумѣется, съ совершенно различными результатами

Типъ слоистости.	Процессъ.	Результатъ процесса.
Теплая вода	прямая слоистость	нагрѣванія охлажденія
Холодная вода	обратная слоистость.	нагрѣванія охлажденія
		Слоистость. Уничтоженіе слоистости.

8. Вліяніе времени года. Холодные и теплые времена года, обуславливающія то или иное количество теплоты, содержащейся въ озерѣ, — смѣняясь поочередно, вызываютъ періодическое измѣненіе термическихъ условій озера.

Если мы нанесемъ данныя термометрическихъ измѣреній, производимыхъ регулярно изъ мѣсяца въ мѣсяцъ на разныхъ глубинахъ озера, на осяхъ координатъ такимъ образомъ, что на оси абсциссъ отложимъ времена (мѣсяцы), а на оси ординатъ—глубины, и затѣмъ соединимъ между собою точки равныхъ температуръ, то получимъ слѣдующее.

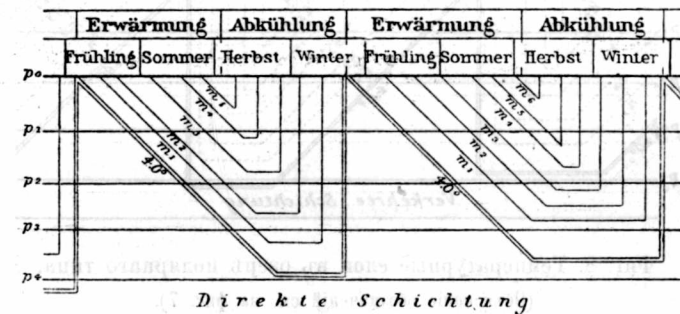
Въ теченіе того промежутка времени, когда происходило усиленіе термической слоистости, изотермическія линіи представляются идущими наискось внизъ. Одну и ту же температуру, при различныхъ измѣреніяхъ глубинъ изъ мѣсяца въ мѣсяцъ, мы находимъ все на большихъ и большихъ глубинахъ. При наступленіи же времени, когда температура озера выравнивается, изотермическія линіи поднимаются вертикально, указывая этимъ на то, что температура во всемъ верхнемъ слоѣ равномѣрная.

На этомъ основаны представленныя далѣе схематическія изображенія.

9. Опираясь на высказанныя соображенія, мы логическимъ путемъ приходимъ къ распредѣленію озеръ по ихъ термическому характеру. Мы различаемъ три типа озеръ: озера съ постоянно теплою водою, т. е.

съ температурою выше температуры наибольшей плотности (*тропическія озера*), съ перемѣнной водою, то теплою, то холодною (*умѣренныя озера*) и всегда съ холодною водою (*полярныя озера*). Эти названія, обозначающія термическіе типы озеръ, заимствованы отъ названій тѣхъ зонъ, въ какихъ встрѣчаются перечисленные типы наиболѣе характерно выраженными. Конечно, этимъ не имѣется въ виду сказать, что озеро, лежащее въ тропическомъ поясѣ, должно быть непременно тропическаго типа. Если оно при этомъ лежитъ, на примѣръ, въ возвышенной мѣстности, то можетъ, конечно, принадлежать и къ умѣренному типу. Точно также нѣкоторые изъ большихъ и достаточно глубокихъ озеръ умѣренныхъ странъ могутъ принадлежать къ озерамъ тропическаго типа.

10. *Тропическія озера*. Вода тропическихъ озеръ всегда теплая, т. е. ея температура бываетъ постоянно выше температуры наибольшей плотности (4°C. для прѣсной воды). Поэтому слоистость тропическихъ озеръ всегда прямая. Весною и лѣтомъ, т. е. въ теплые



Фиг. 7. Температурные слои въ озерѣ тропическаго типа. p_0 —поверхность; $p_1, p_2, \dots$ —слои различныхъ глубинъ. Изотерма въ 4° обозначена двойной линіей; изотермы выше 4° ($m_1, m_2, \dots$) выражены простой линіей, изотермы ниже 4° ($n_1, n_2, \dots$) — пунктирной (см. фиг. 8 и 9).

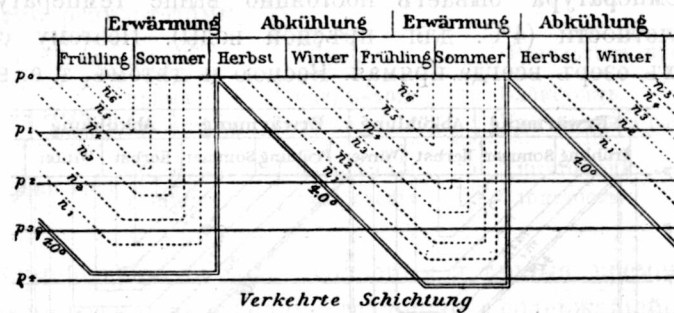
времена года, превалируетъ притокъ тепла; температура верхняго слоя быстро поднимается по отношенію къ температурѣ глубокихъ слоевъ. Осенью и зимой—въ холодные времена года—беретъ перевѣсъ охлажденіе,—озеро съ своей поверхности отдаетъ теплоту. Съ возрастаніемъ охлажденія непрерывно увеличивается и толщина поверхностного слоя, такъ какъ его температура понижается до температуры ниже лежащаго слоя, уничтожая вмѣстѣ съ тѣмъ и существовавшую до того времени разницу въ ихъ плотностяхъ. Оба слоя термически соединяются вмѣстѣ въ одинъ слой. Происходитъ термическое выравниваніе (см. фиг. 7).

Область распространенія тропическихъ озеръ ограничивается тропическими странами и южными широтами теплаго умѣреннаго пояса (большія озера Верхней Италіи, Женевское озеро).

11. *Полярныя озера.* Термическія условія полярныхъ озеръ прямо противоположны условіямъ тропическихъ озеръ. Они имѣютъ всегда холодную воду, температура которой постоянно ниже 4°C . Термическая слоистость у нихъ всегда обратная. За время притока теплоты, превосходящаго ея потерю (весна и лѣто), температура между верхними и нижними слоями выравнивается, и слоистость исчезаетъ; въ періодъ же преобладающей отдачи теплоты (осень и зима) слоистость усиливается (фиг. 8).

Полярныя озера расположены въ полярныхъ областяхъ и на высокихъ горахъ въ умѣренныхъ широтахъ.

12. *Умѣренныя озера.* Въ умѣренныхъ озерахъ совершается равномерная замѣна теплой лѣтней воды холодной водою во время зимы. Въ такихъ озерахъ вышеупомянутые типы озеръ—тропическій и по-



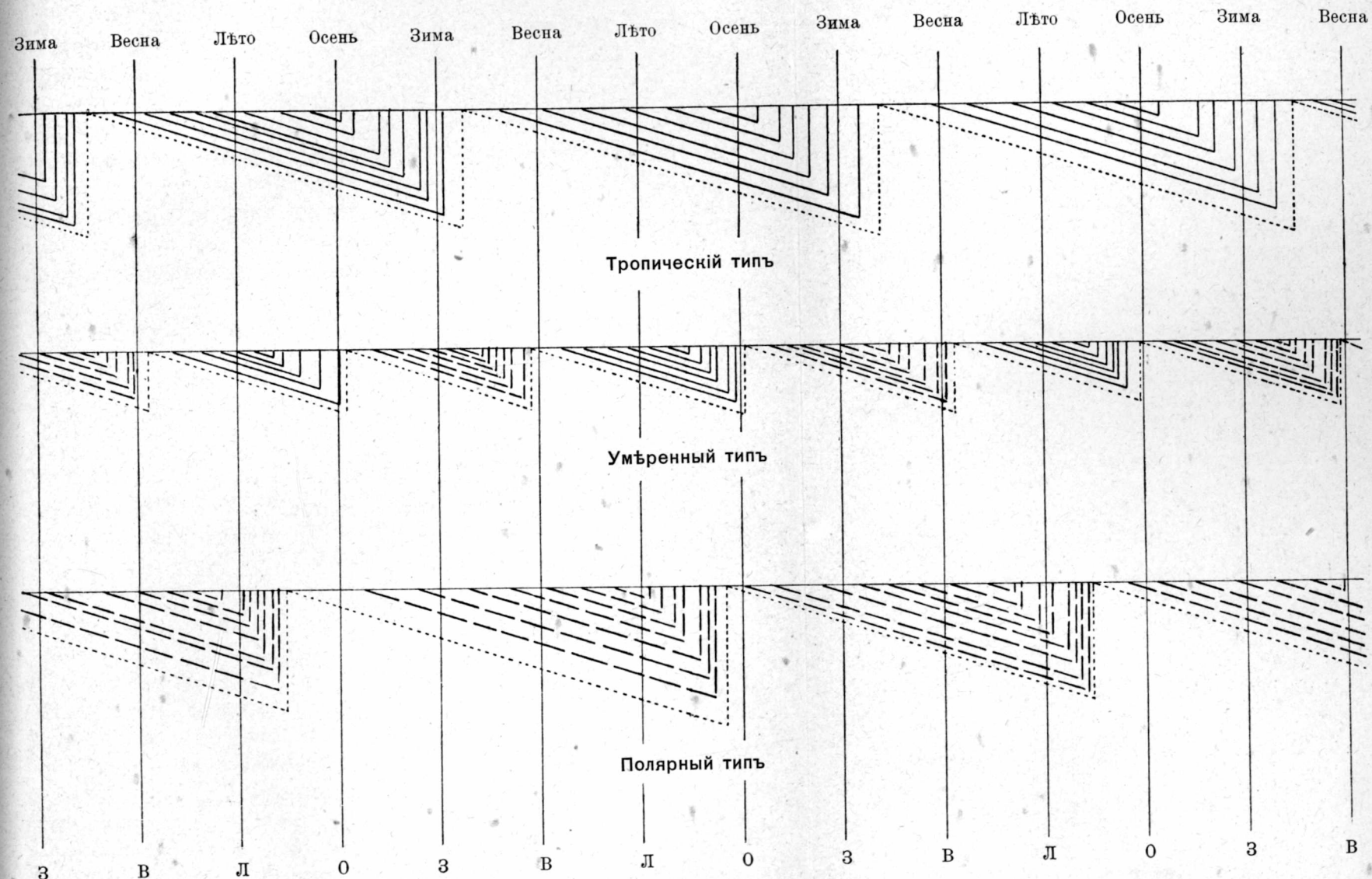
Фиг. 8. Температурные слои въ озерѣ полярнаго типа.
(Объясненіе обозначеній см. на фиг. 7).

лярный—смѣняются одинъ другимъ соотвѣтственно временамъ года. Получаются слѣдующія соотношенія:

Лѣто	теплая вода	слоистость	} тропическій типъ.
Осень	»	выравниваніе	
Зима	холодная »	слоистость	} полярный типъ.
Весна	»	выравниваніе	

Смотря по климатическимъ условіямъ, въ которыхъ находится умѣренное озеро, будетъ болѣе длительнымъ или то его состояніе, которое характеризуетъ тропическій типъ, или то, которымъ характеризуется полярный типъ (см. схему, фиг. 9).

Если расположить приведенныя три схемы одну подъ другой въ такомъ порядкѣ, чтобы одни и тѣ же времена года приходились на одной вертикали, то уже съ перваго взгляда будетъ видно, что термическіе процессы у озеръ всѣхъ трехъ типовъ протекаютъ совершенно различно (см. прилагаемую таблицу). Постараюсь представить



Термическіе типы прѣсноводныхъ озеръ
(Ф. А. Форель, 1899).

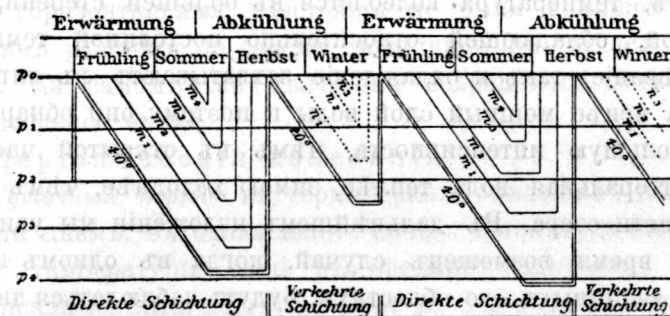
Полярныя $\leq 4^{\circ}$

это наглядно при помощи буквенных обозначений. Пусть S выражает явление слоистости, а A—ея исчезновение.

	Весна.	Лѣто.	Осень.	Зима.	Весна.	Лѣто.	Осень.
Тропическія озера	S	S	A	A	S	S	A
Умѣренные »	A	S	A	S	A	S	A
Полярныя »	A	A	S	S	A	A	S

13. Изъ послѣдующаго изложенія мы узнаемъ, что температурныя колебанія могутъ быть уловлены наблюдениемъ отъ поверхностныхъ слоевъ на глубину около 100 метровъ и даже нѣсколько глубже, хотя и немного. Поэтому въ озерахъ, глубина которыхъ менѣе 100 м., температурныя колебанія достигаютъ отъ поверхности до самого дна, тогда какъ въ очень глубокихъ озерахъ нижніе слои сохраняютъ относительно однообразную температуру.

14. Изъ этого ограниченія предѣла температурныхъ колебаній лишь верхними слоями озера слѣдуетъ, что озера, лежащія на гра-



Фиг. 9. Температурные слои въ озерѣ умѣреннаго типа.

(Объясненіе обозначеній см. на фиг. 7).

ницѣ между крайними климатами (полярнымъ и умѣреннымъ или умѣреннымъ и тропическимъ), приближаются то къ тому, то къ другому типу, смотря по своей глубинѣ. Мелкія озера, въ которыхъ ежегодныя колебанія температуры замѣтны по всей толщѣ воды, должны быть отнесены къ умѣренному типу, въ то время, какъ сосѣднія глубокія озера, у которыхъ температура глубокихъ слоевъ весь годъ остается неизмѣнной, нужно отнести къ ряду крайнихъ типовъ (полярнаго или тропическаго).

15. Температура нижнихъ слоевъ глубокихъ озеръ можетъ быть представлена слѣдующею схемою:

Типы:	Температура глубинъ.
Тропическія озера	$\geq 4^\circ$.
Умѣренныя »	$= 4^\circ$.
Полярныя »	$\leq 4^\circ$.

вершено различно (см. прилагаемую таблицу). Постараюсь представить

Послѣ этого общаго обзорѣнія мы обратимся теперь къ нѣкоторымъ специальнымъ пунктамъ.

2. Температура поверхностнаго слоя.

Въ поверхностномъ слоѣ происходятъ самыя рѣзкія температурныя колебанія. Онъ и является наиболѣе интереснымъ въ силу своей доступности наблюденію и благодаря своей посреднической роли въ дѣлѣ взаимнаго обмѣна тепла между озеромъ и окружающей его средою. Температура этого слоя измѣняется, съ одной стороны, смотря по условіямъ мѣста, съ другой—периодически, смотря по условіямъ времени.

А) Различія въ температурѣ, обуславливаемые мѣстомъ.

Пелагическая и литторальная области требуютъ, каждая, отдѣльнаго разсмотрѣнія. Въ литторальной области, благодаря незначительной глубинѣ, температура колеблется въ большей степени, чѣмъ въ пелагической, обладающей относительно постоянной температурой. Какъ нагрѣваніе, такъ и охлажденіе захватываютъ въ литторальной части озера менѣе мощный слой воды и поэтому они обнаруживаютъ здѣсь и большую интенсивность, чѣмъ въ открытой части озера. Лѣтомъ литторальная вода теплѣе, зимою холоднѣе, чѣмъ вода центральной части озера. Въ дальнѣйшемъ изложеніи мы увидимъ, что въ зимнее время возможенъ случай, когда въ одномъ и томъ же озерѣ, въ различныхъ его областяхъ, будутъ наблюдаться два разныхъ термическихъ типа, существующихъ во взаимномъ сосѣдствѣ. Въ литторальной части холодная вода можетъ имѣть обратную слоистость и можетъ даже замерзнуть въ то время, какъ въ открытомъ озерѣ слоистость будетъ прямою. Если наблюдательный пунктъ представляетъ собою конецъ узкой бухты и весьма удаленъ отъ открытой части озера, то здѣсь мы найдемъ очень большую разницу между температурами поверхности литторальной области и открытаго озера.

Можно было бы думать, что истинная температура поверхности озера будетъ безошибочно представлена центромъ пелагической области. Но и эта температура пелагической поверхности не такъ равномерна, какъ это можно было бы ожидать отъ свободно и открыто сообщаемой жидкости. То здѣсь, то тамъ можно наблюдать мѣстную разницу въ нѣсколько градусовъ. Эта разница главнымъ образомъ вызывается:

а) Вѣтромъ, вызывающимъ механическія теченія сгономъ поверхностной воды къ противоположному берегу; благодаря этому, у подвѣтреннаго берега образуется восходящій токъ, создающій совершенно иную температуру на поверхности.

б) Волнами, смѣшивающими поверхностные слои съ непосредственно ниже лежащими слоями другой температуры.

в) Мѣстнымъ замутнѣніемъ воды, происходящимъ отъ того, что чистая вода озера механически смѣшивается съ загрязненной водой, содержащей въ себѣ во взвѣшенномъ состояніи тѣ или иные частицы (мутная вода притоковъ, береговая вода, взмучиваемая поднимающимся при ударахъ волнъ иломъ). Мутная вода менѣе діатермична въ сравненіи съ чистою. Солнечные лучи проникаютъ на меньшую глубину и, слѣдовательно, нагрѣваніе ея сверху происходитъ скорѣе, чѣмъ чистой воды.

г) Мѣстнымъ вліяніемъ выпавшаго надъ озеромъ холоднаго или теплаго дождя, снѣга или града.

д) Тѣнью, отбрасываемою на часть озерной поверхности облакомъ или горою во время освѣщенія озера солнцемъ.

Если бы удобоподвижность частицъ воды была совершенною и если бы горизонтальныя разстоянія не были слишкомъ велики, то эти мѣстныя различія по своему возникновенію тотчасъ же и пропадали бы. На самомъ же дѣлѣ они сохраняются болѣе или менѣе продолжительное время.

Б) Периодическія колебанія.

а) *Суточный періодъ* въ термическихъ явленіяхъ выражается въ нагрѣваніи днемъ, въ охлажденіи—ночью. Амплитуда этого суточнаго колебанія температуры воды въ среднихъ широтахъ составляетъ 2—4° съ исключеніями, достигающими по Э. Д. Рихтеру до 6°. Температурный максимумъ наступаетъ въ концѣ дня, температурный минимумъ—въ концѣ ночи. Средняя температура соответствуетъ температурѣ поверхности около полудня или около полуночи.

б) *Годовой періодъ* температуры поверхностнаго слоя ограничивается максимумомъ въ теплое время года и минимумомъ въ холодное. Амплитуда этого колебанія опредѣляется климатическими условіями каждой данной области.

Въ тропическихъ озерахъ минимумъ не опускается ниже 4°, максимумъ же можетъ подниматься до 25—30° и даже выше.

Въ полярныхъ странахъ температура поверхности колеблется лишь въ предѣлахъ отъ 0° до 4°.

Въ умѣренныхъ странахъ въ холодное время года она ниже 4°, въ теплое—выше 4°. Въ глубокихъ озерахъ умѣреннаго пояса, даже въ разгаръ лѣта, температура едва поднимается выше 25°.

Величина годового колебанія можетъ быть опредѣлена лишь двумя измѣреніями температуры, произведенными при надлежащихъ условіяхъ въ концѣ лѣта и въ концѣ зимы. Эти два измѣренія съ достаточною рѣзкостью характеризуютъ термическій типъ озера. Что-

бы найти для даннаго озера соотвѣтствующее мѣсто въ нашей классификаціи, нужно лишь припомнить сдѣланный нами обзоръ типовъ, сводящійся къ слѣдующей схемѣ:

	Максимумъ.	Минимумъ.
Тропическія озера.. . . .	$>4^{\circ}$.	$\geq 4^{\circ}$.
Умѣренныя »	$>4^{\circ}$.	$<4^{\circ}$.
Полярныя »	$\leq 4^{\circ}$.	$<4^{\circ}$.

3. Соотношенія температуры озера съ температурою лежащихъ надъ нимъ воздушныхъ массъ.

Такъ какъ теплоемкость воды значительно превышаетъ теплоемкость воздуха, то благодаря этому одни и тѣ же термическія явленія производятъ на воздухъ болѣе быстрое и болѣе интенсивное дѣйствіе, нежели на воду. Термическія колебанія атмосферы гораздо сильнѣе и они наступаютъ скорѣе, чѣмъ такія же колебанія въ озерной поверхностной водѣ, соприкасающейся съ атмосферою. И это выражается въ томъ, что зимою воздухъ холоднѣе, а лѣтомъ теплѣе, чѣмъ вода на поверхности озера. Температурныя измѣненія наступаютъ въ воздухѣ быстрѣе; въ водѣ же эти явленія какъ-бы отстаютъ. Весною вода остается еще холодною въ то время, какъ воздухъ уже нагрѣлся, по-этому она въ это время холоднѣе атмосферы; осенью же вода остается дольше теплою, чѣмъ воздухъ. Такъ какъ температура озера имѣетъ стремленіе сравняться съ температурой прилегающаго къ нему воздуха, то озеро, благодаря этому, дѣйствуетъ на климатъ умѣряющимъ образомъ, смягчая прежде всего рѣзкости его температурныхъ колебаній.

4. Температура глубинъ.

Посредствомъ особенно устроеннаго термометра ¹⁾ можно измѣрить температуру любого слоя воды въ озерѣ. По измѣреніямъ, произведеннымъ на разныхъ глубинахъ по одной и той же вертикали, можно судить о термической стратификаціи въ данный моментъ. Если мы имѣемъ рядъ такихъ измѣреній за различныя времена года, то можемъ составить себѣ представленіе о годовыхъ колебаніяхъ въ термическихъ слояхъ и о годовомъ періодѣ температуры на разныхъ глубинахъ.

Главнѣйшій тепловой обмѣнъ, какъ объ этомъ говорилось раньше, приуроченъ къ поверхностному слою озера. Но было бы ошибочнымъ отсюда заключать, что обмѣнъ тепла ограниченъ лишь сказаннымъ слоемъ. Въ незначительной степени и различнымъ образомъ прини-

¹⁾ Термометръ Негретти-Замбра, Миллеръ-Казелла.

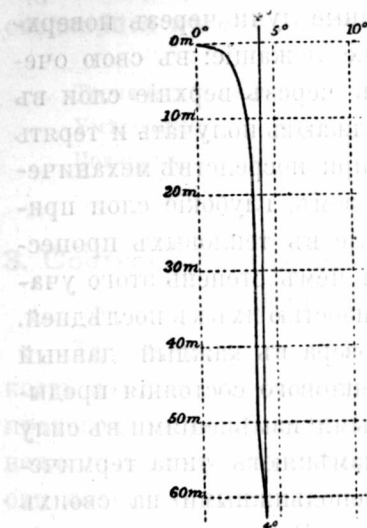
маютъ участіе въ этомъ явленіи какъ средніе, такъ и глубокіе слои озера.

Благодаря діатермичности воды, солнечные лучи черезъ поверхностные слои проникаютъ и въ слои, глубже лежащіе; въ свою очередь часть теплоты этихъ слоевъ уходитъ черезъ верхніе слои въ міровое пространство. Глубинные слои продолжаютъ получать и терять теплоту также и при помощи передачи ея, при посредствѣ механической и термической конвекціи. Такимъ образомъ, глубокіе слои принимаютъ болѣе или менѣе дѣятельное участіе въ тепловыхъ процессахъ, разыгрывающихся на поверхности, при чемъ степень этого участія обусловливается большей или меньшей близостью ихъ къ послѣдней.

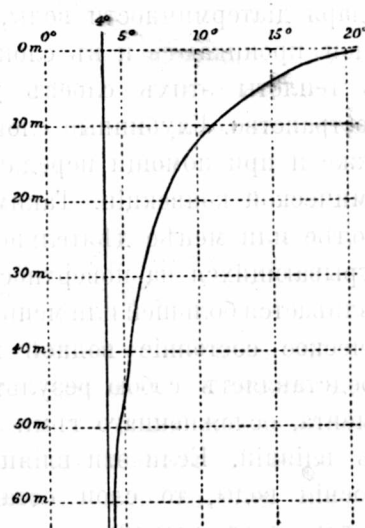
Термическое состояніе водной массы озера въ каждый данный моментъ представляетъ собою результатъ теплового состоянія предыдущаго момента, осложненнаго тѣми или иными измѣненіями въ силу различныхъ вліяній. Если эти вліянія не измѣняютъ типа термическаго наслоенія воды, то слои остаются неподвижными на своихъ мѣстахъ, и характеръ слоистости усиливается. Въ томъ же случаѣ, когда эти вліянія измѣняютъ типъ слоистости, превращая, на примѣръ, прямую температурную слоистость въ обратную или наоборотъ, тогда образуются термическіе конвенціонные токи, слѣдствіемъ которыхъ является полное уничтоженіе слоистости. Эти оба явленія, какъ усиленія, такъ и уничтоженія темепературной слоистости, первоначально всегда бывають локализованы и ограничены опредѣленнымъ комплексомъ слоевъ воды. Они становятся повсемѣстными лишь при продолжительномъ дѣйствіи преобразовывающаго термическаго фактора.

Усиленіе термической стратификаціи теплыхъ водъ наступаетъ при дальнѣйшемъ нагрѣваніи, т. е. при продолжающемся приобрѣтеніи ими теплоты; а холодныхъ водъ—во время ихъ охлажденія, а именно при потерѣ теплоты съ поверхности. При этомъ слоистость гораздо рѣзче выступаетъ въ поверхностныхъ слояхъ, нежели на глубинѣ; слѣдовательно, температурныя измѣненія въ верхнихъ слояхъ по мѣрѣ углубленія будутъ относительно весьма значительны; но, приближаясь къ болѣе глубокимъ слоямъ, эти измѣненія слишкомъ быстро убываютъ и, наконецъ, въ самыхъ нижнихъ исчезаютъ совершенно. На фиг. 10 и 11 графически представлены измѣненія температуры съ глубиною. На ординатахъ отложены глубины, на абциссахъ—температуры. Когда же, напротивъ, водяныя массы будутъ находиться въ состояніи выравниванія вертикальной температурной разницы (нагрѣваніе холодной или охлажденіе теплой воды), тогда слоистость въ верхнихъ слояхъ исчезаетъ. Гомотермическій слой (слой равномерной температуры) дѣлается все толще. Температурная слоистость остается только въ болѣе глубокихъ слояхъ, еще незатронутыхъ выравнивающими токами. Термиче-

ское состояніе озера, которое находится въ фазѣ такого выравниванія, графически изображено на фиг. 12 и 13.

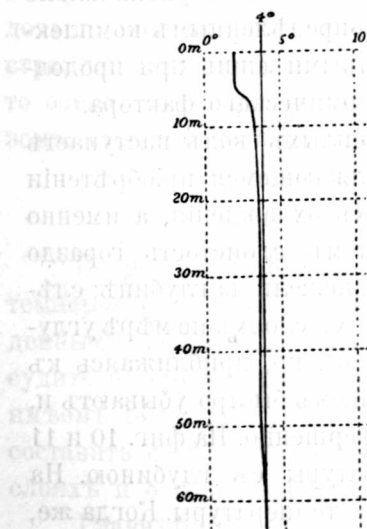


Фиг. 10. Температурные слои въ холодныхъ водахъ.

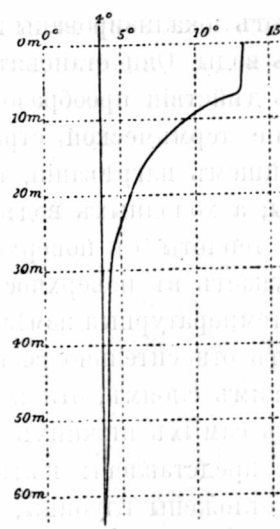


Фиг. 11. Температурные слои въ теплыхъ водахъ.

Чѣмъ долѣе продолжается термическое дѣйствіе, тѣмъ яснѣе выступаетъ его вліяніе и тѣмъ глубже оно проникаетъ. Если бы это



Фиг. 12. Выравниваніе температуры въ холодныхъ водахъ (до глубины въ 7 метровъ).



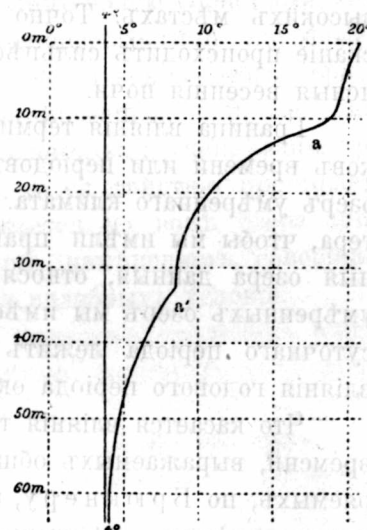
Фиг. 13. Выравниваніе температуры въ теплыхъ водахъ (до глубины въ 8 метровъ).

дѣйствіе было безграничнымъ, то оно отразилось бы даже на наибольшихъ глубинахъ самыхъ глубокихъ озеръ. Но въ дѣйствительности

этого нѣтъ. Процессы нагрѣванія и охлажденія чередуются другъ съ другомъ. Они прерываются суточнымъ періодомъ, но кромѣ того и не періодическія колебанія наступаютъ отъ времени до времени въ теплое время года, благодаря періодамъ холода, а въ холодное—періодамъ тепла. Такъ какъ измѣненія въ нагрѣваніи и охлажденіи зависятъ отъ явленій погоды, наступающихъ отчасти равномерно періодически, отчасти же неравномерно - аперіодически, то въ силу этого кривая, показывающая измѣненія температуры въ озерѣ по вертикали, бываетъ часто очень сложной; она большею частью указываетъ на чередованіе явленій выравниванія и усиленія слоистости. По примѣру Эд. Рихтера ¹⁾, тотъ слой, въ которомъ стратификація вдругъ измѣняетъ свой *habitus*, называется *слоемъ скачка* (*Sprungschicht*). Въ слой скачка температурныя разницы отдѣльныхъ слоевъ очень велики. Слой скачка можетъ встрѣтиться на любой глубинѣ, почему различные «скачки» могутъ оказаться въ различныхъ слояхъ одного и того же температурнаго профиля (аа' на фиг. 14).

Важно выяснитъ, до какой глубины замѣтно термическое дѣйствіе нагрѣванія или охлажденія, продолжающееся опредѣленный промежутокъ времени, все равно будетъ ли этотъ промежутокъ частью дневного, годичнаго или циклическаго періода. При усиленіи термической стратификаціи эта нижняя граница съ трудомъ поддается опредѣленію. Теплота проникаетъ въ глубокіе слои столь медленно и въ такихъ малыхъ дозахъ, что эта граница можетъ быть опредѣлена часто только путемъ многократныхъ и очень точныхъ термометрическихъ измѣреній. Напротивъ, если вода находится въ состояніи термическаго выравниванія, то легко опредѣляемый слой скачка даетъ точную границу, до которой достигло выравниваніе, т. е. до которой термическая причина оказываетъ замѣтное дѣйствіе.

Главнѣйшей причиной нагрѣванія является лучистая теплота солнца, главнѣйшей причиной охлажденія—излученіе въ атмосферу и міровое пространство. Результатъ совмѣстнаго дѣйствія обѣихъ при-



Фиг. 14. Расположенныя другъ подъ другомъ термически выравненные и разслоенныя массы воды въ тепломъ озерѣ.

¹⁾ Richter. Die Temperaturverhältnisse der Alpenseen. IX. deutscher Geographentag. Wien, 1891.

чинъ зависитъ отъ продолжительности дѣйствія каждой изъ нихъ и отъ діатермичности какъ воздуха, такъ и воды. Чѣмъ вода чище въ физическомъ отношеніи, тѣмъ до болѣе глубокихъ слоевъ проникаетъ вліяніе обѣихъ причинъ. Дѣйствіе лучистой теплоты солнца зависитъ далѣе отъ высоты стоянія солнца; чѣмъ больше уголъ его стоянія или, что то же, чѣмъ меньше уголъ паденія солнечныхъ лучей, т. е. уголъ между падающимъ лучомъ и отвѣсною линіею, тѣмъ больше лучей проникаетъ въ воду. Кромѣ того, дѣйствіе солнечныхъ лучей зависитъ отъ состоянія, въ какомъ находится поверхность озера: волненіе уменьшаетъ число поглощаемыхъ лучей; при совершенно гладкой поверхности озера поглощается больше лучей, а отражается меньше, чѣмъ при спокойномъ состояніи водной поверхности¹⁾. Наибольшей интенсивности инсоляція достигаетъ въ тропическихъ странахъ и на высокихъ мѣстахъ. Точно также потеря теплоты черезъ лучеиспусканіе происходитъ сильнѣе всего на высоко лежащихъ озерахъ и въ ясныя весеннія ночи.

Граница вліянія термическихъ причинъ для разныхъ промежутокъ времени или періодовъ въ настоящее время извѣстна лишь для озеръ умѣреннаго климата. Явленія эти слишкомъ запутаннаго характера, чтобы мы имѣли право перенести на тропическія или полярныя озера данныя, относящіяся къ озерамъ умѣреннаго пояса. Для умѣренныхъ озеръ мы имѣемъ слѣдующія величины: граница вліянія суточного періода лежитъ около 5—15 метровъ глубины, граница вліянія годового періода около 100—150 метровъ.

Что касается вліянія температурныхъ колебаній за цѣлый циклъ времени, выражаемыхъ общими климатическими измѣненіями и измѣряемыхъ, по Брюкнеру, приблизительно періодомъ въ 35 лѣтъ,—то можно замѣтить слѣдующее: температура глубокихъ слоевъ умѣренныхъ озеръ, благодаря смѣняющимся явленіямъ нагрѣванія и охлажденія сообразно времени года, каждый годъ дважды достигаетъ 4°. Слѣдовательно, какъ бы ни былъ холоденъ или тепелъ цѣлый рядъ годовъ, онъ не имѣетъ вліянія на глубокіе слои. Циклическія колебанія температуры происходятъ на большихъ глубинахъ лишь у полярныхъ озеръ и тропическихъ, хотя могутъ быть и у нѣкоторыхъ изъ умѣренныхъ, именно у тѣхъ, которыя расположены на границѣ области и потому въ отдѣльные годы могутъ представлять собою типъ тропическаго или полярнаго озера. Такія озера я называю *субъ-полярными* и *субъ-тропическими*.

Такъ, можетъ случиться, что въ результатъ ряда умѣренныхъ зимъ вода субъ-тропическаго озера не охладится до 4°. Солнечная же

теплота, проникающая до дна, въ такихъ случаяхъ будетъ поддерживать воду глубокихъ слоевъ на температурѣ нѣсколько выше 4°. Обратное явленіе имѣетъ мѣсто у субъ-полярныхъ озеръ.

Что касается чисто полярныхъ или тропическихъ озеръ, то нѣтъ никакого основанія предполагать существованіе нижней границы дѣйствія циклическихъ термическихъ вліяній. Большія глубины въ тропическихъ озерахъ въ жаркое лѣто становятся нѣсколько теплѣе. Если затѣмъ слѣдуетъ мягкая зима, то никакого охлажденія этихъ глубокихъ слоевъ не происходитъ. Лишь только при суровой зимѣ это охлажденіе будетъ имѣть мѣсто. Слѣдовательно теплыя лѣта обуславливаютъ небольшое поднятіе глубинныхъ температуръ; мягкія зимы не измѣняютъ ихъ, суровыя же, напротивъ, оказываютъ быстрое и замѣтное вліяніе.

Если аномалія въ погодѣ ведетъ къ уничтоженію слоистости, слѣдовательно производитъ охлажденіе тропическаго или нагрѣваніе полярнаго озера, то часто за нѣсколько дней до конца этого періода наступаетъ измѣненіе, возникающее всегда внезапно. Если же такая аномалія ведетъ, напротивъ, къ усиленію слоистости (нагрѣваніе тропическихъ, охлажденіе полярныхъ озеръ), то ея дѣйствіе проникаетъ въглубь медленно и постепенно. Она отражается на водѣ озера лишь незначительнымъ измѣненіемъ температуры, измѣненіемъ, совершающимся въ теченіе всего времени дѣйствія подобныхъ условий.

На основаніи нашихъ предыдущихъ выводовъ, приведемъ теперъ слѣдующія нормальныя, а также и случайныя, величины для глубинныхъ температуръ озеръ¹⁾.

	Температуры глубинъ:	
	нормальныя	случайныя.
Тропическія озера, типическія	> 4°	—
» » субъ-умѣренныя	> 4°	4°
Умѣренныя озера, субъ-тропическія	4°	> 4°
» » типическія	4°	—
» » субъ-полярныя	4°	< 4°
Полярныя озера, субъ-умѣренныя	< 4°	4°
» » типическія	< 4°	—

Раньше мы упоминали о томъ, что термическія вліянія замѣтны до весьма большихъ глубинъ, а теперь мы приведемъ этому доказательства. Возьмемъ въ качествѣ примѣра Женевское — субъ-умѣренное тропическое-озеро, глубина котораго превышаетъ 100 метровъ, на каковой глубинѣ лежитъ нижняя граница годовыхъ колебаній. Непосредственныя наблюденія показали, что самыя глубокіе слои въ этомъ

¹⁾ Ср. Ch. Soret, Archives de Genève, IV, 461, 1897.

¹⁾ Предполагается, что глубина озера—значительна.

озеръ въ теченіе года нагрѣваются или охлаждаются на $0,1^{\circ}$, $0,2^{\circ}$ и даже на $0,3^{\circ}$. Что же за причина такого колебанія температуры на глубинѣ?

а) Можетъ быть, передача тепла въ водѣ? Но дѣйствіе этого фактора равно нулю, потому что теплота въ теченіе года можетъ проникнуть такимъ образомъ на глубину не болѣе 6 метровъ.

б) Лучистая теплота солнца? Но и это дѣйствіе очень незначительно. Диатермичность воды позволяетъ проникнуть только очень небольшому количеству тепла и всего лишь на нѣсколько метровъ или декаметровъ (десятковъ метровъ) глубины.

в) Вліяніе собственной теплоты земного шара также ничтожно; слой воды мощностью въ 100 метровъ теплота этого источника могла бы нагрѣть въ теченіе года всего лишь на $0,004^{\circ}$.

г) Вліяніе механической конвекціи, имѣющей мѣсто при теченіяхъ, обусловливаемыхъ вѣтромъ, во всякомъ случаѣ значительнѣе. Встрѣчный токъ отъ сильнаго вѣтра опускается у наветреннаго берега вглубь, пока не встрѣтитъ слоя воды, обладающаго той же плотностью. Обѣ массы воды механически смѣшиваются. Тогда при извѣстныхъ благоприятныхъ условіяхъ происходитъ нагрѣваніе глубокихъ слоевъ. Если термическая слоистость развита слабо и разница въ плотностяхъ между отдѣльными слоями незначительна, то встрѣчный токъ погружается на большую глубину. Однако и въ этомъ случаѣ температурная разница между верхними и нижними слоями незначительна, и смѣшеніе ихъ массъ повлечетъ за собою лишь ничтожное повышеніе температуры глубинъ. Если температурныя различія значительны, то значительны будутъ и различія въ плотности. Тогда встрѣчный токъ не можетъ слѣдовательно проникнуть въ глубокіе слои.

д) Самымъ же важнымъ факторомъ, обусловливающимъ измѣненіе температуры глубинъ, являются гидростическіе выравнивающіе токи мутныхъ водъ. Водныя массы притоковъ, нагруженные взвѣшенными частицами, литторальныя воды, замутненныя береговымъ буруномъ, могутъ обладать большею плотностью, чѣмъ воды глубинныхъ областей озера; онѣ могутъ вслѣдствіе этого опуститься на дно озера еще прежде, чѣмъ онѣ освободятся тамъ отъ своихъ примѣсей черезъ отложеніе ихъ, которое происходитъ очень медленно,—онѣ придутъ въ термическое равновѣсіе съ окружающими ихъ водами: глубокіе слои озера такимъ образомъ нагрѣются. Температурная разница между поверхностной водой и водой большихъ глубинъ можетъ быть весьма значительной. Въ Женевскомъ озерѣ глубокіе слои имѣютъ температуру въ $4-5^{\circ}$. Вода главнаго притока, Роны, имѣетъ лѣтомъ температуру $10^{\circ}-15^{\circ}$, вода литторальной области $15-25^{\circ}$ С. Поэтому нагрѣваніе глубокихъ слоевъ опускающейся въ глубь поверхностной водой можетъ

быть весьма значительнымъ и можетъ быть замѣтнымъ на весьма большихъ глубинахъ, вплоть до самаго дна.

Эти явленія особенно ясно выступаютъ въ тропическихъ озерахъ. Въ полярныхъ озерахъ существуютъ какъ разъ обратныя условія со слѣдующимъ отклоненіемъ: дѣйствіе излученія отрицательно, т. е. оно сводится къ потерѣ теплоты, потому что излученіе водой теплоты въ пространство сильнѣе солнечнаго нагрѣванія. Излученіе водою, совершающееся по направленію къ зениту, всего сильнѣе, въ то время, какъ сила излученія солнца, зависящая отъ высоты стоянія этого небеснаго свѣтила надъ горизонтомъ, благодаря низкому стоянію солнца—весьма мала. Собственная теплота земного шара нѣсколько смягчаетъ это охлажденіе, но лишь въ ничтожной степени.

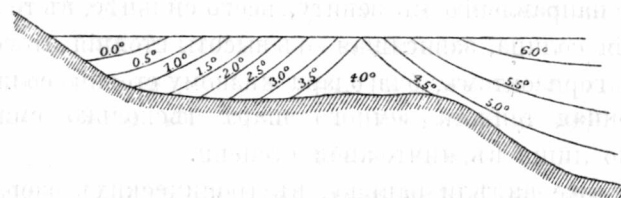
Какъ мы уже видѣли раньше, въ тропическихъ озерахъ господствуетъ всегда прямая слоистость, въ полярныхъ — обратная, въ то время, какъ въ умеренныхъ озерахъ оба типа слоистости чередуются другъ съ другомъ: лѣтомъ господствуетъ прямая, зимою — обратная слоистость. Разсмотримъ теперь одно своеобразное явленіе, которое до настоящаго времени наблюдалась только въ субъ-умеренныхъ тропическихъ озерахъ, какъ въ Женевскомъ озерѣ, въ Цезіо и т. д.; явленіе это состоитъ въ томъ, что прямая и обратная слоистости существуютъ одновременно рядомъ одна съ другой.

Женевское озеро принадлежитъ къ тропическимъ озерамъ; его главная масса воды, принадлежащая къ пелагической области, имѣетъ зимой температуру выше 4° , смотря по годамъ, отъ $4,5$ до $5,5^{\circ}$. Наоборотъ, въ нѣкоторыхъ частяхъ литторальной зоны и особенно въ узкой, мелкой части озера, называемой Малымъ Озеромъ (Petit Lac), въ суровыя зимы происходитъ образованіе льда непосредственно у берега или въ береговой области. Температура опускается здѣсь мѣстами ниже 4° , даже до 0° . Слѣдовательно, теплая вода открытаго озера и холодная—береговой области находятся въ тѣсномъ соприкосновеніи на поверхности. Соответственно съ этимъ пелагическая область показываетъ прямую термическую слоистость, литторальная же — обратную. Это явленіе понятно изъ представленной ниже схемы (фиг. 15). Ту линію, по которой вода до самой поверхности имѣетъ температуру 4° , мы назовемъ *термическимъ баромъ* или порогомъ. Этотъ термическій баръ непрерывно нарушается опусканіемъ тяжелой воды въ 4° на глубину; но тотчасъ же безостановочно возникаетъ новый порогъ, потому что холодная, расположенная у берега, вода, съ температурою ниже 4° , все время смѣшивается съ теплою водою открытаго озера. Итакъ, положеніе термическаго бара является постоянно довольно опредѣленнымъ.

Въ дѣйствительности онъ представляетъ собою вертикальную плоскость. На рисункѣ, ради большей ясности, термическій баръ пред-

ставленъ въ видѣ выходящаго къ водной поверхности хребта, ограниченнаго съ обѣихъ сторонъ падающими на обѣ стороны скатами.

Въ субъ-умѣренныхъ полярныхъ озерахъ должны быть на лицо обратныя условія, а именно весною, въ первый періодъ нагрѣванія. Температура литторальной зоны подымается тогда быстрее температуры пелагической области, остающейся холодной. Но примѣровъ этому пока еще не извѣстно.



Фиг. 15. Схема термического порога на береговомъ уступѣ.

5. Замерзаніе озеръ.

Водная масса озера, рассматриваемая какъ одно цѣлое, при продолжающемся нагрѣваніи, остается всегда жидкой и, слѣдовательно, сохраняетъ безъ измѣненія свое агрегатное состояніе; никогда вода озера не достигаетъ 100°C .—температуры неустойчиваго равновѣсія, при которой она переходила бы въ паръ ¹⁾. Не то мы видимъ при охлажденіи, когда температура водныхъ массъ можетъ опускаться до точки замерзанія и даже ниже ея, въ результатъ чего является измѣненіе агрегатнаго состоянія воды, т. е. превращеніе ея въ ледъ. Озеро замерзаетъ, покрывается льдомъ. Какъ полярныя, такъ и умѣренныя озера болѣе или менѣе подвергаются замерзанію и даже въ тропическихъ субъ-умѣренныхъ озерахъ, какъ только что было указано, наблюдается мѣстное замерзаніе.

Если въ озерѣ или только въ его части, отдѣленной отъ пелагической области термическимъ баромъ, наступаетъ обратная слоистость, то при продолжающемся охлажденіи температура поверхности падаетъ до 0° . Дальнѣйшая потеря теплоты ведетъ тогда къ образованію ледяныхъ кристалловъ. При замерзаніи мы различаемъ нѣсколько фазъ: во-первыхъ, подготовительный періодъ, во время котораго происходитъ подготовленіе къ замерзанію, во-вторыхъ—само замерзаніе, какъ процессъ и результатъ процесса, и въ третьихъ—таяніе льда.

Первая фаза: подготовительный періодъ. Замерзаніе озера можетъ происходить по двумъ совершенно различнымъ типамъ.

¹⁾ Въ области дѣйствующихъ вулкановъ встрѣчаются порою озера съ температурами, очень близкими къ точкѣ кипѣнія.

Типъ А. Общее замерзаніе при образованіи пластинчатого льда происходитъ, когда озеро спокойно. Какъ только температура поверхности озера упала до 0° , то при первой же дальнѣйшей сильной и быстрой потерѣ теплоты, на примѣръ въ ясную зимнюю ночь, когда происходитъ сильное излученіе теплоты, озеро покрывается равномернымъ, прозрачнымъ, тонкимъ, сплошнымъ пластомъ льда, постепенно утолщающимся. Въ одну ночь все озеро можетъ одѣться тонкимъ слоемъ такого льда. Если на слѣдующій день послѣ перваго замерзанія солнечная теплота не будетъ настолько сильной, чтобы растопить тонкій ледяной слой, то въ ближайшую холодную ночь произойдетъ его утолщеніе на счетъ новыхъ количествъ льда, примерзающаго къ нижней сторонѣ первоначальной ледяной корки. И тогда можно считать озеро замерзшимъ окончательно.

Типъ В. При волненіи происходитъ частичное замерзаніе съ образованіемъ отдѣльныхъ ледяныхъ массъ или льдинъ. Тогда на поверхности, все равно будетъ-ли то море, рѣка или озеро, появляются вездѣ одинаково ледяныя скопленія особаго строенія, которыя мы обозначаемъ англійскимъ словомъ «Pan-cake» (по французски—«glacçons-gâteaux»), по формѣ своей напоминающія «блины». Образовавшіяся отъ соединенія между собою ледяныхъ иголь, носимыхъ вѣтромъ то туда, то сюда, округлыя скопленія имѣютъ сначала въ своемъ поперечникѣ всего нѣсколько сантиметровъ. Движимыя волнами во всѣ стороны, они непрерывно сталкиваются другъ съ другомъ, но при этомъ не срастаются вмѣстѣ. Каждая изъ этихъ первоначально обособленныхъ глыбъ растетъ и развивается самостоятельно. Отъ безостановочныхъ взаимныхъ толчковъ и отъ продолжительнаго тренія края ихъ шлифуются, а ихъ форма все болѣе и болѣе приближается къ правильному кругу. При этомъ разбитыя ледяныя массы, а также новообразующіяся ледяныя иглы движеніями волнъ набрасываются на края льдинъ и тамъ примерзаютъ, образуя кругомъ по краю глыбы круглый ноздреватый ослѣпительно бѣлый выступ—валь. Благодаря этому вѣсь льдины увеличивается и она нѣсколько погружается въ воду, такъ что вся ея верхняя поверхность заливается хотя бы и тонкимъ слоемъ воды. Этотъ водяной слой колыхнется вмѣстѣ съ плашкой, служащей ему основаніемъ, и при этомъ ударяется о внутренній край вышеописаннаго валика, такъ что послѣдній все время претерпѣваетъ натискъ въ сторону периферіи льдины. И какъ бы сильно ни увеличивался объемъ глыбы, валь все время будетъ занимать на немъ краевое положеніе. При продолжающемся холодѣ глыба разрастается по всѣмъ направленіямъ. На своей нижней сторонѣ она растетъ, какъ всякая погруженная въ воду съ температурой въ 0° ледяная масса процессомъ кристаллизаціи льда; на боковыхъ же краяхъ прирастаютъ

новья ледяныя иглы, пока онѣ не будутъ раздроблены между двумя отдѣльными глыбами; на верхней сторонѣ замерзаетъ вода, покрывающая на половину погруженную льдину. Этотъ сложный процессъ роста льда, какъ видно, совершенно отличенъ отъ простаго роста льда при замерзаніи по первоначально разсмотрѣнному типу А, при которомъ нарастаетъ ледъ лишь съ нижней его поверхности. Ледяная глыба пріобрѣтаетъ наконецъ видъ плоско-выпуклой линзы, при чемъ выпуклую поверхность имѣетъ нижняя сторона, а плоскую—верхняя, ограниченная небольшимъ краевымъ валомъ. Вся глыба состоитъ изъ губчатой массы, ломкихъ ледяныхъ пластинокъ, наложенныхъ одна на другую. Она можетъ достигать въ своемъ поперечникѣ до метра и болѣе.

Ледяныя плахи продолжаютъ расти такимъ образомъ и дольше, пока держится морозная погода и пока находится въ движеніи вода. Но стоитъ наступить затишью, при которомъ поверхность озера приходитъ въ состояніе покоя, какъ тотчасъ глыбы начинаютъ смерзаться, и дальнѣйшее нарастаніе льда протекаетъ черезъ намерзаніе его уже по типу А.

Вторая фаза: окончательное замерзаніе. Послѣ закончившагося образованія первоначальной ледяной коры, послѣдняя утолщается на счетъ образованія новыхъ слоевъ на нижней ея поверхности. Но это утолщеніе, сначала идущее быстрымъ темпомъ, скоро замедляется вслѣдствіе ничтожной теплопроводности льда ¹⁾. Температура поверхности ледяного слоя опредѣляется непосредственнымъ соприкосновеніемъ съ холоднымъ воздухомъ, испареніемъ и излученіемъ. Нижніе же слои льда, напротивъ, находятся въ соприкосновеніи съ водою, температура которой только немногими десятками градуса выше нуля.

Образовавшійся ледяной слой, покрывающій озеро, обнаруживаетъ различныя интересныя явленія.

а) *Образованіе расщелинъ* или трещинъ во льду, вызываемое сокращеніемъ (сжатіемъ) льда, который при своемъ утолщеніи можетъ охлаждаться значительно ниже нуля. Трещины, проникающія въ ледъ отвѣсно, по всей его толщѣ, пробѣгаютъ по прямой или по слабо изогнутой линіи. Ихъ часто можно прослѣдить на сотни и даже тысячи метровъ; онѣ пересекаются между собою подъ разными углами, такъ что все ледяное поле бываетъ разбито на большіе участки. Въ моментъ образованія расщелинъ часто можно бываетъ слышать на далекое разстояніе трескъ, похожій на раскаты грома.

б) Равномѣрно возникающія боковыя *сжатія* (Pressungen) обуславливаются чередованіемъ между ночнымъ охлажденіемъ и дневнымъ

нагрѣваніемъ. Ночью ледъ подъ вліяніемъ охлажденія сжимается. Расщелины, раздѣляющія ледъ на отдѣльныя участки, расширяются; вода подымается между стѣнками трещинъ, замерзаетъ здѣсь и такимъ путемъ образуетъ между двумя старыми ледяными массами подушку изъ новаго льда. Днемъ, когда температура подымается, ледяныя глыбы расширяются опять и стремятся принять свои прежніе размѣры. Но вновь образовавшіяся ледяныя подушки препятствуютъ сближенію краевъ льда до прежняго положенія, до смыканія щели. Отъ этого возникаетъ боковой напоръ одной глыбы на другую, который можетъ быть очень значительнымъ. На совершенно замерзшемъ озерѣ ледъ при этомъ можетъ выдвигаться на берегъ. Въ серединѣ же озера вздымаются небольшіе гребни.

Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ боковое давленіе двухъ глыбъ достигаетъ такой силы, что выдавливаетъ наружу края трещины (щели), эти края вздымаются одинъ противъ другого и могутъ совсѣмъ опрокинуться. Ледъ нагромождается, образуя неправильныя массы, мѣшающія конькобѣжцамъ производить на льду свободныя передвиженія. Эти гребни изъ выпертыхъ наружу льдинъ возникаютъ изъ года въ годъ приблизительно на однихъ и тѣхъ же мѣстахъ, такъ что мѣста эти на иныхъ озерахъ получаютъ даже свои собственныя названія.

Образованіе трещинъ и валовъ (ломовъ) продолжается до тѣхъ поръ, пока держится холодъ и пока ледъ, находящійся въ прямомъ соприкосновеніи съ воздухомъ, продолжаетъ утолщаться. Прекращеніе этого явленія совпадаетъ съ выпаденіемъ снѣга, предохраняющаго ледъ отъ вліянія суточныхъ колебаній температуры.

в) *Измѣненіе структуры льда.* Поверхностные слои льда сжимаются подъ вліяніемъ холода, въ то время, какъ глубокіе находятся въ соприкосновеніи съ водою, имѣющей температуру 0°. Благодаря этому ледяная кора растрескивается на безчисленное множество вертикальныхъ неправильныхъ призмъ, напоминающихъ собою базальтовыя колонны; толщина ихъ колеблется отъ одного до нѣсколькихъ сантиметровъ. Этому раскалыванію, постоянно продолжающемуся, слѣдуетъ приписать то, что ледъ въ концѣ зимы бываетъ гораздо болѣе ломкимъ, чѣмъ въ началѣ періода замерзанія.

г) Во время мягкой зимы, когда частыя колебанія температуры переходятъ нуль, можно часто наблюдать, что посреди ледяной коры, покрывающей озеро, остаются открытыми полыньи. Вода въ этихъ мѣстахъ очень долго не замерзаетъ, даже и въ то время, когда ледяной покровъ по всему озеру утолщается. Происхожденіе такихъ отверстій на льду озера «Lac de Joux» я приписываю присутствію большихъ стай дикихъ утокъ, которыя тамъ систематически держатся и своими

¹⁾ Ср. Weber, цитир. выше, на стр. 84.

движеніями препятствуютъ замерзанію воды. Примѣнимо ли это объясненіе и въ другихъ мѣстахъ, остается невыясненнымъ.

Третья фаза: *исчезновеніе льда* (таяніе). Какъ только температура подымется выше нуля, ледъ на поверхности начинаетъ таять.

Одновременно теплота проникаетъ и внутрь льда, насколько это позволяетъ его теплопроводность, и здѣсь растопляетъ тотъ ледяной цементъ, который спаиваетъ между собою упомянутыя выше призмы. Ледъ теряетъ меньше тепла черезъ свою поверхность, нежели получаетъ; такимъ образомъ температура льда подымается до 0° . Съ этого момента онъ начинаетъ получать теплоту также и снизу, отъ водныхъ массъ, на которыхъ онъ плаваетъ, такъ какъ температура ихъ, благодаря притоку тепла снизу и лучистой теплотѣ, проникающей черезъ ледъ сверху, подымается нѣсколько выше 0° . Эти процессы утончаютъ ледъ, онъ дѣлается мокрымъ и рыхлымъ и распадается на глыбы. Какъ только между отдѣльными плахами покажется свободная, открытая вода, такъ сейчасъ же вѣтры вызываютъ въ нижележащихъ водныхъ слояхъ выравнивательные токи, поднимающіе наверхъ изъ глубинъ воду и нарушающіе, такимъ образомъ, обратную термическую слоистость. Благодаря этому, относительно теплая вода приходитъ въ соприкосновеніе со льдомъ. Теперь процессъ таянія идетъ очень быстро, и ледяной покровъ можетъ исчезнуть на озерѣ въ нѣсколько дней или даже въ нѣсколько часовъ.

Время замерзанія. Замерзаніе озера происходитъ лишь тогда, когда температура его поверхности опускается до 0° . Теплая лѣтняя вода охлаждается ниже 4° и такимъ образомъ превращается въ холодную зимнюю; лишь тогда устанавливается обратная термическая слоистость, обуславливающая возможность замерзанія. Замерзаніе озера, имѣвшаго лѣтомъ высокую температуру, наступаетъ въ силу этого лишь поздно зимой. При равенствѣ всѣхъ прочихъ условій охлажденіе, ведущее къ замерзанію, наступаетъ тѣмъ позднѣе, чѣмъ глубже озеро.

Рядомъ съ нормальнымъ зимнимъ замерзаніемъ озера нерѣдко наблюдается еще замерзаніе ранней весной; оно наступаетъ послѣ ясной холодной ночи вслѣдствіе сильной потери теплоты черезъ излученіе. Это явленіе, которое часто наступаетъ вслѣдъ за теплымъ днемъ, представляетъ собою ясное доказательство высокой термической прозрачности атмосферы, которая, благодаря повторнымъ зимнимъ конденсаціямъ, почти совершенно лишена водяныхъ паровъ.

Дата замерзанія и вскрытія. Нельзя не рекомендовать настоячиво производство отмѣтки точнаго времени замерзанія озера, т. е. образованія на немъ ледяного покрова, и его вскрытія. Эти наблюденія являются очень цѣннымъ матеріаломъ, служащимъ для сравненія не только условій погоды за разные зимы на одномъ и томъ же

мѣстѣ, но и для сравненія климатическихъ условій разныхъ странъ. Специально для характеристики суровыхъ и мягкихъ зимъ такія наблюденія неоцѣнны. Также и предѣлы областей, гдѣ бываютъ суровыя зимы, можно отлично опредѣлять временемъ замерзанія и освобожденія озера отъ льда.

Вліяніе замерзанія озера на атмосферу. Большое количество скрытой теплоты, освобождающейся при переходѣ воды изъ жидкаго состоянія въ твердое, смягчаетъ рѣзкость погоды въ критическій періодъ замерзанія. Обратно, при таяніи льда поглощается большое количество теплоты, задерживая наступленіе весны. Такимъ образомъ ледяной покровъ озера затягиваетъ осень и отдаляетъ весну. Зима начинается нѣсколько позднѣе и прекращается также позднѣе, чѣмъ это было бы, если бы озеро не замерзало.

6. Термическій балансъ.

Изъ распределенныхъ подходящимъ образомъ въ теченіе цѣлаго года термометрическихъ промѣровъ можно получить отправную точку для сужденія о термическомъ вліяніи озера на его окрестности. Для этого стоитъ лишь опредѣлить количество теплоты, поглощаемой и отдаваемой поверхностью его воды. Избранный для этого мною методъ заключается въ слѣдующемъ.

Берутъ серіи термометрическихъ промѣровъ въ различныя времена года въ пелагической области озера и интерполированіемъ, которое можно произвести съ достаточной точностью, вычисляютъ температуру воды черезъ каждые 10 метровъ глубины, слагая затѣмъ полученные температурныя величины. Такъ какъ вертикальный столбъ воды съ площадью поперечнаго сѣченія въ 1 кв. сант. и высотой въ 10 м. есть литръ, то, слѣдовательно, результатъ суммированія будетъ выражать число калорій, содержащихся въ столбѣ озерной воды въ 1 кв. сант. поперечнаго сѣченія. Разность между двумя тепловыми суммами, полученными въ результатѣ двухъ слѣдующихъ по времени одинъ за другимъ промѣровъ, выражаетъ въ калоріяхъ количество теплоты, которое теряетъ или приобретаетъ водная масса на каждый квадратный сантиметръ своей поверхности. Если эту разность раздѣлимъ на число дней, отдѣляющихъ одинъ рядъ наблюденій отъ другого, то получимъ количество ежедневной потери или прибыли теплоты. Простымъ увеличеніемъ полученной величины опредѣляется количество теплоты, теряемой или получаемой однимъ квадратнымъ метромъ или километромъ той пелагической области, гдѣ производились температурныя наблюденія. Такое вычисленіе даетъ достаточно правильные результаты. Если же желаютъ распространить выводы на всю

площадь озера, то необходимъ коррективъ, что дѣлаетъ вычисленіе не совсѣмъ точнымъ. Термическія условія пелагической и литторальной областей не бываютъ однородны; между ними существуетъ скорѣе значительная разница. Численно выразить условія литторальной области почти невозможно, хотя бы уже потому, что ея глубина измѣничива; кромѣ того, ея термическія условія мѣняются отъ одного пункта къ другому.

7. Термическое дѣйствіе, производимое озеромъ на протекающую черезъ него рѣку.

Всякій притокъ при своемъ впаденіи въ озеро имѣетъ свойственную ему въ данное время года температуру, различную для разныхъ рѣкъ. Выступающіе на днѣ озера подземные ключи обладаютъ температурой того твердаго слоя, черезъ который они подъ конецъ протекаютъ. Притоки, берущіе начало въ равнинѣ, сильно нагрѣваются лѣтомъ солнечною теплотою и сильно охлаждаются зимою при соприкосновеніи съ холоднымъ воздухомъ, а главное отъ потери теплоты черезъ лучеиспусканіе. Притоки, питаемые талою водою снѣжныхъ полей и глетчеровъ, лѣтомъ нагрѣваются немного на своемъ пути отъ ледника до озера; но если этотъ путь не очень длиненъ, то они остаются относительно холодными. Такъ каждый притокъ имѣетъ свою опредѣленную температуру. Смотри по плотности, обусловливаемой температурой, химическимъ составомъ и количествомъ суспендированныхъ твердыхъ частицъ, вода притока распространяется по поверхности озера, или опускается внизъ, до среднихъ его слоевъ, или вплоть до дна. Водныя массы различныхъ притоковъ смѣшиваются термически съ окружающей ихъ озерной водою, вмѣсто того, чтобы перемѣшиваться прямо между собою, какъ это имѣло бы мѣсто при отсутствіи озера.

Напротивъ того, истокъ озера, который можно разсматривать какъ непосредственное продолженіе притока, въ большинствѣ случаевъ слѣдуетъ по каналу, проводящему только поверхностную воду озера ¹⁾. Лѣтомъ вода въ истокѣ теплая, зимою—холодная. Какова бы ни была относительная величина притоковъ, ихъ температура не обусловливаетъ температуры истока; послѣдняя зависитъ только отъ температуры озера. Послѣ того, какъ рѣка протекла по озеру, она показываетъ температуру верхнихъ слоевъ озерной воды, а не температуру, которая соот-

¹⁾ Лишь тогда, когда сильный вѣтеръ дуетъ со стороны истока на озеро, т. е. когда выходъ истока лежитъ подъ защищеннымъ отъ вѣтра берегомъ, тогда поверхностная вода отгоняется отъ начала истока въ озеро. На поверхность, у нижняго конца озера, поднимаются тогда навѣрхъ и средніе слои воды, которые уносятся стокомъ.

вѣтствовала бы средней температурѣ отдѣльныхъ притоковъ.. То же самое относится къ подземнымъ стокамъ, съ той единственною разницею, что здѣсь температура сточной воды соответствуетъ температурѣ не поверхностной воды озера, а температурѣ того слоя, изъ котораго беретъ начало истокъ.

Глава пятая.

Оптика.

Оптическія явленія, относящіяся къ озеру, въ высокой степени разнообразны и сложны. Въ дальнѣйшемъ мы разсмотримъ лишь наиболѣе важныя изъ нихъ, а именно:

- 1) прозрачность воды и явленія, связанныя съ проникновеніемъ свѣта въ водную среду;
- 2) цвѣтъ воды;
- 3) явленія отраженія;
- 4) явленія преломленія (рефракціи) на поверхности воды.

1. Проникновеніе свѣта въ воду; прозрачность.

Какъ бы чиста вода ни была, она не обладаетъ совершенной прозрачностью. Двѣ различныя причины задерживаютъ свѣтовые лучи, а именно поглощаемость (абсорбція) и оккультация.

Поглощаемость постепенно уменьшаетъ колебанія свѣтовыхъ волнъ, по мѣрѣ проникновенія ихъ въ воду. *Гейнрихъ Вильдъ*, сперва въ Бернѣ, а затѣмъ въ С.-Петербургѣ, опредѣлилъ въ 1868 г. коэффициентъ поглощенія свѣта чистою водою ¹⁾. Для водяного слоя, толщиною въ 1 дециметръ, принимаемаго за единицу, онъ нашелъ для разныхъ температуръ слѣдующіе коэффициенты передачи (трансмиссіи):

при 24° — 0.91790

» 17° — 0.93968

» 6,2° — 0.94769

Слѣдовательно, изъ единицы свѣта, падающаго перпендикулярно на водную поверхность, пройдетъ черезъ слой воды толщиною въ 1 дм. при 24° только 0,92, а при температурѣ воды въ 6,2° — 0,95. Такимъ образомъ, холодная вода прозрачнѣе теплой.

Но прозрачность и въ холодной водѣ не абсолютна. Свѣтъ при своемъ проникновеніи въ воду очень быстро поглощается и гаснетъ. Только незначительная часть свѣта, падающаго на поверхность воды,

¹⁾ Н. Wild. Über die Lichtabsorbtion der Luft. Poggendorffs Annalen. Anhang LXXXIV, 182. Berlin, 1868.

въ состояніи бываетъ проникнуть черезъ слой ея въ нѣсколько метровъ толщины при температурѣ, напримѣръ, въ $6,2^{\circ}$. Вотъ эти количества: при мощности слоя въ 6 м. проникаетъ—0,04, въ 8 м.—0,01 и въ 10 м.—0,005 ч. первоначально падающаго свѣта.

На границѣ слоевъ съ различной температурой одна часть свѣта преломляется, другая гаснетъ или разсѣивается. Въ тѣхъ озерахъ, въ которыхъ способность преломленія лежащихъ другъ надъ другомъ слоевъ измѣняется весьма постепенно, это дѣйствіе во всякомъ случаѣ незначительно.

Словомъ *оккультация* я обозначаю задержку въ проникновеніи свѣта, производимую взвѣшенными въ водѣ непрозрачными тѣлами, которыя отражаютъ и поглощаютъ свѣтовые лучи. Суспендированныя въ водѣ твердыя частицы образуютъ какъ бы маленькіе экраны, изъ которыхъ каждый задерживаетъ распространеніе свѣтовыхъ волнъ. Если частицы эти многочисленны, то онѣ образуютъ какъ бы туманъ, плотность и мощность котораго можетъ быть такова, что онъ является абсолютно непроницаемымъ для свѣтовыхъ лучей.

Проникающій въ воду озера свѣтъ происходитъ отъ небесныхъ свѣтилъ. Онъ исходитъ или прямо отъ солнца, или отъ звѣздъ, или отражается отъ луны, атмосферы или выдающихся точекъ окружающей озера мѣстности. Всѣ эти различные источники свѣта посылаютъ лучи, уголъ паденія которыхъ зависитъ отъ угла высоты стоянія посылающаго ихъ предмета. Одна часть падающаго свѣта отражается зеркальной поверхностью озера, другая—преломляется при проникновеніи въ воду, третья—незначительная часть—при переходѣ въ болѣе плотную среду пропадаетъ.

Чѣмъ выше источникъ свѣта стоитъ надъ горизонтомъ, тѣмъ болѣе свѣта проникаетъ въ воду. Перпендикулярно падающіе лучи почти совершенно не испытываютъ отраженія, тогда какъ, напротивъ, падающіе почти горизонтально—цѣликомъ отражаются. Такъ же, какъ при тепловыхъ лучахъ (см. выше, стр. 96), количество проникающихъ въ воду лучей въ высокой степени зависитъ отъ состоянія поверхности озера. Если озеро спокойно, то уголъ паденія повсюду будетъ одинъ и тотъ же, лучи свѣта встрѣчаютъ повсюду одинаково гладкую поверхность. Если же по озеру ходятъ волны разной величины и въ разныхъ направленіяхъ, то въ этомъ случаѣ падающій свѣтъ наталкивается на безчисленныя поверхности различнаго наклона. Поэтому на спокойномъ озерѣ количество отраженныхъ лучей меньше, а преломляемыхъ больше, чѣмъ на озерѣ волнуемомъ. Слѣдовательно, при спокойномъ состояніи поверхности озера внутренность его слабѣе освѣщается, чѣмъ при ровной поверхности ¹⁾.

¹⁾ Ch. Soret, Archives de Genève, IV, 461, 1897.

Лучи свѣта, исходящіе отъ небесныхъ тѣлъ, если они не отражены зеркальной поверхностью воды, преломляются, проникаютъ въ воду и освѣщаютъ ее.

Какъ же дѣйствуетъ этотъ свѣтъ и что съ нимъ происходитъ? Если бы вода была физически чиста и совершенно прозрачна, то свѣтовые лучи проникали-бы въ ней дальше по направленію, полученному при преломленіи; лишь постепенно они гасли-бы благодаря поглощательной способности воды; поэтому сила свѣта при проникновеніи въ болѣе глубокіе слои постепенно бы ослабѣвала. На извѣстной глубинѣ практически всякій свѣтъ погасалъ-бы. Эту глубину мы называемъ *границей абсолютной темноты*. Такъ какъ поглощательная способность воды въ отношеніи свѣтовыхъ волнъ различной длины очень различна, то для абсолютной темноты, по отношенію къ волнамъ опредѣленной длины, т. е. для всякаго цвѣта спектра, существуетъ своя граница. Голубой свѣтъ проникаетъ наиболѣе глубоко, красный-же—наименѣе. Если озеро достаточной глубины, то ни одинъ изъ лучей свѣта не достигаетъ до его дна, и тогда дно кажется чернымъ. Точно также, благодаря своей прозрачности, должна казаться черною и покоящаяся на немъ вода, если она физически чиста.

Предметъ, опущенный въ физически чистую воду, остается видимымъ до тѣхъ поръ, пока онъ еще получаетъ столько свѣта, что отражаемые отъ него лучи на ихъ обратномъ пути къ поверхности воды не поглощаются всецѣло послѣдней и отчасти достигаютъ глаза наблюдателя. Видъ предмета, его очертанія остаются вполне ясными. Какъ скоро изображеніе погружаемаго предмета исчезаетъ изъ глаза, онъ достигаетъ границы видимости.

Но физически чистой воды въ природѣ не встрѣчается. Всякая вода содержитъ въ себѣ плавающія частицы, живыя или мертвыя органическія частицы и неорганическую пыль. Пылинки образуютъ какъ-бы маленькіе экраны, которые задерживаютъ при помощи оккультации проникновеніе свѣта и разсѣиваютъ его по всевозможнымъ направленіямъ.

Въ итогъ этого явленія мы имѣемъ:

1. Быстрое ослабленіе свѣта до полного исчезновенія. Граница абсолютной темноты лежитъ значительно менѣе глубоко, чѣмъ она лежала бы въ томъ случаѣ, если бы свѣтъ былъ поглощаемъ совершенно чистою водою;
2. Общее освѣщеніе воды разсѣяннымъ свѣтомъ, отражаемымъ поверхностями суспендированныхъ частицъ;
3. Исчезновеніе видимости погруженнаго предмета на незначительной сравнительно глубинѣ. Граница видимости лежитъ относительно близко къ поверхности. Суспендированныя въ водѣ пылинки

дѣйствуютъ точно такъ же, какъ взвѣшенная въ воздухѣ пыль или какъ капельки тумана; онѣ уменьшаютъ ясность контуровъ предметовъ и скрываютъ ихъ вполне, такъ какъ настолько густо расположены, что образованный ими экранъ совершенно непроницаемъ для свѣтовыхъ волнъ.

Такъ какъ вода постоянно содержитъ суспендированныя массы, то граница видимости, также какъ и граница абсолютной темноты, зависятъ столько же отъ поглощенія свѣтовыхъ лучей водою, насколько и отъ оккультаци.

Исслѣдуемъ теперь по порядку различные элементы прозрачности озеръ, а именно:

- а) границу абсолютной темноты,
- б) границу видимости,
- в) прозрачность воды.

а) Граница абсолютной темноты.

Вслѣдствіе физиологическихъ условій, съ которыми связано дыханіе человѣка, для насъ представляется невозможнымъ непосредственно проникать на большія озерныя глубины. Поэтому для опредѣленія границы абсолютной темноты, т. е. той крайней глубины, до которой можетъ проникать свѣтъ, мы вынуждены примѣнять косвенные методы. До настоящаго времени пользовались съ этой цѣлью слѣдующими приѣмами.

1. Опредѣляли *границу абсолютной темноты для человеческого глаза*, а именно въ горизонтальномъ направленіи, за невозможностью для насъ экспериментировать на глубинѣ. Этотъ путь былъ избранъ Л. Сорэ (L. Soret), председателемъ комиссіи Женевского физическаго общества ¹⁾. Опыты производились на Женевскомъ озерѣ въ темныя ночи. Источники свѣта различной силы погружали въ воду и затѣмъ посредствомъ наклоннаго зеркала опредѣляли горизонтальное разстояніе, на которомъ свѣтъ переставалъ быть видимымъ. При этомъ были получены слѣдующія максимальныя величины:

Источники свѣта.	Дата.	Граница абсолютной темноты.
Лампа-регуляторъ ²⁾ .	18 іюля 1884 г.	41,3 м.
Эдиссоновская лампочка ³⁾ .	15 марта 1886 г.	50,9 м.
Вольтова дуга.	8 августа 1885 г.	88,0 м.

Слѣдовательно, чѣмъ сильнѣе источникъ свѣта, тѣмъ на большемъ разстояніи лежитъ граница абсолютной темноты. Но при этомъ

¹⁾ Recherches sur la transparence des eaux du Léman. Mém. Soc. phys. Genève. XXIX, № 11, 1887.

²⁾ Съ растительнымъ масломъ.

³⁾ Силою въ 7 свѣчей.

можно спросить, — имѣютъ ли величины, полученныя въ горизонтальномъ направленіи, значеніе также и для вертикальнаго. Можетъ быть, верхніе слои воды содержатъ въ себѣ больше массъ органической пыли, чѣмъ глубокіе? Точно также верхніе слои во время лѣта теплѣе нижнихъ, слѣдовательно они болѣе поглощаютъ свѣта. Вліяніе этихъ двухъ фактовъ можетъ сказаться въ томъ отношеніи, что граница видимости лампы въ вертикальномъ направленіи лежитъ болѣе далеко, чѣмъ въ горизонтальномъ направленіи. Чтобы выяснитъ этотъ вопросъ, Женевская комиссія 15 марта 1886 г. предприняла одинаковые опыты въ обоихъ направленіяхъ на одномъ и томъ же мѣстѣ и съ одной и той же эдиссоновской лампочкой. Получился слѣдующій результатъ: граница абсолютной темноты въ горизонтальномъ направленіи — 50,9 м., въ вертикальномъ же — 59,8 м. Слѣдовательно, для горизонтальнаго направленія получилась меньшая величина; но разница не особенно значительна; въ нашемъ случаѣ эта разница достигаетъ всего 15% всей величины.

2. *Граница абсолютной темноты для зрительной способности животныхъ.* Мы не имѣемъ никакого основанія предполагать, что животныя воспринимаютъ совершенно тѣ же самыя колебанія свѣта, что и человѣческій глазъ; ихъ глазъ можетъ быть приспособленъ совершенно иначе, чѣмъ нашъ. Да, мы знаемъ даже изъ изслѣдованій лорда Эбери (сэра Джона Леббока), что муравьи весьма чувствительны къ ультрафіолетовымъ лучамъ, тогда какъ нашъ глазъ этихъ лучей не воспринимаетъ; въ то же время на красный, желтый и зеленый цвѣта они реагируютъ менѣе сильно. Слѣдовательно, вполне допустимо, что для водяныхъ животныхъ существуетъ другая граница абсолютной темноты, чѣмъ для человѣка. Поэтому для разрѣшенія этого вопроса мы должны бы установить, имѣются-ли въ глубокихъ частяхъ озера живыя существа съ глазами и именно съ нормально устроенными, или нѣтъ. При своихъ изслѣдованіяхъ швейцарскихъ озеръ я находилъ имѣющихъ глаза животныхъ на наибольшихъ глубинахъ въ 300 — 400 м. Напротивъ, Дрыбовскій на наибольшихъ глубинахъ Байкала встрѣтилъ животныхъ, многія изъ которыхъ имѣли зрительный органъ, уже значительно измѣненный. Съ другой стороны, даже на незначительныхъ глубинахъ мы находимъ совершенно слѣпыхъ животныхъ. Въ Женевскомъ озерѣ встрѣчается слѣпой *Niphargus* съ глубины въ 30 м., а также и слѣпой *Aselus Foreli* съ глубины въ 70 м. Окончательныя же заключенія по этому вопросу можно будетъ дать лишь въ то время, когда большее число изслѣдованій въ данной области разрѣшитъ эти кажущіяся противорѣчія. Впрочемъ, и при изученіи океанической глубоководной фауны мы наталкиваемся на совершенно аналогичныя противорѣчія.

3. *Нижняя граница образования растительных пигментов.* Дѣятельность хлорофилла у растений, т. е. редукція углекислоты, происходитъ лишь подѣ влияніемъ свѣта. Нижняя граница распространения зеленыхъ водяныхъ растений можетъ дать поэтому указаніе на границу дѣйствія проникающаго въ воду свѣта. Къ сожалѣнію, въ этомъ отношеніи до сихъ поръ производилось слишкомъ мало наблюденій. Напримѣръ, въ Женевскомъ озерѣ расположена нижняя граница распространения:

а) харовыхъ (роды *Chara* и *Nitella* среди литторальныхъ растений идутъ всего глубже) на глубинѣ въ 25 м.;

б) мховъ (*Hypnum Lemni*) на подводной моренѣ «Yvoire» 60 м. — единственный донный найденный фактъ;

в) живыхъ діатомей лѣтомъ 30 м., зимою—80 м. Такимъ образомъ и въ этомъ отношеніи для увѣренныхъ выводовъ нужно располагать большимъ числомъ наблюденій.

4. *Нижняя граница дѣйствія свѣта на фотографическую пластинку.* Для cadaго свѣточувствительнаго вещества существуетъ своя нижняя граница фотографическаго дѣйствія, т. е. граница, при которой свѣтъ уже не вызываетъ никакихъ химическихъ измѣненій въ данномъ веществѣ. До сихъ поръ производились опыты всего лишь съ двумя веществами:

а) при помощи хлористаго серебра, при чемъ экспозиція продолжалась цѣлый день или дольше, была опредѣлена (Ф. А. Форелемъ) граница абсолютной темноты для Женевского озера лѣтомъ 45 м., зимою—110 м., для Боденскаго—лѣтомъ 30 м., зимою нѣсколько меньше 50 м.

Полученныя величины ясно показываютъ измѣненія по временамъ года: зимою прозрачность болѣе, чѣмъ лѣтомъ. Прозрачность также сильно колеблется отъ озера къ озеру.

б) Пользуясь особенно свѣточувствительными пластинками Монкгоvena, съ іодо-бромистымъ серебромъ, Ж. Асперъ при экспозиціи, длившейся цѣлый день, нашелъ дѣйствіе свѣта¹⁾: въ Цюрихскомъ озерѣ 4 августа 1881 г. — до 100 м., въ Валлензее 3 октября 1891 г. до 140 м. Фоль и Сарасэнъ нашли въ Женевскомъ озерѣ при экспозиціи въ 10 минутъ²⁾:

16 августа . . .	1884 г.	113 м.	слабое	дѣйствіе.
16 » . . .	1884 »	237 »	никакого	»
23 сентября . .	1884 »	170 »	очень слабое	»
18 марта	1885 »	192 »	»	»
18 »	1885 »	235 »	никакого	»
? »	1886 »	240 »	слабое	»

¹⁾ G. Asper. Vierteljahrsschrift, Züricher Nat. Ges. XVI, 382. 1881.

²⁾ Pénétration de la lumière du jour dans les eaux du lac de Genève. Mem. Soc. Phys. XXIX № 13. Genf. 1884.

Такъ какъ опытъ въ мартѣ 1886 не совсемъ точенъ, границей абсолютной темноты для іодо-бромъ-серебряныхъ пластинокъ нужно считать глубину въ 200—240 метровъ.

Изъ всѣхъ этихъ фактовъ можно сдѣлать слѣдующіе выводы:

Существуетъ опредѣленная граница абсолютной темноты.

Граница эта различна для всякаго свѣточувствительнаго вещества.

Она измѣняетъ свое положеніе въ зависимости отъ времени года.

Она измѣняетъ также свое положеніе отъ озера къ озеру.

б) Граница видимости.

Подъ границею видимости подразумѣваютъ ту глубину, на которой опущенный въ воду при дневномъ свѣтѣ предметъ исчезаетъ изъ поля зрѣнія наблюдателя. Обыкновенный методъ, употребляемый для опредѣленія этой границы, заключается въ томъ, что погружаютъ въ воду бѣлый кругъ и опредѣляютъ, на какой глубинѣ онъ исчезаетъ. Для краткости я называю этотъ методъ именемъ патера А. Секки¹⁾, который пользовался имъ съ научной точностью въ Средиземномъ морѣ въ 1865 г.²⁾

Какъ уже говорилось выше, въ основѣ факта исчезновенія освѣщеннаго предмета лежатъ двѣ причины: съ одной стороны—поглощеніе свѣта прозрачной средой, съ другой —разсѣяніе (оккультация) свѣта производимое маленькими пылинками, находящимися въ водѣ и образующими непрозрачныя экраны. Дѣйствіе этихъ обѣихъ причинъ въ опытахъ съ дискомъ доказывается слѣдующими соображеніями: при ослабленіи свѣта поглощеніемъ контуръ бѣлаго круга до самаго исчезновенія его изъ глазъ остается рѣзкимъ. Исчезновеніе наступаетъ лишь постепенно, и моментъ исчезновенія круга не можетъ быть съ точностью опредѣленъ, потому что освѣщенный кругъ при погруженіи въ воду затмевается все болѣе и болѣе. Онъ пропадаетъ совершенно тогда, когда количество лучей, посылаемыхъ имъ, такъ ничтожно, что на глазъ они не производятъ уже никакого впечатлѣнія. Поэтому граница видимости, поскольку она зависитъ отъ поглощательной способности воды, измѣняется въ прямой зависимости отъ силы освѣщенія. Напротивъ, наблюдаемое исчезновеніе круга изъ поля зрѣнія вслѣдствіе

¹⁾ A. Secchi. Esperienze per determinare la trasparenza del mare. In Q. Cialdi, Sul moto ondoso del mare. p. 258. Roma, 1866.

²⁾ Ради полноты упомянемъ, что этотъ методъ былъ систематически примѣняемъ уже въ 1858—1860 г.г. въ Кварнеро д-ромъ Ios. Lorenz Ritter von Liburnau. (Physikalische Verhältnisse und Organismenverteilung im quarnerischen Golf. Sitzungsber. K. K. Akad. Wissensch. Wien, 1863).

оккультации наступает сразу. Пока расположенны одна надъ другой пылинки, собирающія свѣтовые лучи, не представляютъ собою сплошной стѣны,—до тѣхъ поръ освѣщенный предметъ можно еще различать. Но лишь только экранъ изъ пыли дѣлается непроницаемымъ, бѣлый кругъ пропадаетъ. Очертанія освѣщенного предмета, подробности его структуры постепенно исчезаютъ въ туманѣ изъ пыли. Сила освѣщенія играетъ при этомъ совершенно подчиненную роль.

Но возникаетъ еще вопросъ, не обязано-ли исчезновеніе освѣщенного предмета и третьей причинѣ—преломленію лучей.? Еще въ 1870 г. Гагенбахъ коснулся этого вопроса. Въ 1896 г. В. Шпрингъ¹⁾ показалъ, что содержащаяся въ бунзеновской трубкѣ²⁾ вода можетъ совершенно потерять свою прозрачность, если ее различно нагрѣвать, благодаря чему въ трубкѣ будутъ крутиться струйки воды разной температуры. Въ этомъ случаѣ преломленіе, имѣющее мѣсто на границѣ слоевъ различной плотности, является настолько сильнымъ, что водная масса, бывшая прозрачною при равномерной температурѣ, становится совершенно непрозрачною. Но я, однако, имѣю право спросить, могутъ-ли быть перенесены результаты остроумныхъ и искусныхъ опытовъ Шпринга также и въ условія озера со спокойной водой? Конечно, водная масса озера обыкновенно бываетъ термически разслоена; но, вѣдь, слои находятся въ состояніи устойчиваго равновѣсія. Коль скоро это равновѣсіе нарушается, тогда начинаютъ дѣйствовать выравнивательные крупныя токи, а не мелкія струйки, и потому перемѣшиванія водъ съ разной способностью преломленія совершенно не происходитъ, хотя это и могло бы повлечь, благодаря преломленію, полное исчезновеніе свѣта. Если бы было правильнымъ объясненіе Шпринга, по которому внутреннее освѣщеніе озера должно основываться на разной способности преломленія водяныхъ массъ различныхъ температуръ, то въ этомъ случаѣ, по причинѣ правильной температурной слоистости, освѣщеніе при отвѣсно падающихъ лучахъ было бы равно нулю, и оно усиливалось бы по мѣрѣ того, какъ лучи уклонялись бы отъ вертикальнаго направленія. Столь значительной разницы въ прозрачности воды въ озерахъ однако не наблюдается. Поэтому мы вправѣ безъ дальнѣйшихъ разсужденій не считаться со свойствомъ преломляемости, какъ причиною исчезновенія освѣщенного предмета.

Та глубина, которая совпадаетъ съ границею видимости, измѣняется смотря по времени года и по мѣсту наблюденія отъ озера къ

¹⁾ Archives de Genève. I, 201. 1896.

²⁾ Длинная металлическая трубка, оба конца которой закрыты стеклянными пластинками.

озеру. Слѣдующія данныя могутъ иллюстрировать эти колебанія по сезонамъ:

	Женевское озеро.	Боденское озеро ¹⁾ .
Январь	15,5 м.	6,6 м.
Февраль	14,7 »	6,5 »
Мартъ	13,0 »	6,7 »
Апрѣль	10,5 »	5,6 »
Май	8,3 »	5,1 »
Іюнь	7,4 »	4,8 »
Іюль	6,8 »	4,3 »
Августъ	7,1 »	4,4 »
Сентябрь	7,5 »	4,1 »
Октябрь	9,1 »	4,7 »
Ноябрь	10,8 »	4,8 »
Декабрь	13,7 »	6,7 »

Зимою вода въ субъ-альпійскихъ озерахъ яснѣе, чѣмъ лѣтомъ. Относится-ли также это замѣчаніе къ озерамъ и прочихъ областей, отвѣтить на этотъ вопросъ, при современномъ положеніи нашихъ знаній, не представляется возможнымъ.

Но существуютъ также и *районныя колебанія* границы видимости въ одномъ и томъ же озерѣ. Если данныя о границѣ видимости, полученные въ пелагической области обоихъ изслѣдованныхъ въ этомъ отношеніи озеръ, мы расположимъ по мѣстонахожденію пунктовъ наблюденія относительно ихъ разстояній отъ устьевъ главнаго притока и мѣста выхода истока, то увидимъ, что прозрачность озерной воды увеличивается по мѣрѣ удаленія отъ устья притока.

Женевское озеро.		Боденское озеро.	
Meillerie	9,0 м.	Bregenz	3,3 м.
Pully	9,7 »	Lindau	3,4 »
Evian	10,4 »	Friedrichshafen	5,2 »
Morges	10,1 »	Romanshorn	6,2 »
Thonon	11,3 »	Konstanz	8,7 »
Nernier	11,0 »		

Обнаруживаются также и чисто мѣстныя колебанія: литторальная вода мутнѣе, т. е. менѣе прозрачна, чѣмъ пелагическая; прозрачность передъ мысомъ больше, чѣмъ въ заднемъ концѣ бухты. Непрозрачность усиливается по мѣрѣ приближенія къ устью отводнаго городского канала.

Въ основѣ этихъ измѣненій прозрачности лежатъ, вѣроятно, двѣ причины.

¹⁾ Cp. Schriften des Vereins für die Geschichte des Bodensees. XXII. 33. Lindau, 1893.

1. Мутная, отягощенная иломъ, вода притоковъ смѣшивается съ озерною водою. Это смѣшеніе можетъ происходить однимъ изъ слѣдующихъ способовъ:

а) Если вода притока легче озерной ¹⁾, то она распространяется по поверхности озера и, образуя здѣсь очень плоскій конусъ рѣчной воды, относится теченіями на болѣе или менѣе далекія разстоянія.

б) Если вода притоковъ тяжелѣе таковой же озера, напримѣръ, благодаря своей болѣе низкой температурѣ или вслѣдствіе отягощенія взвѣшенными веществами, то часть ея, положимъ, вслѣдствіе волненія, смѣшивается съ озерной водой у устья. Но какъ бы ни были малы эти количества рѣчной воды и какъ бы въ то же время ни были велики массы озерной, съ которой она смѣшивается,—этого бываетъ довольно, чтобы уменьшить прозрачность воды озера въ значительной степени.

2. Съ другой стороны, возможно замутненіе воды и вслѣдствіе значительнаго развитія микроорганизмовъ или микробовъ въ верхнихъ слояхъ озера. Эти организмы развиваются лѣтомъ въ гораздо большемъ количествѣ, чѣмъ зимой.

Какъ въ Женевскомъ, такъ и въ Боденскомъ озерѣ мнѣ пришлось наблюдать на всѣхъ станціяхъ колебанія границы видимости въ зависимости отъ времени года, а также въ зависимости отъ мѣста въ теченіе каждаго сезона; это обстоятельство даетъ, какъ мнѣ кажется, право предполагать, что оба фактора дѣйствуютъ одновременно, причемъ районныя или мѣстныя колебанія слѣдуетъ приписать главнымъ образомъ притокамъ, временныя же—преимущественно неравномѣрному развитію органической жизни. Слѣдовало бы произвести соотвѣтственныя наблюденія и въ другихъ, не субъ-альпійскихъ, озерахъ. Можетъ быть, при другихъ условіяхъ будутъ получены и другіе результаты, а вмѣстѣ съ тѣмъ и иные выводы.

Прозрачность воды отъ озера къ озеру можетъ представлять значительныя различія. Обратимся опять къ нашимъ двумъ большимъ озерамъ, такъ какъ въ отношеніи ихъ мы располагаемъ строго сравнимыми данными, полученными примѣненіемъ одинаковыхъ методовъ. Средняя граница видимости въ Женевскомъ озерѣ находится на глубинѣ 10,2 м., въ Боденскомъ—на 5,4 м.; разница достигаетъ здѣсь почти 100%.

Какъ же объяснить подобную разницу? Прежде, чѣмъ мы располагаемъ сравнимыми данными для большого числа озеръ, рано давать

¹⁾ По моимъ наблюденіямъ на Женевскомъ озерѣ, вода притоковъ равнины лишь во время весеннихъ мѣсяцевъ теплѣе, а слѣдовательно и легче, озерной воды. Въ озерахъ же, вода которыхъ имѣетъ въ растворѣ много солей, отношенія могутъ быть совершенно иными.

общее объясненіе. Мнѣ хотѣлось бы обратить вниманіе на тотъ фактъ, который находится, повидимому, въ связи съ различіемъ прозрачности воды. Я говорю про собственный цвѣтъ воды. Зеленныя озера, какъ, напримѣръ, Боденское озеро или Галльштаттское ¹⁾, менѣе прозрачны, чѣмъ голубыя озера, каковы Женевское озеро или Гардское. По изслѣдованіямъ А. Гарбини ²⁾ лазоревая вода послѣдняго озера прозрачна въ среднемъ до глубины въ 15,0 м., т. е. въ немъ граница видимости лежитъ на 5 м. глубже, чѣмъ въ Женевскомъ.

Приведу нѣсколько крайнихъ предѣловъ видимости.

Минимумъ, всего лишь въ нѣсколько дециметровъ глубины, наблюдается въ водѣ, взмученной во время волненія надъ илистымъ дномъ.

Максимальныя величины мы имѣемъ:

въ Галльштаттскомъ озерѣ 8,8 м. (Лоренцъ фонъ Либурнау),

въ Боденскомъ 11,5 м. (Комиссія для изслѣдованія Боденскаго озера),

въ Женевскомъ 21,5 м. (Ф. А. Форель),

въ Бенако 21,6 м. (А. Гарбини),

въ Таное (Калифорнія) 33,0 м. (И. Леконтъ).

Въ двухъ горныхъ озерахъ мнѣ удалось констатировать еще большія величины границы видимости въ горизонтальномъ направленіи, пользуясь методомъ опредѣленія разстоянія погруженнаго круга въ моментъ его исчезновенія при помощи находящагося въ водѣ зеркала, наклоненнаго подъ угломъ въ 45°. Такимъ образомъ я нашелъ границу видимости на поверхности Голубого озера (der Blaue See) у Кандерстега въ Бернскомъ Оберландѣ въ 34 м., а въ Gouille Perse при Arolla въ Валлисѣ даже выше 60 м. ³⁾. Это и есть наибольшая величина изъ всѣхъ, полученныхъ доселѣ прямымъ наблюденіемъ. Но оба эти опредѣленія, сдѣланныя въ горизонтальномъ направленіи, конечно, не могутъ считаться совершенно сравнимыми съ опредѣленіями въ вертикальномъ направленіи: въ горизонтальномъ направленіи лучъ свѣта проникаетъ черезъ водяной слой одинъ лишь разъ, въ вертикальномъ же, напротивъ, дважды: одинъ разъ, чтобы освѣтить погруженный предметъ, другой же—чтобы достигнуть отъ освѣщеннаго круга обратно до глаза.

¹⁾ Граница видимости въ Галльштаттскомъ озерѣ лежитъ въ среднемъ, по Лоренцу, на глубинѣ 5,5 метра. Mitteil. d. K. K. geogr. Ges. Wien, 1898.

²⁾ A. Garbini, Alcune notizie fisiche sulle acque del Benaco. Rivista Geog. ital. IV, 1—3. Florenz, 1897.

³⁾ Такъ какъ все озеро имѣетъ лишь 60 м. длины, то я не могъ достигнуть границы видимости; но, судя по ясности изображенія, надо думать, что данная граница лежитъ между 80 и 100 метрами.

окраску, какою отличаются Гардское, Женевское и Ахенское озера, Голубое озеро Кандерстега, озеро Ароллы; въ большинствѣ случаевъ голубая окраска имѣетъ зеленоватый оттѣнокъ. Наиболѣе часто встрѣчаются тона: зеленовато-голубой, зеленоватый, желтовато-зеленый или зеленовато-бурый.

Зеленая и бурая окраска озерной воды въ настоящее время объясняются двояко:

а) По теоріи Шпринга. Шпрингъ установилъ, что примѣсь крайне тонкихъ прозрачныхъ мелкихъ частичекъ превращаетъ синюю окраску воды при проходящемъ свѣтѣ въ зеленую ¹⁾.

б) По теоріи Виттштейна, зеленоватая окраска обусловливается содержаніемъ въ водѣ синяго цвѣта органическихъ кислотъ—гуминовой и ульминовой ²⁾.

Но такъ какъ вода зеленыхъ озеръ не измѣняетъ своего цвѣта даже послѣ пропусканія черезъ шамберлановъ фарфоровый фильтръ, то я скорѣе склоненъ принять объясненіе Виттштейна. Смѣшиваніемъ торфяной воды съ голубой водой Женевского озера мнѣ удалось получить всѣ тона зеленоватыхъ и желтыхъ озеръ; когда торфяная вода примѣшивалась въ избыткѣ, то получались бурые и черные тона торфяныхъ и болотныхъ озеръ.

Недавно опубликованная работа В. Шпринга по вопросу объ окраскѣ озеръ ³⁾ является важнымъ шагомъ впередъ въ этомъ отношеніи. Въ этой работѣ Шпрингъ констатируетъ, что какъ соли желѣза (коллоидальный гидратъ окиси желѣза), такъ и органическія (гумусовыя) кислоты въ озерахъ и рѣкахъ содержатся въ гораздо большемъ количествѣ, чѣмъ это требуется для того, чтобы голубой цвѣтъ ихъ воды превратить въ зеленый, желтоватый или бурый. Затѣмъ Шпрингъ наблюдалъ взаимодѣйствіе между окисью желѣза и гумусовыми веществами. Эти послѣднія редуцируютъ окись желѣза, и при этомъ осаждаются хлопьевидные, черноватые сгустки. Такая реакція наступаетъ только въ присутствіи солнечнаго свѣта. Образующаяся при этомъ закись желѣза обладаетъ гораздо болѣе слабой способностью окрашивать, чѣмъ его окись. Слѣдовательно въ отношеніи окраски воды это соединеніе должно быть рассматриваемо, какъ индифферентное тѣло. Если вода содержитъ въ растворѣ кислородъ, то окись желѣза возобновляется и вновь можетъ воздѣйствовать на гумусовыя вещества, пока они совершенно не выпадутъ изъ раствора.

¹⁾ Bull. Acad. R. Belgique. V, 55. Brüssel, 1883.

²⁾ Poggendorffs Ann. XLV, 474. 1881.

³⁾ Sur le rôle des composés ferriques et des matières humiques dans la coloration de l'eau. Archives des Sc. phys. V, 5. Genève, 1898.

Такимъ образомъ принятіемъ факта чередующихся реакцій трудный вопросъ о цвѣтѣ воды въ озерахъ получаетъ удовлетворительное разрѣшеніе.

Итакъ, цвѣтъ чистой озерной воды показываетъ всѣ переходы отъ небесно-голубого, черезъ зеленый, желтый и бурый къ черному.

Но основной цвѣтъ воды можетъ также измѣняться благодаря суспендированной цвѣтной пыли. Въ качествѣ примѣровъ приведемъ:

а) минеральныя составныя части мутной воды притока придаютъ сѣрый, желтоватый или бурый тонъ;

б) такъ же дѣйствуютъ частицы ила, взмучиваемыя волненіемъ у илистаго берега;

в) органическія частицы, въ особенности цвѣточная пыльца хвойныхъ, сгоняемая поверхностными теченіями въ желтыя на водѣ пятна, извѣстныя подъ названіемъ «озернаго цвѣта» (Fleur du lac, Seebülte, Schwefelregen).

г) зеленныя водоросли (*Pandorina morum* въ Женевскомъ озерѣ), бурныя (*Beggiatoa roseopersicina* въ озерѣ де-Бре), лилово-красноватыя (*Oscillatoria rubescens* въ Муртензее, *Clathrocystis aeruginosa* въ Пленскомъ озерѣ) и т. д. могутъ при благопріятныхъ обстоятельствахъ развиваться въ такихъ чудовищныхъ количествахъ, что придаютъ даже по временамъ мѣстное окрашиваніе озеру. Появленіе такихъ водорослей, часто столь рѣзко окрашивающихъ пелагическую область нашихъ озеръ, извѣстно также подъ названіемъ «цвѣтенія воды» (Seebülhen).

3. Отраженіе отъ поверхности.—Кажущаяся окраска.

Если мы будемъ рассматривать озеро подъ косымъ угломъ, то благопріятно расположенные предметы отразятся на его поверхности. Чѣмъ больше уголъ паденія, тѣмъ больше будетъ лучей отраженныхъ и тѣмъ меньше преломленнаго свѣта проникнетъ въ воду ¹⁾. Поверхность озера, рассматриваемая съ берега, кажется окрашенной, но только не въ тонахъ озерной воды, а въ тонахъ расположеннаго противъ наблюдателя ландшафта. Когда озеро спокойно и поверхность его представляетъ зеркальную гладь, тогда отраженіе бываетъ очень совершеннымъ. Отраженія возвышенныхъ предметовъ противоположнаго берега, а также расположеннаго надъ нимъ небосвода не искажаются замѣтнымъ образомъ. Конечно, озерная поверхность, какъ часть земной, представляетъ собою выпуклое зеркало, но радіусъ ея кри-

¹⁾ Угломъ паденія, какъ извѣстно, называютъ уголъ, образованный падающимъ лучемъ съ перпендикуляромъ, возстановленнымъ къ отражающей поверхности.

визны настолько великъ, что производимое на выпуклости искаженіе ускользаетъ отъ наблюденія. Искаженіе изображеній лишь тогда дѣлается явнымъ, когда отражаемые предметы возвышаются надъ горизонтомъ всего только на нѣсколько минутъ. Предметы въ этомъ случаѣ представляются сжатыми, уменьшенными до половины или до трети своей высоты. Эти, такъ называемыя «Дюфуровскія» изображенія (Dufoursche Bilder) возникаютъ при отраженіи на слабо выпуклой зеркальной поверхности.

Какъ только поверхность озера, подъ вліяніемъ вѣтра или какой-либо иной механической причины, даетъ даже самую небольшую рябь, то отраженіе происходитъ при совершенно иныхъ условіяхъ. Каждая волна представляетъ собою цилиндрическое, въ волновомъ гребнѣ выпуклое, а въ волновой долинѣ вогнутое, зеркало, которое при значительномъ углѣ паденія искажаетъ видъ отражаемыхъ предметовъ, давая уменьшенныя по высотѣ изображенія. Вогнутая часть волны даетъ обратное, а выпуклая—прямое изображеніе. Каждое отраженіе представляетъ собою уменьшенную картину всего поля зрѣнія, всю глубину ландшафта отъ горизонта до зенита. Но эти изображенія ясно видны лишь при равномѣрныхъ, медленно катящихся, округлыхъ волнахъ. Но какъ только волны начинаютъ катиться быстрѣе и линія ихъ профиля не соотвѣтствуетъ уже вполнѣ трохондѣ, а имѣетъ несимметрическую форму, — изображенія дѣлаются запутанными и неясными, хотя они всегда образуются по однимъ и тѣмъ же, указаннымъ выше, законамъ.

Слѣдовательно, каждая волна даетъ двойное изображеніе освѣщенныхъ предметовъ, находящихся противъ наблюдателя въ плоскости отраженія, перпендикулярной къ зеркальной поверхности водъ. Если отражаемый въ водѣ предметъ обладаетъ сильнымъ свѣтовымъ блескомъ, какъ напримѣръ, солнце, луна, планеты Венера и Юпитеръ, то каждое изображеніе ихъ воспринимается глазомъ въ видѣ блестящей искры. А такъ какъ волны никогда не бываютъ совершенно правильными, то искрящаяся полоса расширяется вправо и влѣво отъ плоскости отраженія, такъ какъ и расположенныя съ боковъ волны, нѣсколько сдвинутыя съ главной плоскости отраженія, также порождаютъ изображенія. Смотря по формѣ и направленію волнъ, эта полоса, будучи болѣе или менѣе широкою, бываетъ сдвинута то вправо, то влѣво отъ плоскости отраженія. Если отражающійся предметъ даетъ мало свѣту, каковъ напримѣръ, небесный сводъ, бѣлое или сѣрое облако, лежащая на противоположномъ берегу гора, то отраженіе уже нельзя ясно видѣть съ нѣкотораго разстоянія. Но подобныя отраженія тѣмъ не менѣе содѣйствуютъ образованію извѣстной окраски, приобретаемой озеромъ во время волненія. Тонъ этой окраски есть

результатъ тоновъ всѣхъ отраженныхъ въ озерѣ окрашенныхъ предметовъ и ихъ относительной свѣтовой силы. Когда волны очень широки, но высота ихъ незначительна, то отраженія получаютъ очертанія освѣщенныхъ предметовъ, но все-таки и они кажутся деформированными въ вертикальномъ направленіи и вытянутыми въ длину. Отраженіе каждой свѣтящейся точки или круга имѣетъ видъ вытянутого въ длину по плоскости отраженія эллипса¹⁾. Когда же волны становятся выше и менѣе правильными, то окрашенный свѣтъ разсѣивается диффузно, какъ будто-бы онъ отражался отъ матовой поверхности. Въ результатъ получается однообразный тонъ. Теперь уже не видно никакихъ слѣдовъ ясныхъ или разнообразныхъ изображеній.

Когда же, наконецъ, водяные валы настолько высоки, что гребни волнъ образуютъ съ свѣтовыми лучами уголъ, допускающій преломленіе, то часть свѣта, отданнаго самою водою, достигаетъ глаза, соединяется тамъ съ изображеніемъ отраженія, обуславливая общее цвѣтное впечатлѣніе, которое, смотря по природѣ озера, можетъ быть болѣе голубого, зеленоватаго, буроватаго или черноватаго оттѣнка, даже сѣраго или желтоватаго, если озерная вода загрязнена аллювіемъ притоковъ. Когда одновременно надъ озеромъ разстилается чистое голубое небо, то голубой тонъ его отраженія комбинируется съ собственнымъ цвѣтомъ озера. Въ результатъ получается превосходный лазурный тонъ, если озеро принадлежитъ къ типу синихъ озеръ, или зеленоватый (аквамариный), если озеро относится къ типу озеръ зеленыхъ.

4. Явленія преломленія и отраженія.

Свѣтовые лучи, проходящіе вблизи поверхности воды и почти ей параллельные, пронизываютъ воздушные слои, которые обыкновенно бываютъ стратифицированы какъ въ термическомъ, такъ и въ гигрометрическомъ отношеніи. Температура воздуха по большей части отличается отъ температуры поверхностнаго слоя воды. Самые нижніе слои воздуха вслѣдствіе своего соприкосновенія съ водной массой или нагрѣваются, или охлаждаются. Въ томъ случаѣ, когда болѣе холодные слои находятся внизу, а болѣе теплые сверху, тогда атмо-

¹⁾ I. Piccard, Phénomènes de reflexion à la surface des nappes d'eau. Archives de Genève, XXI. 481. 1889.

сфера показывает прямую термическую слоистость, въ противномъ же случаѣ—обратную ¹⁾.

Далѣе, вода отдаетъ воздуху пары, такъ что нижніе слои атмосферы, непосредственно соприкасающіеся съ водою, обыкновенно бываютъ совершенно или почти что совершенно насыщены ими. По мѣрѣ же удаленія отъ водной поверхности содержаніе водяныхъ паровъ дѣлается меньше. Температура и содержаніе водяныхъ паровъ весьма замѣтно вліяютъ на коэффициентъ преломленія воздуха и именно такимъ образомъ, что этотъ коэффициентъ будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ теплѣе и сырѣе воздухъ. Это влечетъ за собою отклоненіе свѣтового луча съ его прямого направленія въ случаѣ наличности термической и гигрометрической слоистостей воздуха. Преломленіе луча свѣта, проходящаго черезъ слои, которые отличаются одинъ отъ другого величиною влажности, бываетъ малозамѣтнымъ, между тѣмъ это преломленіе можетъ быть весьма значительнымъ, если слоистость обусловливается температурною разницею. Поэтому лишь это послѣднее явленіе и заслуживаетъ ближайшаго разсмотрѣнія.

Вслѣдствіе свѣтового преломленія, какъ поверхность озера, разсматриваемая подъ очень острымъ угломъ, такъ и всякій предметъ, лишь немного возвышающійся надъ водною поверхностью, кажется сдвинутымъ съ его настоящаго мѣста и искаженнымъ по формѣ.

Всѣ явленія рефракціи могутъ быть сведены къ двумъ типамъ, именно:

а) *рефракція надъ теплою водою*. Вода теплѣе воздуха; слои атмосферы, находящіеся въ соприкосновеніи съ водою, относительно холодны и потому имѣютъ обратную слоистость.

¹⁾ Я употребляю здѣсь тѣ же самыя выраженія, какими пользовался при опредѣленіи слоистости воды (стр. 85). *Прямая слоистость* есть та слоистость, при которой теплыя массы, какъ болѣе легкія, располагаются надъ холодными, болѣе тяжелыми; *обратная же* — при которой холодныя массы покоятся на теплыхъ. При этомъ мнѣ хорошо извѣстно, что такая, употребляемая мною, терминологія находится въ противорѣчій съ обычнымъ въ метеорологіи выраженіемъ «обратная температура» (*Temperaturumkehr*), обозначающимъ сравнительно рѣдкій случай увеличенія температуры, по мѣрѣ поднятія въ атмосферѣ. Но я считаю вправѣ настаивать на моей терминологіи, потому что она наиболѣе правильна, какъ физическое понятіе. На самомъ дѣлѣ наступленіе «обратной температуры» представляетъ собою, собственно говоря, возвращеніе атмосферы къ нормальному состоянію—прямой слоистости по температурѣ. Если же это физически нормальное состояніе наблюдается рѣже, чѣмъ ненормальное, то это вызывается вліяніемъ давленія атмосферы, уменьшеніе котораго съ высотой влечетъ разрѣженіе восходящихъ газовъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ и ихъ охлажденіе. При одномъ и томъ же давленіи на газы, послѣдніе — чѣмъ теплѣе, тѣмъ легче. Я надѣюсь, что эти объясненія будутъ достаточны, чтобы устранить всякое неправильное пониманіе.

б) *рефракція надъ холодною водою*. Вода холоднѣе воздуха, нижніе слои котораго имѣютъ прямую слоистость.

Будемъ называть *истиннымъ физическимъ горизонтомъ* геометрическое мѣсто тѣхъ точекъ поверхности озера, въ которыхъ прямая, проходящая черезъ глазъ наблюдателя, касается озерной поверхности; а *кажущимся физическимъ горизонтомъ* будемъ считать геометрическое мѣсто тѣхъ точекъ, въ которыхъ достигающій глаза наблюдателя лучъ свѣта, независимо отъ того, будетъ-ли онъ преломленъ или не будетъ, касается поверхности озера. Ширина или радіусъ истиннаго, т. е. неизмѣннаго преломленіемъ, физическаго горизонта зависитъ отъ высоты наблюдателя надъ поверхностью воды. Слѣдующія цифры даютъ нѣкоторое представленіе въ этомъ отношеніи:

Высота глаза надъ озеромъ.	Радіусъ горизонта.	Высота глаза подъ озеромъ.	Радіусъ горизонта.
1 метр.	3.569 километр.	20 м.	15.962 килом.
2 »	5.048 »	25 »	17.845 »
3 »	6.182 »	30 »	19.548 »
4 »	7.138 »	40 »	22 »
5 »	7.981 »	50 »	25 »
6 »	8.742 »	60 »	28 »
7 »	10.095 »	80 »	32 »
10 »	11.287 »	100 »	36 »
15 »	13.823 »	192 »	50 »

А) Рефракція надъ теплою водою.

Она наступаетъ, когда въ воздухѣ господствуетъ обратная температурная слоистость. Когда возникаетъ лучъ, почти параллельный озерной поверхности, идущій къ наблюдателю нѣсколько выше кажущагося физическаго горизонта мѣста наблюденія, то онъ попадаетъ по ту сторону этого горизонта все въ менѣе и менѣе плотные воздушные слои и соотвѣтственнымъ образомъ преломляется; наконецъ, онъ дѣлается совершенно параллельнымъ озерной поверхности, наступаетъ полное отраженіе, и лучъ послѣ этого подымается, проникаетъ за тѣмъ все болѣе и болѣе плотные слои и, наконецъ, достигаетъ глаза наблюдателя. Такимъ образомъ онъ описываетъ вогнутую кверху кривую. Направленіе, которое имѣетъ лучъ свѣта при своемъ вхожденіи въ глазъ, составляетъ большій уголъ съ горизонтальною проходящею черезъ глазъ плоскостью, чѣмъ это было бы при простомъ пути луча, безъ преломленія. Изъ этого слѣдуетъ:

а) Кажущійся физическій горизонтъ пониженъ.

б) Кажущееся физическое поле зрѣнія сжато, т. е. самыя крайнія точки озерной поверхности, которыя видно, приближены.

в) Внутри этого поля, вследствие изложеннаго, выпуклость озерной поверхности кажется преувеличенною. Какъ будто видна часть выпуклой шарообразной поверхности земли, чего въ дѣйствительности нѣтъ.

г) Если на озерѣ господствуетъ волненіе, то горизонтъ представляется чрезвычайно зазубреннымъ, благодаря тому, что волны кажутся преувеличенно высокими.

д) Точка, лежащая сейчасъ надъ водою и возвышающаяся надъ кажущимся физическимъ горизонтомъ, представляется наблюдателю двойною, такъ какъ два исходящихъ отъ нея луча одновременно достигаютъ до глаза. Одинъ изъ этихъ лучей—непреломленъ, потому что онъ не проходитъ черезъ самые нижніе слои воздуха, а пробѣгаетъ путь по прямой линіи и даетъ въ глазу наблюдателя нормальное изображеніе исходной точки. Другой же лучъ преломляется; онъ отходитъ отъ предмета нѣсколько наискось внизъ, проникаетъ въ нижніе, болѣе нагрѣтые, слои воздуха, претерпѣваетъ здѣсь полное внутреннее отраженіе, описываетъ вогнутую сверху кривую и достигаетъ глаза нѣсколько наискось снизу, давая изображеніе исходной точки, лежащее подъ первой.

Изъ комбинаціи различныхъ точекъ освѣщеннаго предмета, возникаютъ такимъ образомъ два изображенія, изъ которыхъ верхнее—прямое, а нижнее—симметричное верхнему и обратное (благодаря полному отраженію). Это явленіе обычно называется *зеркальностью воздуха* (миражемъ) ¹⁾.

Осенью и зимою, когда воздухъ охлаждается быстрѣе воды, такіа явленія рефракціи надъ теплою водою могутъ имѣть мѣсто почти во всякое время дня. Ихъ можно наблюдать весною и лѣтомъ, рано по утрамъ, благодаря тому, что воздухъ за ночь охлаждается сильнѣе, чѣмъ вода.

Б) Рефракція надъ холодною водою.

Надъ холодною водою воздухъ показываетъ прямую тепловую слоистость. Лучи свѣта, проходящіе вблизи водной поверхности, почти параллельно ей, описываютъ вогнутую снизу кривую. Они достигаютъ глаза наблюдателя въ нисходящемъ направленіи, отклоняющемся отъ вертикали менѣе, чѣмъ въ томъ случаѣ, если бы не было явленія преломленія. Изъ этого слѣдуетъ:

а) Кажущійся физическій горизонтъ приподнять; онъ расположенъ высоко надъ истиннымъ физическимъ горизонтомъ.

¹⁾ У русскихъ—маревъ.

(Примѣч. переводчика).

б) Кажущійся физическій горизонтъ лежитъ по ту сторону истиннаго горизонта.

в) Внутри горизонта поверхность озера представляется вогнутою; вогнутость кажется лежащею передъ наблюдателемъ.

г) Предметы, при нормальныхъ условіяхъ лежащіе по причинѣ выпуклости земной поверхности внѣ круга зрѣнія, теперь дѣлаются видимыми.

д) Точки, лежащія какъ разъ надъ водою, выше приподнятаго видимаго физическаго горизонта, кажутся видимыми сверху, пониженными и искаженными. Размѣры ихъ въ высоту кажутся сокращенными.

Явленія рефракціи надъ холодною водою наступаютъ въ послѣ-полуденные часы весною и лѣтомъ, когда солнечная теплота сильнѣе повышаетъ температуру воздуха, чѣмъ воды.

Какъ же происходитъ переходъ отъ явленій рефракціи надъ теплою водою къ тому же явленію надъ холодною водою?

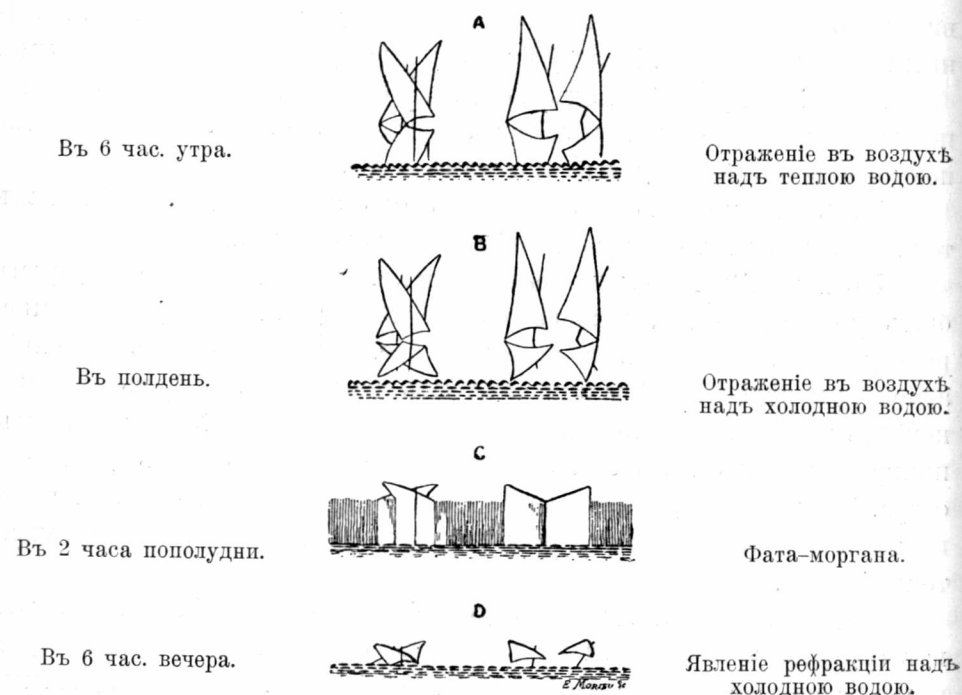
Въ хорошій весенній день воздухъ, который ночью и утромъ былъ холоднѣе воды, можетъ быстро нагрѣться, приобрѣсти температуру воды, а затѣмъ и превыситъ ее. При спокойномъ состояніи атмосферы явленія рефракціи слѣдуютъ не тотчасъ вслѣдъ за измѣненіемъ температуры, показываемой на твердой землѣ термометромъ, прикрѣпленнымъ на высотѣ нѣсколькихъ метровъ надъ уровнемъ озера. Зеркальность, наступающая надъ теплою водою, остается часто въ теченіе цѣлыхъ часовъ, хотя бы воздухъ и сдѣлался значительно теплѣе воды.

Возникающія при такихъ условіяхъ изображенія показываютъ всѣ свойства зеркальности надъ теплою водою съ единственною разницею: обратное нижнее изображеніе, вмѣсто того, чтобы быть равнымъ и симметричнымъ верхнему прямому, кажется, хотя и симметрично расположеннымъ, но сжатымъ по направленію сверху внизъ. Его высота представляетъ только половину или даже четверть высоты верхняго изображенія. Такое явленіе мы называемъ *зеркальностью надъ холодною водою*.

Но внезапно картина изображенія измѣняется, вѣроятно, подъ вліяніемъ потянувшего съ берега вѣтра, который нарушаетъ неустойчивое равновѣсіе слоевъ воздуха. Картины рефракціи надъ холодною водою появляются сначала на одномъ какомъ-нибудь концѣ горизонта и затѣмъ постепенно овладѣваютъ всею его периферіею. Тамъ, гдѣ эти измѣненія совершаются на большемъ или меньшемъ протяженіи, тамъ получается особый феноменъ *фата-морганы* ¹⁾. Освѣщенные, лежащіе

¹⁾ А. Делебекъ (A. Delebecque) объясняетъ фата-морганы комбинаціей различныхъ, налегающихъ одно на другое, зеркальныхъ изображеній. (Archives de Genève. XXVII. 358. 1892.)

по ту сторону поля зрѣнія, предметы дѣлаются видимыми въ воздухѣ, но деформированными въ видѣ смежныхъ другъ съ другомъ прямоугольниковъ. Верхняя часть изображенія есть продолженіе горизонта, приподнятаго рефракціею надъ холодною водою, нижняя часть—продолженіе горизонта, опущеннаго благодаря зеркальности, какъ она проявляется надъ теплою водою. Эти прямоугольники производятъ впечатлѣніе скалистаго, очень крутого берега, обрывовъ, или еще скорѣе домовъ, расположенныхъ на набережной какого-то исполинскаго города.



Фиг. 16. Послѣдовательная смѣна изображеній двухъ парусныхъ судовъ въ прекрасный, теплый весенній день, вслѣдствіе отраженія въ воздухѣ и преломленія.

Все явленіе фата-морганы, съ ея дворцами, сдвигается къ горизонту по мѣрѣ того, какъ рефракція надъ холодною водою занимаетъ то мѣсто, которое теряетъ рефракцію надъ теплою водою.

Обратное явленіе—переходъ зеркальности надъ холодною водою къ зеркальности надъ теплою—совершается ночью и потому не поддается наблюденію.

Иллюстрируемъ наше описаніе картинами двухъ парусныхъ судовъ, какъ они представляются въ прекрасный весенній день на Женевскомъ озерѣ въ послѣдовательной смѣнѣ явленій зеркальности. Мы принимаемъ, что суда находятся на разстояніи 10—15 километровъ отъ стоящаго на берегу наблюдателя (фиг. 16).

Кромѣ этихъ главныхъ типовъ преломленія и отраженія надъ холодною и надъ теплою водою и такъ называемой фата-морганы, встрѣчаются по временамъ сложныя явленія, напримѣръ, усложненныя, комбинированныя, параллельныя верхнія и нижнія отраженія и т. д. ¹⁾ Условія, при которыхъ они наступаютъ, пока еще недостаточно изучены. Мы рекомендуемъ прибрежнымъ жителямъ озеръ заняться ихъ изученіемъ.

Глава шестая.

Б і о л о г і я.

1. Общая часть.

Біологія занимается живыми существами. Лимнологическая біологія имѣетъ цѣлью изученіе растений и животныхъ, населяющихъ озеро. Особенности среды, въ которой живутъ эти организмы, суть: огромная масса воды, которая, въ противоположность текучей водѣ рѣкъ, находится въ покоѣ, а по сравненію съ стоячею водою прудовъ подвижна, на поверхности благодаря волненію, а во всѣхъ своихъ слояхъ—благодаря теченіямъ разнаго рода. Глубина озера является достаточною, чтобы сдѣлать возможнымъ существованіе различныхъ, расположенныхъ другъ надъ другомъ, зонъ изъ колоній организмовъ; вода имѣетъ равномерный химическій составъ, который въ озерахъ съ истокомъ постояненъ, а въ глухихъ озерахъ, наоборотъ, измѣняется по временамъ года и можетъ представлять значительныя различія у разныхъ озеръ; вода озеръ непрерывно получаетъ новыя количества органическихъ веществъ черезъ притоки; вода, которая до самыхъ глубокихъ слоевъ достаточно провѣтривается, благодаря конвенціоннымъ токамъ различнаго рода, погружающимъ воду съ поверхности на глубину; вода, температура которой въ верхнихъ слояхъ колеблется въ постоянныхъ границахъ, на глубинѣ же почти не измѣняется; свѣтлая вода, которая допускаетъ проникновеніе свѣта на большія глубины и позволяетъ поэтому видѣть предметы на значительномъ отдаленіи.

Благодаря притокамъ, озеро находится въ связи со всѣми водами своего питательнаго бассейна, при помощи же истока, если таковой имѣется,—съ океаномъ, а черезъ атмосферу косвенно соединяется съ водами другихъ гидрографическихъ водоемовъ. Все это—условія, весьма благопріятныя для богатаго развитія животной и растительной

¹⁾ См. *Forel. Léman*. II. 514—565.

жизни. Конечно, они не вездѣ одинаково бываютъ совмѣщены, измѣняясь отъ озера къ озеру и именно слѣдующимъ образомъ:

1. *Климатъ озера* обуславливается его географическимъ положеніемъ по отношенію къ широтѣ мѣста и его высотѣ надъ уровнемъ моря.

2. *Размѣры озера*, величина его поверхности и его глубина, имѣютъ извѣстное значеніе. Отъ величины протяженности озера зависитъ особенно сила его волненій и вообще всѣхъ движеній его водъ; величина же его объема обуславливаетъ его химическое и отчасти термическое постоянство. Отъ глубины зависятъ жизненные условія организмовъ, живущихъ на днѣ озера.

3. *Свойства дна*. Соотвѣтственно тому, будетъ ли дно состоять изъ той или иной породы, изъ эрратическихъ валуновъ, галекъ, хряща, песку, ила, изъ большаго или меньшаго количества тонкаго рѣчного и озернаго аллювія, известковаго или кремнистаго состава,—въ зависимости отъ этого въ различныхъ мѣстахъ одного и того же озера, а также отъ озера къ озеру, жизненные условія будутъ представляться различными.

4. *Химическій составъ* воды представляетъ выдающуюся важность. Вода въ озерѣ можетъ быть прѣсною или соленою. Въ прѣсной водѣ сумма растворенныхъ солей составляетъ 20—500 миллиграммовъ на литръ. Содержаніе же солей въ соленыхъ озерахъ можетъ достигать размѣровъ концентрации морской воды и даже превышать ее. Въ опредѣленныхъ соляныхъ озерахъ преобладаетъ сѣрноокислый натрій, въ другихъ—хлористый натрій, въ третьихъ—бура и т. д. То или иное содержаніе въ растворѣ органическихъ веществъ также вліяетъ на развитіе жизни въ озерѣ.

5. *Температура воды* имѣетъ значеніе. Въ зависимости отъ того, принадлежитъ-ли данное озеро къ тропическому, умѣренному или полярному типу нашей классификаціи, смотря по тому, всегда-ли температура воды выше или ниже 4° Ц. или же колеблется около этой цифры,—различны жизненные условія.

6. Продолжительное или кратковременное *пребываніе озера подъ ледянымъ покровомъ* оказываетъ сильное колебаніе въ жизненныхъ условіяхъ организмовъ: одни изъ нихъ обнаруживаютъ способность приспособляться къ этимъ новымъ условіямъ, другіе же погибаютъ.

7. Точно также и *прозрачность воды* не остается безъ вліянія на жизненные функціи многихъ организмовъ.

8. Болѣе или менѣе *удобное сообщеніе* даннаго озера съ остальными водами окружающей его области или сосѣднихъ съ нимъ областей благопріятствуетъ перекочевыванію организмовъ или затрудняетъ его и опредѣляетъ тѣмъ самымъ богатство или бѣдность его фауны и флоры.

Условія жизни въ озерѣ отличаются отъ условій пребыванія въ проточной средѣ, главнымъ образомъ, въ слѣдующихъ пунктахъ:

Рѣки и потоки несутъ воду, все время текущую въ одномъ и томъ же направленіи,—вода идетъ впередъ и назадъ не возвращается. Водныя массы рѣкъ не приводятся въ движеніе ударами волнъ или сокращаются лишь на опредѣленныхъ мѣстахъ. Поверхность рѣкъ имѣетъ малую протяженность; онѣ обладаютъ незначительною глубиною и во время высокой воды замучиваются иломъ. Химическій составъ ихъ водъ переменчивъ.

Что же касается болотъ, то они, вообще говоря, не имѣютъ глубинъ и не бываютъ подвержены волненіямъ и теченіямъ. Ихъ стоячая, мертвая вода загрязняется благодаря гніенію болотныхъ растений, съ ихъ ассимиляціонными органами, постоянно омываемыми воздухомъ и приспособленными къ жизни въ воздушной средѣ. Температура колеблется въ очень широкихъ предѣлахъ. Зимой болота имѣютъ очень холодную воду, а лѣтомъ—очень теплую.

Подземныя воды текутъ въ болѣе или менѣе широкихъ и глубокихъ каналахъ. Въ этомъ отношеніи онѣ имѣютъ сходство съ открытыми рѣками. Но эти воды не стоятъ въ непосредственной связи съ атмосферой; термическія колебанія сведены здѣсь къ минимуму; свѣтъ вовсе къ нимъ не проникаетъ.

Море отличается отъ прѣсныхъ озеръ своею сильною соленостію, въ то время, какъ съ соляными озерами оно имѣетъ большее или меньшее сходство. Но еще большой вопросъ, существуютъ ли такіе соляныя озера, химическій составъ которыхъ точно соотвѣтствуетъ составу моря. Въ біологическомъ отношеніи море, не касаясь его исплинскихъ размѣровъ, допускающихъ возможность очень сильныхъ механическихъ движеній воды, отличается прямою связью всѣхъ его водныхъ массъ отъ одного бассейна къ другому. Иначе обстоитъ дѣло съ озерами: ихъ строго изолированныя водныя массы лишены непосредственнаго соединенія между собою и съ океаномъ.

Такимъ образомъ организмы находятъ въ озерахъ совершенно особенныя, отличныя отъ всѣхъ прочихъ водъ, жизненные условія. Мы знаемъ изъ общихъ данныхъ біологіи, что различныя условія среды должны влечь за собою различія въ животномъ и растительномъ населеніи данной области. Поэтому мы обязаны показать особенности озерной флоры и фауны. Именно мы будемъ описывать тѣ особенности, которыя выражаются преимущественно въ составѣ флоры и фауны и въ ихъ біологическихъ отношеніяхъ.

Къ сожалѣнію, мы должны сейчасъ-же заявить, что по отношенію къ двумъ типамъ озеръ мы вынуждены отказаться отъ такого описанія. Таковы именно подземныя озера и соляныя озера. Какъ бы

ни были интересны биологическія въ нихъ изысканія, но я не въ состояніи ихъ предпринять, въ виду того, что такихъ озеръ не имѣется ни въ ближайшихъ, ни въ отдаленныхъ окрестностяхъ моего мѣстожителства. Безъ сомнѣнія, вскорѣ найдутся изслѣдователи, которые предпримутъ изученіе и этихъ озеръ въ биологическомъ отношеніи. Здѣсь можно будетъ найти много новаго, имѣющаго общій интересъ. Я же ограничусь лишь немногими, относящимися сюда, замѣчаніями.

Подземныя озера. На протяженіи ложа подземной рѣки возникаютъ подчасъ значительныя расширенія, которыя, въ случаѣ образованія запрудъ, могутъ превратиться въ озеро. Вода въ такихъ расширеніяхъ можетъ подолгу застаиваться; поэтому принципиально различаются подземныя озера отъ каналовъ, наполненныхъ текучею водою. Теоретическій и экспериментальный анализы господствующихъ здѣсь условій поведетъ во всякомъ случаѣ къ открытію особенностей, характерныхъ какъ въ физическомъ, такъ и въ биологическомъ, отношеніи. Ближайшее объ этихъ особенностяхъ мы не можемъ представить въ настоящее время, при современномъ уровнѣ изученія пещеръ. Отдѣльные же, прочно установленные, факты будутъ рассмотрѣны въ другомъ мѣстѣ въ связи съ подземными водами.

Соляныя озера. Уже незначительное измѣненіе въ химическомъ составѣ воды приводитъ обыкновенно въ короткое время къ вымиранію большей части водной флоры и фауны, живущей въ озерѣ. Искусственное приспособленіе къ измѣнившимся условіямъ возможно лишь по отношенію къ видамъ, особенно стойкимъ, да и послѣдніе могутъ выжить лишь въ томъ случаѣ, если измѣненіе солености происходитъ чрезвычайно медленно. Поэтому понятно, что флора или фауна одного соляного озера не можетъ быть съ успѣхомъ пересажена въ другое озеро, съ инымъ составомъ. Слѣдовательно, каждое соляное озеро имѣетъ свои опредѣленные формы жизни и ихъ сообщества. Однако и здѣсь биологическія изслѣдованія недостаточно глубоки, чтобы возможно было представить общую удовлетворительную картину населенія соляныхъ озеръ. Надо подождать дальнѣйшихъ изысканій.

Тѣмъ не менѣе я полагаю, что важнѣйшіе биологическіе факты, добытые при изученіи прѣсноводныхъ озеръ, могутъ быть приложены и къ солянымъ озерамъ. Во всякомъ случаѣ существуетъ два главныхъ свойства, принадлежащихъ солянымъ озерамъ и весьма существенно вліяющихъ на ихъ биологическія отношенія. Это—именно:

а) Измѣнчивость химическаго состава воды большинства глухихъ озеръ. Въ дождливое время года, по мѣрѣ того, какъ объемъ воды въ озерѣ увеличивается, концентрація раствора солей уменьшается. Въ сухое же время года, наоборотъ, концентрація усиливается. Живу-

щіе въ соляномъ озерѣ организмы должны, разумѣется, приспособляться къ указаннымъ колебаніямъ. Тѣ, которые не обладаютъ необходимой приспособляемостью, тотчасъ-же погибаютъ; отсюда слѣдуетъ, что фауна и флора соляныхъ глухихъ озеръ по большей части относительно бѣдны.

б) Содержаніе солей въ нѣкоторыхъ озерахъ настолько велико, что никакая органическая жизнь въ нихъ кажется невозможною. Особенно указывается на Мертвое море въ Палестинѣ и Соленое озеро (Salt Lake) въ Утахѣ, что они не имѣютъ въ своихъ водахъ никакой жизни. Такія озера поэтому должны разсматриваться, какъ единственные мѣста на земной поверхности, гдѣ жизнь невозможна. Но эти факты, какъ мнѣ кажется, нуждаются еще въ подтвержденіи.

2. Населеніе прѣсныхъ водъ.

Большая часть неокеаническихъ, изолированно расположенныхъ внутри материковъ, стоячихъ водныхъ массъ принадлежитъ къ прѣсноводнымъ озерамъ. Число общихъ имъ биологическихъ признаковъ достаточно, чтобы оправдать общій ихъ обзоръ.

Въ этомъ обзорѣ я опираюсь на условія умѣренныхъ озеръ центральной Европы и Сѣверной Америки, которыя изучены несравненно лучше другихъ. Но общіе факты, которые здѣсь приводятся, могутъ быть примѣнены также къ озерамъ и другихъ областей.

Предпошлемъ сначала краткій списокъ организмовъ, составляющихъ флору и фауну прѣсныхъ озеръ.

Растительные организмы, обитающіе въ водахъ прѣсныхъ озеръ центральной Европы, принадлежатъ главнымъ образомъ къ слѣдующимъ семействамъ:

а) Явнобрачныя.

І. Двудольныя.

- Ranunculaceae. *Ranunculus*.
- Nymphaeaceae. *Nymphaea*, *Nuphar*.
- Cruciferae. *Subularia*.
- Droseraceae. *Aldrovandia*.
- Alsineae. *Arenaria*.
- Elatineae. *Elatine*.
- Hippurideae. *Hippuris*.
- Onagraceae. *Epilobium*.
- Haloragaceae. *Trapa*, *Myriophyllum*.
- Callitricheae. *Callitriche*.
- Ceratophylleae. *Ceratophyllum*.

Lythrarieae. *Lythrum*, *Peplis*.
 Crassulaceae. *Bulliarda*.
 Umbelliferae. *Berula*, *Helosciadium*, *Oenanthe*.
 Lobeliaceae. *Lobelia*.
 Lentibulariaceae. *Utricularia*, *Pinguicula*.
 Primulaceae. *Hottonia*.
 Gentianaceae. *Limnanthemum*.
 Scrophulariaceae. *Gratiola*, *Veronica*, *Limosella*.
 Labieae. *Scutellaria*, *Teucrium*.
 Plantagineae. *Littorella*.

II. Однодольные.

Alismaceae. *Alisma*, *Sagittaria*, *Damasonium*.
 Butomeae. *Butomus*.
 Hydrocharideae. *Hydrocharis*, *Stratiotes*, *Hydrilla*, *Elodea*, *Vallisneria*.
 Potameae. *Potamogeton*, *Zanichellia*.
 Najadeae. *Najas*.
 Lemnaceae. *Lemna*.
 Araceae. *Acorus*.
 Typhaceae. *Typha*, *Sparganium*.
 Juncaceae. *Juncus*.
 Cyperaceae. *Scirpus*, *Cyperus*, *Cladium*, *Carex*, *Heleocharis*.
 Gramineae. *Arundo*, *Phragmites*, *Oryza*, *Phalaris*, *Glyceria*, *Catabrosa*.

б) Сосудистые споровые.

Equisetaceae. *Equisetum*.
 Selaginellaceae. *Isoetes*.
 Hydropteridae. *Salvinia*.
 Musci. *Riccia*, *Fontinalis*, *Thamnum*.

в) Заростковые.

Characeae. *Chara*, *Nitella*.
 Algae. Многочисленные роды.
 Fungi. *Schizomycetes* и *Phycomycetes*.

Животные организмы, составляющие фауну центрально-европейских озер, относятся къ слѣдующимъ отрядамъ.

I. Позвоночные.

Млекопитающіе. Выдра рѣчная, бобръ, водяная крыса и т. д.
 Птицы. Осѣдлая или кочевая водоплавающая.
 Пресмыкающіяся. Черепахи нѣкоторыхъ мелкихъ озеръ.
 Земноводныя. Нѣкоторые виды лягушекъ и тритоновъ въ мелкихъ озерахъ.

Рыбы слѣдующихъ группъ:

Acanthopterygii. *Perca*, *Lucioperca*, *Cottus*, *Blennius*, *Gobius*.
 Malacopterygii. *Lota*, *Cyprinidae*, *Salmonidae*, *Alosa*, *Esox*, *Silurus*, *Anguilla*.

Ganoidei. *Accipenser*.
 Cyclostomata. *Petromyzon*.

II. Членистоногія.

Насѣкомыя.

Coleoptera. *Dytiscus*, *Hydroporus*, *Gyrinus*, *Hydrophilus*, *Haemonia*, *Donia* etc.
 Hemiptera. *Hydrocorysa*.
 Neuroptera. Личинки *Pseudoneuroptera*, *Planipennia*, *Plicipennia*.
 Diptera. Личинки *Culicidae* и *Tipulidae*.

Паукообразныя.

Hydrachnida въ большомъ числѣ.
 Acarida. *Halacarus*.
 Tartigrada. *Arctiscon*.

Ракообразныя.

Decapoda. *Astacus*.
 Isopoda. *Asellus*.
 Ampipoda. *Gammarus*, *Niphargus*.
 Phyllopoda. *Cladocera*, *Ostracoda*, *Copepoda*, *Siphonostomata*.

III. Моллюски.

Gasteropoda. *Limnea*, *Valvata*, *Planorbis*, *Bythinia*, *Ancylus* и проч.
 Lamellibranchiata. *Najadae*, *Cyclas*, *Pisidium*.

IV. Черви.

Hirudinea. *Clepsine*, *Nephelis*, *Piscicola*, *Branchiobdella*.
 Chaetopoda. *Tubifex*, *Saenuris*, *Stylaria*, *Nais* и проч.
 Nematoda, въ качествѣ свободно живущихъ и въ качествѣ паразитовъ.
 Cestoda, въ большинствѣ паразиты.
 Trematoda. Паразиты.
 Nemertini. *Tetrastemma*.
 Turbellaria }
 Bryozoa } многочисленные рода.
 Rotatoria }

V. Кишечнополостныя.

Hydridae. *Hydra*.
 Spongiae. *Spongilla*.

VI. Простѣйшія.

Infusoria. }
 Rhizopoda. } многочисленные рода.
 Cilioflagellata }

Какъ видно изъ этого списка, флора и фауна озеръ охватываетъ большое число представителей организмовъ прѣсныхъ водъ страны; число родовъ, не встрѣчающихся въ озерахъ, сравнительно мало. Можно

сказать даже, что нѣтъ ни одного такого рода, живущаго въ прѣсной водѣ, котораго нельзя было бы найти въ озерахъ. Но это не значитъ, конечно, что данные организмы встрѣчаются въ каждомъ озерѣ. Однако, если подвергнуть точному обследованію достаточно большое число озеръ, то въ нихъ окажутся почти всѣ указанные здѣсь организмы.

Эти растительные и животные организмы образуютъ часть обычную, частью же случайную, составную часть біологическаго населенія озера. Они однако не распределяются въ водной массѣ безъ всякаго порядка, но заселяютъ тѣ или иныя опредѣленные озерныя области, въ соотвѣтствіи со своими жизненными потребностями.

Въ каждомъ озерѣ мы различаемъ три области, каждая изъ которыхъ характеризуется своимъ собственнымъ населеніемъ.

Эти области суть:

- а) литторальная область;
- б) глубоководная область;
- в) пелагическая область.

Въ послѣдующемъ изложеніи эти области будутъ опредѣлены и разграничены въ біологическомъ отношеніи. При этомъ мы дадимъ описаніе какъ условій жизни, которымъ подвергаются обитатели указанныхъ областей, такъ и самого ихъ населенія.

Теперь же, прежде всего, мы постараемся рѣзко разграничить тѣ понятія, съ которыми приходится имѣть дѣло при біологическихъ изслѣдованіяхъ. Установимъ разницу между *постоянными* и *случайными* обитателями.

Въ каждомъ озерѣ имѣются такія біологическія группы, которыя постоянно въ немъ живутъ и размножаются. Онѣ и придаютъ озеру нормальный біологическій отпечатокъ. Но одновременно въ немъ находятся и случайные, нерегулярно встрѣчающіеся, чуждые организмы, попавшіе въ озеро съ суши при помощи вѣтра, занесенные изъ рѣкъ и болотъ притоками, а изъ подземныхъ бассейновъ—посредствомъ ключей, выходящихъ изъ земли въ озеро. Но и между сообществами различныхъ областей и подъ-областей одного и того же озера могутъ происходить случайныя подмѣси, когда отдѣльные организмы переносятся при своихъ странствованіяхъ или при помощи теченія изъ обычныхъ мѣстъ своего обитанія. Такіе организмы, которые попадаютъ въ ту область, къ которой нормально они не принадлежатъ, мы называемъ блуждающими, *эпратическими* видами.

Такимъ образомъ мы приходимъ къ той общей біологической классификаціи, которая соотвѣтствуетъ системѣ, введенной Павези для пелагическихъ организмовъ, и по которой организмы, нормально живущіе въ пелагической области, называются *еупелагическими*, слу-

чайно же сюда занесенные—*тихопелагическими*. Но я предпочитаю болѣе простыя выраженія—*постоянные* и *эпратические* виды, такъ какъ они могутъ быть примѣняемы и къ прочимъ областямъ озера. При этомъ я намѣренно избѣгаю введенія новыхъ, взятыхъ съ греческаго, техническихъ обозначеній, съ такой охотой производимыхъ въ наше время по всякому, даже ничтожному, поводу,—обычай, благодаря которому языкъ загромождается совершенно бесполезнымъ балластомъ иностранныхъ словъ.

Греческая терминологія въ озеровѣдѣніи.

Всегда ли ужъ такъ необходимы эти иностранныя слова? Рѣдко встрѣчаются случаи, когда та или иная мысль или фактъ не могли бы быть выражены на обиходномъ языкѣ. Образование новыхъ словъ, даже если оно и не вызывается настоятельною необходимостью, часто бываетъ очень удобно для того, кто вводитъ новыя выраженія, но для читателя по большей части они являются бесполезнымъ балластомъ. Среди специалистовъ вновь образованныя выраженія не могутъ остаться непонятными, но среди большой публики этого не наблюдается.

Поэтому, если мы не хотимъ отпугивать людей отъ нашей прекрасной науки, то должны стараться избѣгать употребленія многочисленныхъ иностранныхъ словъ. Нужно остерегаться, чтобы лимнологическая литература не была непонятной для многочисленныхъ читателей, которые интересуются изслѣдованіемъ озеръ.

Эти опасенія вреднаго вліянія отъ слишкомъ неумѣреннаго пользованія иностранными словами въ наукѣ объ озерахъ могутъ быть подтверждены нижеприводимымъ спискомъ техническихъ выражений, употребляемыхъ различными авторами. Этотъ списокъ, я надѣюсь, будетъ полезенъ для тѣхъ лицъ, которыя при своихъ изслѣдованіяхъ займутся чтеніемъ извѣстныхъ новѣйшихъ естественно-историческихъ работъ. Но мнѣ хотѣлось-бы предостеречь отъ дальнѣйшаго злоупотребленія этими иностранными словами, настоятельно рекомендуя мудрую умѣренность въ ихъ пользованіи.

Большая часть этихъ иностранныхъ словъ предложена для обозначенія океанографическихъ явленій и лишь въ послѣдствіи перенесена на соотвѣтствующія явленія по отношенію къ озерамъ. Имена авторовъ, которые ихъ составили, я обойду молчаніемъ; пусть это будетъ для нихъ хотя-бы единственнымъ наказаніемъ за ихъ чрезмѣрное пристрастіе къ греческому словообразованію. Слишкомъ длинныя часто опредѣленія, даваемые авторами, я упрощаю, какъ только возможно.

- I. Галобіонъ. Органическія сообщества въ морскихъ водахъ.
- Лимнобіонъ. Органическія сообщества прѣсныхъ водъ.
- Геобіонъ. Органическія сообщества на сушѣ.
- II. Галолимнетическій. Свойственный соляному озеру.
- III. Литторальный. Относящійся къ береговой зонѣ.
- Пелагическій. Относящійся къ центральной зонѣ.
- Глубоководный или абиссальный. Относящійся къ глубоководной зонѣ.

Выраженіе лимнетическій было сперва предложено для того, чтобы замѣнить выраженіе пелагическій, которое П. Е. Мюллеръ и я ввели для обозначенія явленій въ центральной области озера. Въ этомъ случаѣ обозначеніе было яснымъ. Впослѣдствіи, однако, изслѣдователи сѣверной Германіи полагали, нельзя ли соединить вмѣстѣ организмы литторальной и пелагической областей, и все вмѣстѣ было обозначено терминомъ лимнетическій. Хотя извѣстныя озера, которыя раньше разсматривались въ качествѣ прудовъ, не имѣютъ никакихъ глубинъ, а слѣдовательно не имѣютъ и настоящей пелагической области, но въ большихъ и глубокихъ озерахъ эта разница различныхъ областей совершенно правильна. Потому переносъ слова лимнетическій на совокупность литторальной и пелагической областей нельзя признать удачнымъ; это можетъ повести къ путаницѣ въ понятіяхъ. Слово лимнетическій лучше прямо исключить и пользоваться однозначнымъ съ нимъ выраженіемъ „озерный“ (lacuster).

IV. Еупелагическій (еулимнетическій)—совершающійся постоянный въ пелагической области, свойственный пелагической области.

Тихопелагическій (тихολимнетическій)—наблюдаемый лишь случайно въ пелагической области.

Прошайролимнетическій—лишь временно свойственно лимнетической области.

V. Планктонъ—собрание организмовъ, пассивно переносимыхъ водою.

Нектонъ—активно движущіяся водяныя животныя (рыбы, ракообразныя).

Плейстонъ—плавающая флора; растенія болѣе легкія, чѣмъ вода, и вслѣдствіе этого плавающія на ея поверхности.

Бентонъ (бентосъ)—организмы, живущіе на днѣ или въ грунтѣ дна и слишкомъ тяжелые для того, чтобы активно плавать или пассивно переноситься водою.

VI. Талассопланктонъ—океаническій планктонъ.

Лимнопланктонъ—озерный планктонъ.

Потамопланктонъ—рѣчной планктонъ.

Гелейопланктонъ—болотный планктонъ.

Кріопланктонъ—снѣговой планктонъ.

VII. Сидячій бентонъ—прикрѣпленные бентонные организмы.

Подвижной бентонъ—передвигающіеся бентонные организмы.

Нектоническій бентонъ—плавающіе бентонные организмы.

VIII. Литторальный бентонъ—организмы, живущіе на днѣ литторальной области.

Абиссальный бентонъ—организмы, живущіе на днѣ глубоководной области.

IX. Неритическій планктонъ—организмы, живущіе на поверхности литторальной области.

Океаническій планктонъ—организмы, живущіе на открытомъ морѣ, или на поверхности пелагической области.

X. Пелагическій планктонъ—организмы поверхностныхъ слоевъ океана.

Зонарный планктонъ—организмы среднихъ зонъ.

Батибическій планктонъ—организмы глубокихъ зонъ.

XI. Аутопелагическій планктонъ—группы, постоянно живущія на поверхности.

Батипелагическій планктонъ—группы, переходящія во время своихъ суточныхъ передвиженій съ поверхности въ средніе слои.

Спанипелагическій планктонъ—группы, живущія на днѣ и лишь изрѣдка появляющіяся на поверхности.

XII. Никтипелагическія животныя—ночью появляются на поверхности.

Химопелагическія животныя—выходятъ зимой на поверхность.

XIII. Фитопланктонъ, зоопланктонъ.

Планктофиты, планктозои.

Фитобентонъ, зообентонъ.

Бентофиты, бентозои.

Фитоплейстонъ, зооплейстонъ.

Плейстофиты, плейстозои.

XIV. Псевдопланктонъ—трупы и остатки наземныхъ организмовъ, попавшіе въ озеро и свободно здѣсь плавающіе.

XV. Меропланктонъ Геккеля, или періодическій планктонъ Гензена—планктонъ, появляющійся лишь въ опредѣленное время года.

Голопланктонъ, постоянный планктонъ—постоянно существующій планктонъ.

XVI. Монотонный планктонъ—состоящій на $\frac{9}{10}$ изъ одного и того же рода.

Превалентный планктонъ—состоящій изъ одного и того же рода болѣе, чѣмъ на половину своего состава.

Полимиктный планктонъ—имѣетъ нѣсколько преобладающихъ видовъ.

Пантомиктный планктонъ—не имѣетъ преобладающаго вида.

XVII. Еупланктонъ—свободно плавающіе организмы.

Епипланктонъ—организмы, плавающіе благодаря тому, что прикрѣплены къ пелагическимъ организмамъ.

XVIII. Еупланктонъ можетъ быть подраздѣленъ на:

Нейдіопланктонъ—организмы, обладающіе плавательными аппаратами.

Морфопланктонъ—организмы, плавающіе вслѣдствіе ихъ формы.

Коллапланктонъ—организмы, плавающіе потому, что они окружены желатинообразной массой.

Гидропланктонъ—организмы, плавающіе при помощи секрета (выдѣленія).

Фликтипланктонъ—организмы, поддерживаемые гидростатическими органами.

XIX. Морфопланктонъ можетъ быть подраздѣленъ на:

Рафидопланктонъ—иглообразные или веретенообразные организмы.

Скафопланктонъ—дискообразныя или ладьеобразныя организмы.

Десмопланктонъ—организмы, соединенные лентообразно.

Кремастопланктонъ—организмы, снабженные разными плавательными придатками, какъ-то иглами, шипами, волосками.

XX. Гидропланктонъ можетъ быть подраздѣленъ на:

Елайопланктонъ—организмы, плавающие при помощи жировыхъ массъ.

Газопланктонъ—организмы, плавающие при посредствѣ пузырьковъ воздуха.

XXI. Стенотермическіе организмы—организмы, требующіе однообразной температуры.

Еуритермическіе организмы—организмы, приспособляющіеся къ переменнѣйшей температурѣ.

XXII. Стеногалинные организмы—живутъ въ 3—4 процентныхъ соляныхъ растворахъ.

Солоноватоводные организмы (Brackwasserorganismen)—живутъ въ слабосоленой водѣ.

Еуригалинные организмы—приспособляются къ переменному химическому составу воды.

XXIII. Стенофотическія растенія—требуютъ постояннаго освѣщенія.

Еурифотическія растенія—приспособляются къ измѣненіямъ въ силѣ освѣщенія.

XXIV. Діафановая область—освѣщенная.

Афотическая область—темная.

3. Литторальная область.

Литторальная область, которую мы уже охарактеризовали въ географическомъ отношеніи (стр. 21), въ біологическомъ—охватываетъ всю береговую зону озера. Она распространяется до крайней границы кустарниковыхъ водяныхъ растеній (кустообразныхъ харовыхъ и сѣменныхъ), слѣдовательно, смотря по озеру, имѣетъ глубину отъ 10 до 30 метровъ. Въ своемъ полномъ составѣ эта область показываетъ большія различія и должна быть подраздѣлена на многочисленные отдѣлы.

1. *Сухое побережье* (der trockene Strand), состоящее изъ пояса песковъ, галекъ, обрывовъ или скалъ, расположена большею частью внѣ озера, которое оно окружаетъ, и подвергается дѣйствію его волнъ лишь во время бури. Отсутствие землистыхъ и илистыхъ составныхъ частей рѣзко характеризуетъ эту область. Ея обитателями являются растенія, свойственныя скаламъ или пескамъ, растенія, которые не боятся сырого озернаго воздуха, затѣмъ нѣкоторые животныя, птицы, насѣкомыя и пауки, которые питаются организмами и ихъ остатками, выбрасываемыми на песокъ волнами.

Сухая часть побережья принадлежитъ не къ водной области, а относится къ сушѣ. Поэтому она не имѣетъ, собственно говоря, ничего общаго съ озеромъ, но своимъ возникновеніемъ обязана озеру, безъ

озера она не существовала-бы. Совершенно аналогичное образованіе представляютъ собою сухія части побережій рѣкъ и крупныхъ ручьевъ.

2. *Затопляемое побережье* (der überschwemmbarer Strand), охватываетъ собою ту зону береговой области, которая при высокомъ стояніи водъ затопляется, а при низкомъ—осыхаетъ. Ею обитателями являются, съ одной стороны, тѣ растенія, которые могутъ выдерживать засухи, регулярно повторяющіяся при низкой водѣ (*Hippuris*, *Ranunculus aquatilis*, *Acorus*, *Callitriche*, *Typha*, *Iris sibirica*, *I. pseudacorus*, *Sparganium ramosum* и т. д.); съ другой стороны—тѣ наземныя растенія, которые въ состояніи противостоятъ періодически повторяющимся наводненіямъ (*Phragmites*, *Scirpus*, *Heleocharis*, *Carex*, *Iunus*, *Littorella*, *Ranunculus reptans*, *Arenaria gothica*, *Polygonum hydropiper*, *P. amphibium* и проч.).

Во время низкаго стоянія водъ затопляемая часть побережья оживляется животными съ сухой части побережья, а во время высокаго—животными его подводной части. Смотри по тому—болѣе или менѣе защищенъ берегъ отъ прибоа волнъ, затопляемая часть побережья является хрящеватой, песчаной или глинистой. Въ прямой зависимости отъ этого условія измѣняется составъ біологическихъ группъ отъ одного берега къ другому.

3. *Подводное побережье* (der untergetauchte Strand), каменистое или песчаное дно котораго постоянно подвержено дѣйствію волнъ, имѣетъ изъ растеній только прочно сидящія водоросли (*Ulothrix*, *Cladophora*), изъ животныхъ же лишь тѣхъ обитателей литторальной области, которые забредаютъ туда въ погонѣ за пищею, и только такихъ водяныхъ животныхъ, которые, прячась подъ камнями, могутъ противостоять напору волнъ.

4. *Эстуаріи*. Устья рѣкъ, въ которыя проникаетъ изъ озера вода во время высокаго стоянія, превращаются въ болѣе или менѣе значительныя эстуаріи. Въ біологическомъ отношеніи они подвержены вліянію какъ озера, такъ и рѣки. Ихъ населеніе можетъ представлять смѣсь изъ рѣчныхъ и озерныхъ группъ. При благоприятныхъ мѣстныхъ условіяхъ рѣчныя растенія, снабженные корнями, могутъ проникать до области озера; плавающія водоросли, рѣчныя животныя достигаютъ до стоячей воды устьевой воронки и даже до самаго озера. Обратно озерные организмы могутъ также проходить въ устьевую воронку при помощи активной миграціи, когда они, плывя противъ теченія, поднимаются даже въ рѣку (рѣчно-озерныя, проходныя рыбы), или же когда, при посредствѣ пассивной миграціи, они достигаютъ эстуарія вмѣстѣ съ противутеченіемъ. Поэтому составъ населенія устьевой воронки представляется смѣшаннымъ. Смотри по времени

года и въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, здѣсь будутъ преобладать то озерные, то рѣчные организмы.

5. *Лагуны* суть литторальные пруды, которые, лежа на одномъ уровнѣ съ озеромъ, отдѣлены отъ него косою (Lido). Ихъ населеніе соотвѣтствуетъ населенію прудовъ и болотъ. Отъ озернаго населенія оно отличается такъ же рѣзко, какъ озерныя группы отличаются отъ болотныхъ. При высокой водѣ отдѣляющая лагуну коса или кошка можетъ быть затоплена. Нерѣдко между лагуной и озеромъ существуетъ каналъ, черезъ который, при высокомъ уровнѣ воды, можетъ происходить даже пассивная миграція организмовъ, обитающихъ въ озерѣ. Такимъ образомъ болотное населеніе лагуны смѣшивается съ животными и растеніями озера. Въ біологическомъ отношеніи лагуна находится въ непосредственной связи съ озеромъ.

6. *Береговая банка* (die Uferbank). Всѣ вышеприведенныя области и подъ-области лишь только отчасти или временно принадлежать озеру. Ихъ можно-бы назвать примыкающими къ озеру областями. Только береговая банка вводитъ насъ въ районъ собственно озера; здѣсь мы находимъ уже дѣйствительно настоящія озерныя біологическія группы.

Береговая банка есть литторальная область озера въ тѣсномъ смыслѣ слова, т. е. образованная постояннымъ дѣйствіемъ волнъ терраса, ограничивающая кругомъ озеро. Она остается подъ водою всегда, даже и при самомъ низкомъ стояніи водъ. Глубина ея въ наибольшихъ озерахъ центральной Европы бываетъ наименьшее въ 1 метръ, наибольшее—въ 6 метровъ. Она зависитъ отъ величины озера, отъ волненій, которымъ подвержена данная мѣстность, и отъ величины годовыхъ колебаній воднаго уровня. Въ общемъ же береговая банка довольно горизонтальна. Со стороны суши она ограничена побережьемъ, со стороны же озера—озернымъ сваломъ.

Къ береговой банкѣ принадлежатъ въ біологическомъ отношеніи также хрящевые склоны рѣчной дельты и естественные скалистые склоны озера, по крайней мѣрѣ въ его верхней литторальной части, по скольку они не измѣнены аллювіемъ. Эти образованія по своему происхожденію и по своему петрографическому характеру совершенно отличны отъ береговой банки; въ біологическомъ-же отношеніи они имѣютъ, однако, одинаковыя съ ней условія.

Вообще жизненные явленія береговой банки зависятъ отъ слѣдующихъ факторовъ:

а) Отъ природы дна, которое можетъ быть скалистымъ, каменистымъ, песчанымъ или илистымъ.

б) Отъ движеній воды, волненій и теченій. Эти движенія, если на озерѣ господствуетъ идущая къ берегу буря, могутъ быть весьма

сильными. Волны съ необычайной силой перекачиваютъ черезъ береговую банку; обратный стокъ воды также силенъ. Появленіе слѣдовъ волнъ (Ripplemarks) показываетъ, что даже дно береговой банки находится въ сферѣ вліянія волненій.

в) Отъ температуры воды, которая въ области береговой банки сильно колеблется. Вода здѣсь не только просто принимаетъ участіе въ обычныхъ сезонныхъ и суточныхъ колебаніяхъ температуры озера, но эти колебанія бываютъ особенно сильно выражены, благодаря незначительной глубинѣ, такъ что въ литторальной области вода въ холодное время года холоднѣе, а въ теплое—наоборотъ—теплѣе, чѣмъ въ пелагической области. Разница можетъ достигать величины нѣсколькихъ градусовъ какъ въ ту, такъ и въ другую сторону.

г) Вода береговой банки освѣщается очень сильно. При глубинѣ всего въ нѣсколько метровъ поглощеніе свѣта незначительно, и свѣтъ проникаетъ до дна мало ослабленнымъ.

д) Прозрачность воды подвержена значительныхъ колебаніямъ. Въ общемъ литторальныя воды доступны разнообразнымъ загрязненіямъ и поэтому онѣ не такъ чисты, какъ воды пелагическія. Если илъ и песокъ береговой банки поднимаются волнами, идущими къ берегу, или, если теченія приносятъ нагруженную иломъ воду притоковъ, то вода взмучивается и становится непрозрачной. Тогда граница видимости можетъ лежать всего лишь на нѣсколькихъ дециметрахъ глубины.

е) Изъ этого слѣдуетъ, что въ водѣ береговой банки содержатся въ избыткѣ и органическія, и минеральныя составныя части и что поэтому здѣсь какъ растенія, такъ и животныя, могутъ находить себѣ богатую пищу. Далѣе не надо забывать, что береговая банка, благодаря своему положенію вблизи твердой земли, является главнымъ складочнымъ мѣстомъ атмосферной пыли, приносимой вѣтрами къ озеру. Частицы этой пыли являются не мало-значительнымъ источникомъ всякаго рода питательныхъ веществъ.

ж) Въ химическомъ отношеніи составъ литторальной воды одинаковъ съ составомъ остальныхъ частей озера. Но положеніе этой области сейчасъ у берега обуславливаетъ легкую возможность загрязненія ея водою притоковъ, ручьевъ или сточныхъ каналовъ человеческихъ поселеній. Съ одной стороны, живыя существа находятъ въ такихъ мѣстахъ богатую для себя пищу, съ другой же—отводные каналы могутъ доставлять также и вредныя вещества, дѣйствующія смертельнымъ образомъ на организмы. Особенно это можно наблюдать въ озерахъ, въ окрестностяхъ которыхъ расположены опредѣленные фабрики.

Подведемъ теперь итоги тѣмъ жизненнымъ условіямъ, въ которыхъ находится въ біологическомъ отношеніи зона береговой банки.

Жизненные условия этой части озера, смотря по мѣсту, могут быть выражены крайне различно, представляя сильныя колебанія. Вся эта область подвержена относительно сильнымъ движеніямъ волнъ, а также химическимъ, физическимъ и механическимъ реакціямъ; питательныя вещества находятся въ избыткѣ какъ въ растворѣ, такъ и въ суспендированномъ видѣ.

Эти условия дѣлаютъ возможнымъ жизнь безчисленнаго множества очень разнообразныхъ животныхъ и растительныхъ группъ. Здѣсь поселяются и разводятся всѣ тѣ водяныя животныя и растенія, которыя могутъ противостоятъ удару волнъ. Литторальная флора и фауна очень богаты и сильно расчленены.

Литторальнымъ организмамъ присущи слѣдующія отличительныя черты, проистекающія изъ общихъ жизненныхъ условий среды:

1. Значительно развитая способность механической сопротивляемости, дающая возможность противостоятъ разрушительнымъ вліяніямъ сильныхъ бурь. Эта особенность относится какъ къ неподвижно прикрѣпленнымъ организмамъ, такъ и къ свободно живущимъ. Последніе во время бури находятъ для себя безопасное убѣжище въ разныхъ укромныхъ уголкахъ.

2. Способность сильнаго противодѣйствія термическимъ колебаніямъ. Организмъ при этомъ или приспосабливается къ крайностямъ температуры, или же вырабатываетъ особыя формы своего покойнаго существованія въ видѣ сѣмянъ, споръ, яицъ, цистъ, личиночныхъ формъ, съ успѣхомъ противодѣйствующихъ разрушительному вліянію неблагоприятнаго времени года.

3. Очень сильная пигментація, вообще свойственная тѣмъ организмамъ, которые подвержены сильному дѣйствію солнечныхъ лучей.

Большія различія дна береговой банки, въ зависимости отъ мѣста, влекутъ за собою различія въ группировкахъ организмовъ. Мы можемъ отличить слѣдующія фаціи:

а) *Фація скаль*. Вертикальныя и горизонтальныя поверхности скаль, возведенныя рукой человѣка стѣны, набережныя, молы гаваней, сваи — служатъ опорой для ковра изъ водорослей (*Algenteppich*). Виды *Plotrix*, *Cladophora*, *Oscillaria* образуютъ здѣсь бархатистый, болѣе или менѣе нитчатый, покровъ, который при сильномъ начальномъ періодѣ роста хлорофильныхъ водорослей кажется зеленымъ, позднѣе же, когда его покрываютъ размножившіяся діатомеи, превращается въ буроватый. Въ качествѣ исключенія въ образованіи этого ковра могутъ принимать участіе нѣкоторые мхи, *Fontinalis* и др. Изъ животныхъ мы находимъ личинокъ сѣтчатокрытыхъ, строящихъ здѣсь свои шелковистые ходы, ползающихъ брюхоногихъ моллюсковъ-прудовиковъ и губокъ, распространившихся въ видѣ пластинокъ, напоминающихъ лишай.

б) *Фація грубаго гравія*. Встрѣчающіяся подъ водою скопленія камней, каковы, напримѣръ, остатки прежнихъ, разрушенныхъ водою, моренъ, стараго побережья, старыхъ свайныхъ построекъ или искусственныхъ нагроможденій, служатъ мѣстомъ для чрезвычайно богатаго населенія. Камни покрыты ковромъ изъ водорослей, подобно тому, какой встрѣчается на стѣнахъ и скалахъ; на отдѣльныхъ мѣстахъ или въ опредѣленныхъ озерахъ они затягиваются туфовидными образованиями, толщиной отъ одного миллиметра до сантиметра, инкрустирующихъ водорослей, ривулярій—какъ-то: *Euactis calcivora*, *Hydrocoleum calcilegum*.

Въ коврѣ изъ водорослей живетъ и ползаетъ множество представителей всѣхъ водяныхъ типовъ: личинки наѣдомыхъ, водяные клещи, ракообразныя, моллюски, мшанки, черви и т. д. Сюда же надо присоединить свободно живущихъ и повсюду встрѣчающихся животныхъ, которыя копошатся въ литторальной области, это — раки *Entomostraca*, коловратки и простѣйшія.

Вообще же, крупный гравій является въ видѣ покоящихся другъ около друга на илѣ или пескѣ камней, расположенныхъ въ видѣ болѣе или менѣе связной мостовой. Между камнями и подъ ними живутъ группы животныхъ, свойственныхъ песку и илу. Въ грубомъ хрящѣ къ этимъ животнымъ присоединяются поэтому еще и тѣ, которыя обитаютъ въ камняхъ.

Фауна грубаго гравія значительно богаче фауны стѣнъ и скаль, такъ какъ свободно живущія животныя находятъ или строятъ для себя убѣжища подъ камнями, въ которыхъ они находятъ защиту какъ отъ сильныхъ волнъ, такъ и отъ своихъ враговъ.

в) *Фація песка*. Гдѣ на береговой банкѣ выступаетъ чистый песокъ, отдѣльныя зерна котораго не погружены въ илѣ, тамъ мы встрѣчаемъ бѣднѣйшую область. Здѣсь животныя и растительныя организмы, по всей видимости, не находятъ достаточно или совсѣмъ не находятъ подходящихъ для своего существованія условий. Крѣпко укореняющіяся растенія обыкновенно отсутствуютъ вовсе¹⁾. Почему? Въ качествѣ исключенія при тихой погодѣ можетъ развиваться органическій войлокъ, состоящій изъ діатомей. Здѣсь и тамъ могутъ встрѣчаться въ пескѣ отдѣльные экземпляры щетинконогихъ червей или личинокъ двукрылыхъ, пластинчатожаберныя моллюски (*Anodonta*, *Unio*, *Cyclas*

¹⁾ Корни водяныхъ растений, повидимому, не играютъ значительной роли въ ихъ жизни. Они могутъ быть совершенно лишены гумуса. Поэтому надо полагать, что крѣпко укореняющіяся водяныя растенія, которыя, по крайней мѣрѣ у насъ, всѣ обладаютъ подземными корневищами, могли бы пустить достаточно длинныя корни, чтобы прочно укрѣпиться даже въ самомъ подвижномъ пескѣ.

или *Pisidium*). Но все-таки въ общемъ песчаная область береговой банки должна быть названа почти бесплодной.

г) *Фація ила*. Совершенно другія условія мы находимъ тамъ, гдѣ береговая банка илиста. Ея массы, состоящія изъ неорганическихъ, тонкихъ, какъ пыль, частицъ, смѣшаны съ большимъ или меньшимъ количествомъ распавшихся органическихъ веществъ, образуя кашицеобразную массу. Снабженные корнями сѣменные растенія (*Potamogeton*, *Ceratophyllum*, *Myriophyllum*) образуютъ густыя заросли, которыя поистинѣ могутъ быть названы подводными лѣсами. Тонкіе, гибкіе, мягкіе побѣги этихъ травовидныхъ, часто въ метръ высотой, растеній, разнообразно развѣтвленныхъ и снабженныхъ линейными листьями, образуютъ отдѣльные кусты, которые, раздѣленные лужайками, представляютъ порою для посвященнаго глаза чудесные ландшафты. Большинство этихъ растеній перезимовываетъ лишь въ видѣ корневищъ или зимнихъ почекъ. Водяные, несущіе листья, побѣги, по большей части, бываютъ однолѣтними и развиваются весною съ поразительной быстротою. Осенью они отмираютъ, сгниваютъ и въ видѣ настоящихъ комPOSTныхъ кучъ отлагаются на илѣ, если только не будутъ унесены обратными теченіями во время бури въ озеро, или не будутъ выброшены прибоемъ на берегъ. Харовыя образуютъ густо переплетенныя непроницаемыя заросли въ нѣсколько дециметровъ вышиною. Весь этотъ лѣсъ несетъ въ качествѣ эпифитовъ безчисленныя водоросли, въ особенности діатомовыя. На этихъ растеніяхъ селятся временно или живутъ постоянно міриады животныхъ: насѣкомыя, водяные клещи, ракообразныя, моллюски, мшанки, черви, коловратки, простѣйшія тѣсно здѣсь скучены. Вся эта органическая жизнь крайне интенсивна и разнообразно измѣнчива.

д) *Фація жирнаго ила* (Schlick). На защищенныхъ мѣстахъ, гдѣ вливается въ озеро притокъ со сточными водами, богатыми органическими веществами, тамъ образуются скопленія жирнаго ила. Черноватый цвѣтъ и рѣзкій, отвратительный запахъ являются его отличительными чертами. Здѣсь энергично происходятъ процессы броженія съ выдѣленіемъ большихъ массъ болотнаго и сѣроводороднаго газовъ. Встрѣчающіяся тутъ биологическія группы соответствуютъ такимъ же группамъ ила. Надо отмѣтить преобладаніе щетинконогихъ червей и личинокъ двукрылыхъ. Зеленныя водоросли, покрывающія пленками камни, стѣны, сваи, замѣняются вблизи стоковъ шизомикетами, какъ-то: *Sphaerotilus*, *Cladothrix* и друг. Они образуютъ бѣловатые бархатистые налеты, соответствующіе зеленымъ коврамъ *Ulothrix* чистыхъ водъ.

е) *Фація гаваней*. Естественныя и искусственныя, защищенныя мысами или молами, гавани могутъ быть рассматриваемы, какъ разно-

видность береговой банки. Волненіе дѣйствуетъ здѣсь очень слабо, и даже нѣжныя растенія могутъ ему противостоятъ. Вода возобновляется труднѣе и медленнѣе, чѣмъ у открытаго берега. Она часто бываетъ сильно загрязнена растворенными органическими веществами, а дно порою бываетъ покрыто жирнымъ иломъ. Здѣсь находятъ убѣжище не только представители литторальнаго міра, но и нѣкоторыя изъ сѣменныхъ растеній, не встрѣчающіяся на подверженной дѣйствію волнъ береговой банкѣ. Сюда принадлежатъ *Nymphaeaceae*, виды *Batrachium* (*Ranunculus aquatilis*), *Elodea canadensis* и пр.; всѣ они, защищенные отъ удара бурныхъ волнъ, пышно здѣсь развиваются.

ж) *Фація свала* (Halde). Съ наружной стороны береговая банка опускается въ глубину въ видѣ свала (отсыпи), который въ биологическомъ отношеніи можетъ быть рассматриваемъ въ качествѣ подъ-области береговой банки. Дно свала состоитъ изъ тонкаго, болѣе или менѣе илистаго, песка. Глубина воды слишкомъ значительна, чтобы здѣсь была возможная жизнь явноточныхъ, цвѣточный стебель которыхъ долженъ выходить наружу, надъ поверхностью воды. Харовыя, напротивъ, разрастаются здѣсь всего обильнѣе. Ихъ плотно перепутанныя заросли скрываютъ въ себѣ богатую фауну. Особенно много встрѣчается тутъ брюхоногихъ моллюсковъ (*Limneus*, *Bythinia*, *Valvata* и проч.).

Итакъ, мы разсмотрѣли въ биологическомъ отношеніи главнѣйшія подраздѣленія береговой банки въ ихъ послѣдовательномъ порядкѣ. Въ нѣкоторыхъ озерахъ, при особыхъ обстоятельствахъ, они могутъ имѣть специфическія особенности. Мы не можемъ входить въ ихъ разсмотрѣніе въ общемъ озеровѣдѣніи, а должны предоставить это монографическимъ описаніямъ отдѣльныхъ озеръ.

Жизненные условія литторальной части озера въ противоположность таковымъ же другихъ прѣсныхъ водъ, могутъ быть сведены къ слѣдующему:

а) Въ противоположность текучей водѣ рѣкъ, вода литторальной области относительно спокойна.

б) Въ противоположность водѣ болотъ, она непрерывно возобновляется вслѣдствіе волнъ и теченій.

в) Во время бури она подвержена сильнымъ и могучимъ механическимъ воздѣйствіямъ.

г) Въ противоположность подземнымъ водамъ, она сильно освѣщена. Определенное число формъ сообществъ болотныхъ, рѣчныхъ и подземныхъ, благодаря этимъ свойствамъ береговой банки, исключено, но тѣмъ не менѣе она содержитъ въ себѣ большое число формъ, характерныхъ для прѣсныхъ водъ. Благодаря разнообразнымъ и перемѣнчивымъ жизненнымъ условіямъ, представляемымъ береговой бан-

кой въ ея подь-областяхъ, литторальная озерная группа является вообще самымъ типичнымъ сообществомъ обитателей прѣсныхъ водъ.

4. Глубоководная область

охватываетъ собою дно озера и непосредственно прилегающія къ нему водныя массы, расположенныя за границею литторальной области. Со стороны берега она ограничена мѣстомъ появленія зеленыхъ растений на глубинѣ около 10—25 м. и вслѣдствіе этого распространяется по всѣмъ склонамъ озерного ложа. За исключеніемъ немногихъ мѣстъ, представляющихъ склоны ложа съ угломъ наклоненія болѣе 40°, на которыхъ выступаютъ наружу скалы и на которыхъ не можетъ задержаться аллювій, дно глубоководной области состоитъ повсюду изъ очень тонкаго ила, который лишь вблизи береговъ заключаетъ въ себѣ отдѣльныя крупинки песка. Этотъ аллювій состоитъ изъ частицъ принесеннаго притоками и волнами обломочнаго матеріала, который, благодаря своему происхожденію изъ разныхъ частей бассейна, имѣетъ очень сложный минералогическій составъ. По большей части илѣ представляетъ собою смѣсь известковыхъ и кремнистыхъ частей. Его составъ отличается простотой только въ странахъ съ однообразной геологической и петрографической природой. Болѣе грубый матеріалъ встрѣчается здѣсь лишь въ качествѣ исключенія. Такъ, напримѣръ, при большомъ половодѣ можетъ быть вынесенъ изъ рѣчного устья грубый рѣчной гравій на большія глубины, гдѣ онъ и отлагается, или нормальный озерный аллювій можетъ быть покрытъ гальками при обвалѣ береговъ.

Жизненные условія въ этой глубинной области вкратцѣ сводятся къ слѣдующему:

а) Большое гидростатическое давленіе, которое увеличивается на одну атмосферу съ каждымъ 10 метрами глубины.

б) Почти полная неподвижность воды. Волны здѣсь вовсе не оказываютъ непосредственнаго вліянія; единственно замѣтными являются одни только теченія. Но послѣднія, являясь слишкомъ слабыми для того, чтобы они были въ состояніи затронуть илѣ, достаточно сильны, чтобы переносить суспендированные въ водѣ организмы и ихъ зародыши.

в) Низкая и почти постоянная температура. По мѣрѣ углубленія амплитуда температурныхъ колебаній убываетъ. Суточные колебанія совсѣмъ пропадаютъ уже въ самыхъ верхнихъ слояхъ глубоководной зоны; годовыя проникаютъ на глубину почти до 100 метровъ. Лишь циклическія колебанія доходятъ до самыхъ большихъ глубинъ, но ихъ амплитуда очень незначительна и рѣдко превосходитъ 1—2°. На

большихъ глубинахъ умѣренныхъ озеръ температура колеблется вблизи 4°, въ полярныхъ озерахъ она всегда нѣсколько ниже 4°, въ тропическихъ—превосходитъ болѣе или менѣе эту температуру.

г) Верхніе слои еще освѣщены, хотя и слабо, въ нижнихъ же отсутствуетъ всякій признакъ свѣта.

д) Вода озера на склонахъ ложа совершенно прозрачна, за нѣкоторымъ исключеніемъ вблизи устья рѣки, воды которой замутнены иломъ. Мутная вода слѣдуетъ къ большимъ глубинамъ по направленію наибольшаго паденія. Замутненіе наступаетъ также тамъ, гдѣ бурныя волны поднимаютъ илѣ литторальной области, и такъ увеличиваютъ этимъ плотность воды, что послѣдняя опускается внизъ вдоль склона на глубину. Къ водѣ центральной равнины озера примѣшивается такимъ образомъ та часть рѣчныхъ и литторальныхъ водныхъ массъ, плотность которыхъ, вслѣдствіе суспендированныхъ частицъ, болѣе, чѣмъ самыя плотныя воды озера. Эта мутная вода собирается на самыхъ большихъ глубинахъ; поэтому вода, находящаяся непосредственно надъ центральной равниной, по большей части бываетъ мутной.

е) Химическій составъ воды глубоководной области. На склонахъ находится озерная вода, непосредственно же надъ дномъ, напротивъ, мы имѣемъ измѣнчивую смѣсь тяжелыхъ рѣчной и литторальной водъ съ озерной. Содержаніе растворенныхъ органическихъ веществъ здѣсь то же самое, какъ и въ остальныхъ частяхъ озера; содержаніе растворенныхъ газовъ приблизительно соответствуетъ таковому же въ поверхностной водѣ (см. выше, стр. 73 и слѣд.).

ж) Инородныя тѣла, служащія пищею для организмовъ, могутъ достигать глубинъ озера двумя различными способами: случайно и крайне неравномѣрно при помощи термическихъ, механическихъ и гидростатическихъ конвекціонныхъ токовъ, которые вводятъ въ глубинныя области обремененную взвѣшенными въ ней органическими и минеральными веществами воду литторальной зоны, съ поверхности и изъ притоковъ; но затѣмъ также совершенно равномѣрно и непрерывно, благодаря гидростатической миграціи, совершается опусканіе на дно отжившихъ пелагическихъ организмовъ, трупы которыхъ проходятъ, благодаря своей тяжести, черезъ средніе слои озера до самаго дна. По количеству содержащихся въ илѣ глубоководной области остатковъ пелагическихъ организмовъ можно заключать, что этотъ источникъ пищи очень богатъ.

Жизненные условія глубоководной области, сведенныя во едино, могутъ быть выражены слѣдующимъ образомъ: почти абсолютный покой въ отношеніи механическихъ, вибраціонныхъ и молекулярныхъ дѣйствій. Вся область представляетъ собою спокойствіе, холодъ и мракъ. Жизненные условія чрезвычайно однообразны и подвержены

небольшимъ или въ высшей степени незначительнымъ колебаніямъ. Надо думать, на всей земной поверхности не существуетъ ни одной другой области, обитаемой живыми существами, гдѣ въ такой степени господствовали бы столь полный покой и однообразіе жизненныхъ условий. Здѣсь происходитъ значительный притокъ питательныхъ веществъ, а нужные для дыханія газы имѣются въ достаточномъ количествѣ.

Характерно далѣе отсутствіе твердыхъ предметовъ, на которыхъ могли бы осѣдать животныя и растенія, требующія твердой опоры; въ качествѣ исключенія могутъ встрѣчаться въ глубоководной области камни, упавшіе съ транспортныхъ судовъ или занесенные льдинами, или древесные стволы и корни, вынесенные теченіями въ пелагическую область, вполне напитавшіеся водою и затонувшіе.

Не смотря на жалкое и бѣдное положеніе среды, въ глубоководной области живетъ біологическое сообщество, замѣчательное во многихъ отношеніяхъ. Зеленыхъ растений здѣсь нѣтъ, такъ какъ, согласно нашему опредѣленію, крайняя черта появленія хлорофиллоносныхъ растений является границей между литторальной и глубоководной областями. Въ качествѣ единственного и до сихъ поръ необъясненнаго исключенія изъ этого правила нужно упомянуть о замѣчательномъ мхѣ, *Thamnium Lemni* (J. B. Schnetzler), который мнѣ приходилось находить въ вполне развитомъ состояніи на подводной моренѣ «Yvoire» въ Женевскомъ озерѣ на глубинѣ 60 метровъ. На склонахъ до 80 и до 100 м. глубины встрѣчается скудная растительность изъ водорослей *Oscillaria* и *Parmellaceae*. Напротивъ, діатомовыя попадаются здѣсь въ большомъ количествѣ и въ очень различныхъ группировкахъ. Поверхностный слой ила, на которомъ живутъ эти организмы, показываетъ замѣчательную консистенцію; онъ является довольно связнымъ, и частички его можно отдѣлять пинцетомъ въ видѣ чешуекъ. Этотъ илъ образуетъ относительно твердый коверъ бархатисто-бураго цвѣта, на которомъ могутъ двигаться и къ которому могутъ прикрѣпляться животные организмы. Въ то время года, когда вода чиста, онъ простирается глубже. Такимъ образомъ, видимо, онъ находится въ зависимости отъ дѣйствія свѣта. Мы прилагаемъ къ этому слою выраженіе «органической войлокъ». Его верхнія части состоятъ изъ *Parmellaceae*, *Chroococcaceae* и мириадъ діатомей. Діатомей верхней зоны глубоководной области не свойственны этой послѣдней. Онѣ возникаютъ въ литторальной части и уже отсюда случайно заносятся. При помощи вѣтра, дующаго съ берега, онѣ выносятся въ открытое озеро и здѣсь опускаются на глубину. Тамъ онѣ продолжаютъ свое прозябаніе, если не опускаются нѣсколько глубже освѣщаемыхъ слоевъ, въ которыхъ только и возможны ихъ

питательныя функціи. Лѣтомъ, когда вода, сравнительно, мало прозрачна, онѣ, вѣроятно, совсѣмъ пропадаютъ.

Такъ объясняется измѣнчивый и разнообразный составъ часто очень различной діатомовой флоры органическаго войлока въ глубинной области. Консистенція органическаго войлока обуславливается нитями осциллярій. Впрочемъ, этотъ войлокъ не ограничивается глубоководной областью, но его можно наблюдать также на береговой бонкѣ, на днѣ прудовъ и рѣкъ, короче говоря, всюду, гдѣ разрастаются низшія водоросли. Группировка составляющихъ его видовъ видоизмѣняется отъ мѣста къ мѣсту; на большихъ глубинахъ опредѣленныхъ озеръ, илъ которыхъ очень мягокъ и подобенъ мѣлу, названный войлокъ отсутствуетъ.

Въ противоположность бѣдной флорѣ глубоководной области фауна ея можетъ быть названа относительно богатой. Большое число типовъ, свойственныхъ илу, имѣетъ здѣсь своихъ представителей, такъ же какъ и животныя, обитающія въ илѣ [личинки *Diptera*, *Chaetopoda*, *Nemotoda*, пластинчатожаберные моллюски (*Pisidium*)] и бѣгающія или ползающія по нему (*Limneus* и *Valvata*); водяные клещи и плавающія или скорѣе прыгающія, скачущія животныя, которыя, хотя не могутъ плавать, носясь въ водѣ, но могутъ свободно передвигаться по поверхности ила (ракообразныя—*Amphipoda*, *Isopoda*, *Cladocera*, *Copepoda*, *Ostracoda*, рѣснитчатые черви, инфузоріи и корненожки). Фауна глубоководной области состоитъ почти изъ 50—100 видовъ, принадлежащихъ къ разнымъ группамъ озерныхъ животныхъ.

Всѣ животныя формы глубинъ очень малы, слабы, плохо пигментированы, часто слѣпы. Они вполне соотвѣтствуютъ спокойному, неподвижному, неизмѣнчивому характеру среды.

Въ главѣ о происхожденіи озерной фауны и флоры мы увидимъ, какимъ образомъ организмы глубоководной области попали сюда. Въ настоящій моментъ мы удовольствуемся указаніемъ на то, что эти формы здѣсь размножаются и множатся. У большинства мы нашли яйца, цисты, личинокъ или молодые стадіи. Такимъ образомъ, эти формы являются формами окончательно осѣдлыми, а не могутъ считаться случайно попавшими. Поэтому мы имѣемъ полное основаніе говорить о *глубоководной фаунѣ*.

Въ глубоководной области озера недостаетъ замѣчательнымъ образомъ отдѣльныхъ типовъ, которые въ литторальной области широко распространены. Констатированіе ихъ отсутствія затруднительно, такъ какъ основывается лишь на отрицательныхъ наблюденіяхъ. Одинъ счастливый ловъ можетъ уничтожить результатъ многочисленныхъ болѣе раннихъ лововъ. Но мы убѣждены, что не впадемъ въ ошибку, если будемъ утверждать, что въ глубоководной области Женевского

озера отсутствуют *Spongiae* и *Najadeae*. Этот фактъ тѣмъ болѣе замѣчательнъ, что *Spongillae* очень часто встрѣчаются въ глубокихъ частяхъ океана и что *Najadeae* являются обитателями ила, которые на днѣ глубокихъ областей озера должны были бы найти превосходныя условія жизни.

5. Пелагическая область ¹⁾.

Пелагическая область охватываетъ всю водную массу открытаго озера за исключеніемъ береговой воды и воды области глубинъ. Она далеко простирается отъ поверхности въ глубину, но все-таки не достигаетъ прямого соприкосновенія съ дномъ озера.

Важнѣйшія условія жизни въ этой средѣ слѣдующія:

а) Почти полное отсутствіе мѣстъ прикрѣпленія. Только на отдѣльныхъ обломкахъ растений или на трупахъ животныхъ, носимыхъ по открытому озеру, можно найти сидячіе, по большей части, занесенные (эпратические) организмы.

б) Полное отсутствіе укромныхъ уголковъ, которые могли бы служить для животныхъ убѣжищемъ отъ ихъ преслѣдователей.

в) Спокойная вода. Хотя поверхность ея и приходитъ въ движеніе вслѣдствіе волнъ, но ихъ дѣйствіе прекращается совершенно на глубинѣ уже нѣсколькихъ метровъ; здѣсь, во всей водной массѣ, непрерывно господствуетъ почти абсолютный покой.

г) Небольшое гидростатическое давленіе на поверхности. Съ каждыи 10 метрами давленіе увеличивается на 1 атмосферу.

д) Интенсивное освѣщеніе поверхности, ослабѣвающее съ глубиной; въ глубокихъ слояхъ господствуетъ относительная или абсолютная темнота.

¹⁾ Я предпочитаю выраженіе «пелагическій» предложенному Геккелемъ названію «лимнетическій». Выраженіе «пелагическій» (отъ *πéλαγος* = открытое море въ противоположность литторальному, прибрежному морю) было введено впервые Е. П. Мюллеромъ и съ того времени употребляется и посейчасъ, болѣе чѣмъ 25 лѣтъ, для того, чтобы обозначить верхнюю центральную часть озера за исключеніемъ области глубинъ. Выраженіе это никогда не давало повода къ какимъ-либо недоразумѣніямъ. Если необходимо, то можно легко придать ясность путемъ прибавленія поясняющихъ опредѣленій, для того чтобы различать морскіе пелагическіе и прѣсноводные пелагическіе организмы. «Лимнетическій» — греческое выраженіе для относящагося къ озерамъ, которое обозначаетъ все то, что стоитъ въ соотношеніи съ озеромъ. Только путемъ ограничительнаго опредѣленія слова «лимнетическій» можно перенести его смыслъ на пелагическую часть озеръ. Такой неологизмъ, для котораго не усматривается никакой необходимости и который, къ тому же, нуждается въ особомъ объясненіи, долженъ быть обозначенъ, какъ излишнее затрудненіе уже и такъ запутаннаго научнаго способа выраженія. «Лимно-пелагическій» было бы болѣе подходящимъ словомъ.

е) Большая прозрачность воды; только въ видѣ исключенія загрязняется она на поверхности рѣчною, болѣе легкою, водою.

ж) Измѣненіе температуры въ поверхностныхъ слояхъ въ теченіе суточного и годового періодовъ. Интенсивность термическихъ колебаній ослабѣваетъ вмѣстѣ съ глубиной; въ наиболѣе глубокихъ слояхъ въ теченіе всего года температура колеблется около 4°. Озера въ холодныхъ странахъ замерзаютъ зимою на поверхности.

з) Постоянство химическаго состава воды въ срединныхъ и глубокихъ слояхъ озера. Только то здѣсь, то тамъ составъ воды на поверхности нѣсколько измѣняется отъ примѣси рѣчной или дождевой воды.

и) Бѣдность питательными матеріалами, кромѣ поверхности, на которой находятся атмосферная пыль и происходящая съ берега вещества разнаго рода, приносимыя теченіями или вѣтрами.

Въ этой то средѣ, при перечисленныхъ выше условіяхъ жизни, живетъ интересное біологическое сообщество животныхъ, состоящее изъ немногихъ, но представленныхъ безчисленными экземплярами, типовъ, индивидуальное число которыхъ достаточно велико, чтобы играть значительную роль въ экономіи озера. Эти типы находятся въ верхнихъ слояхъ области, съ поверхности до глубины почти 100 или 200 метровъ.

Представляю здѣсь списокъ родовъ по Анштейну ¹⁾, которые встрѣчаются въ пелагической флорѣ и фаунѣ сѣверно-германскихъ озеръ:

Растенія.

Schizophyceae:	Chroococcaceae:	<i>Clathrocystis</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Merismopedia</i> .
	Nostocaceae.	<i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> .
	Rivulariaceae.	<i>Gloiotrichia</i> .
Diatomeae:	Melosireae.	<i>Melosira</i> .
	Fragilarieae.	<i>Fragilaria</i> , <i>Asterionella</i> , <i>Synedra</i> .
	Diatomeae.	<i>Diatoma</i> .
Chlorophyceae:	Choetocereae.	<i>Atheia</i> , <i>Rhizosolenia</i> .
	Desmidiaceae.	<i>Staurastrum</i> .
	Protococcaceae.	<i>Pediastrum</i> .
	Volvoceae.	<i>Volvox</i> , <i>Eudorina</i> , <i>Pandorina</i> .
Phaeophyceae:	Chrysomonadina.	<i>Dinobryon</i> , <i>Mallomonas</i> .
	Peridinida.	<i>Ceratium</i> , <i>Peridinium</i> , <i>Gymnodinium</i> , <i>Glenodinium</i> .

¹⁾ Apstein: Das Süßwasserplankton. Kiel, 1896.

Животныя.

Protozoa:	Rhizopoda, Foraminifera.	Cyphoderia.
	Heliozoa.	Actinophrys.
	Infusoria, Ciliata.	Trachelius, Codonella, Tintinnidium, Strauro- phrya.
Vermes:	Platyhelminthes, Turbellaria.	Castrada.
	Rotatoria.	Rhizota, Conochilus. Illoricata. Microco- don, Asplanchna, Syn- chaeta, Polyarthra, Triarthra, Hudsonella, Gastroschiza.
		Loricata. Mastigo- cerca, Diurella, Pom- pholix, Chromogaster, Anurea, Notholca.
Arthropoda:	Crustacea, Cladocera.	Scirtopoda. Pedalion. Sida, Daphnella, Daphnia, Bosmina, Chydorus, Leptodora, Bythotre- phes.
	Copepoda.	Cyclops, Diaptomus, Eurytemora, Hetero- cope.
Mollusca:	Arachnoidea, Acarina.	Atax, Curvipes.
	Lamellibranchiata.	Dreysena.

Забѣгая нѣсколько впередъ, мы можемъ присоединить къ этому перечню еще водяныхъ птицъ, перепончатоногихъ открытаго озера, нѣсколькихъ рыбъ, въ особенности сиговъ, являющихся совершенно исключительными пелагическими видами, а равно нѣсколькихъ, повсюду встрѣчающихся, хищныхъ рыбъ, преслѣдующихъ сиговъ.

Лимнопелагическіе организмы отличаются слѣдующими общими признаками:

Они всѣ или взвѣшены въ водѣ, носятся ею, или сами плаваютъ. Лишь нѣсколько инфузорій сидятъ на водоросляхъ (*Vorticella* на *Anabaena*), или являются въ качествѣ эктопаразитовъ (*Epistylis* на различныхъ *Copepoda*). Ихъ удѣльный вѣсъ почти равенъ вѣсу воды. Они свободно взвѣшены въ водѣ, или же дѣлаютъ лишь совсѣмъ слабыя движенія для того, чтобы держаться въ состояніи равновѣсія.

По большей части ихъ удѣльный вѣсъ немного больше удѣльнаго вѣса воды, такъ что ихъ трупы медленно погружаются на глубину, если только образующіеся пузырьки гнилостныхъ газовъ не дадутъ

имъ достаточно плавучести, чтобы подняться на поверхность. Плотность нѣкоторыхъ водорослей менѣе плотности воды, такъ какъ онѣ имѣютъ въ своихъ клѣткахъ капельки масла или газовыя вакуоли; онѣ плаваютъ по поверхности. Entomostraca такъ же, какъ нѣкоторыя коловратки и простѣйшія, обладаютъ въ своей почти абсолютной прозрачности миметическимъ орудіемъ защиты, которое даетъ имъ возможность ускользать въ чистой водѣ отъ преслѣдованія враговъ. Пелагическіе организмы, живущіе въ интенсивно освѣщаемой области, очень сильно пигментированы; ихъ окраска бросается въ глаза. Даже совершенно прозрачныя животныя обладаютъ отдѣльными, сильно блестящими, пигментными пятнами.

Теперь является вопросъ, есть ли въ озерахъ дѣйствительно пелагическія группы, нахожденіе которыхъ ограничивается верхними слоями открытаго озера, или же это предположеніе, согласно взглядамъ Цаха-ріаса¹⁾ и Шрётера²⁾, должно быть отвергнуто? Эти оба автора опираются на тѣ факты, что извѣстное число пелагическихъ организмовъ было найдено въ литторальной области, а, вмѣстѣ съ тѣмъ, нѣкоторые литторальные организмы—въ пелагической области. Отсюда эти изслѣдователи заключаютъ, что разница между литторальнымъ и пелагическимъ сообществами искусственна и не оправдывается, и называютъ все собраніе организмовъ, живущихъ въ верхнихъ слояхъ озера, *лимнетическими*, независимо отъ того, происходятъ-ли эти организмы изъ пелагической или литторальной области.

Противъ этого довода я могъ бы возразить вкратцѣ слѣдующее: твердо установлено, что, съ одной стороны, дующій на берегъ вѣтеръ очень часто, вмѣстѣ съ водою, приноситъ къ берегу изъ центральной области озера и организмы, и что, съ другой стороны, при пелагическихъ ловахъ часто были находимы литторальныя водоросли, вынесенныя въ открытыя воды озера вѣтромъ, дующимъ съ берега. Такъ какъ нахожденіе этихъ эрратическихъ организмовъ, по большей части пассивно занесенныхъ въ чужія имъ области, хорошо извѣстно, то изъ этихъ фактовъ нельзя умозаключать, что они, вмѣстѣ съ постоянными видами данной области, составляютъ одну и ту же біологическую группу. Такія эрратическія формы не родились въ той области, гдѣ случайно онѣ были пойманы; въ ней онѣ и не размножаются. Вѣдь, довольно часто находятъ на открытомъ озерѣ трупы жуковъ и бабочекъ или занесенные сюда вѣтромъ или теченіями древесныя листья. Тѣмъ не менѣе, никому не придетъ въ голову уничтожить различіе между наземной и водяной фауной и флорой. Болотныя и рѣчныя организмы

¹⁾ Zacharias, Loc. cit., p. 27, 19.

²⁾ Schröter, Loc. cit. p. 8.

при высокомъ стояніи воды могутъ быть занесены въ озеро, гдѣ они и встрѣчаются въ качествѣ случайно попавшихъ. Разница между болотными, рѣчными и озерными группами все-таки остается въ своей силѣ. Озерные организмы уносятся изъ озера его истокомъ. Но даетъ ли это право не признавать разницы между озерными и рѣчными формами? Отнюдь нѣтъ! Поэтому я оставляю за собою право и впредь говорить о *пелагическихъ* группахъ; подъ этимъ выраженіемъ я понимаю собраніе организмовъ, живущихъ въ пелагической области озера, тамъ развивающихся и размножающихся. Наоборотъ, литторальные группы заключаютъ въ себѣ тѣ формы, которыя развиваются и размножаются въ литторальной области. Смѣшеніе между этими обѣими группами происходитъ лишь случайно. Формы, попадающіяся въ большемъ или меньшемъ количествѣ далеко отъ ихъ обычнаго мѣсто-нахождения, я характеризую какъ эрратическія (случайно занесенныя).

По примѣру Гензена ¹⁾, словомъ планктонъ (*πλανών* = блуждаю) обозначаютъ совокупность организмовъ, взвѣшенныхъ въ водѣ пелагической области и носимыхъ пассивно волнами или теченіями. Понятіе планктона охватываетъ растенія (водоросли) и беспозвоночныхъ животныхъ, у которыхъ самостоятельныя движенія сравнительно слабы. Собственно говоря, планктонъ есть ничто иное, какъ вся пелагическая группа, за исключеніемъ рыбъ и птицъ. Сюда относится все, что при-носитъ съѣсть изъ тонкаго шелковаго газа, протянутая въ водѣ пелагической области. Планктонный ловъ легко выполнимъ и даетъ богатую и очень разнообразную добычу. Собираніе озерного планктона усердно производилось различными естествоиспытателями. Назовемъ Апштейна ²⁾ въ Килѣ, Цахаріаса ³⁾ въ Плѣнѣ, Birge ⁴⁾ въ Висконсинѣ, К. Шрѣтера ⁵⁾ въ Цюрихѣ, Блана (Blanc) ⁶⁾ въ Лозаннѣ и др.

Собираніе планктона даетъ очень интересную исходную точку при изученіи біологіи пелагической области. Однако, окончательныхъ выводовъ до сихъ поръ еще не получено. Въ ожиданіи точныхъ обобщающихъ результатовъ, которое несомнѣнно должно дать изученіе планктона, я приведу здѣсь нѣкоторыя данныя, которыя мнѣ кажутся достаточно выясненными.

¹⁾ Hensen, Bestimmung des Planktons oder des im Meer treibenden Materials an Pflanzen und Tieren. V. Ber. d. Komm. z. wiss. Unters. d. Deutschen Meere. 1887.

²⁾ Apstein, Das Süßwasserplankton. Kiel, 1896.

³⁾ O. Zacharias, Forschungsbericht aus der biologischen Station zu Plön, Berlin 1893, ff.

⁴⁾ E. A. Birge, Plankton Studies on lake. Transact. of Wisconsin Academy of nat. Sc. X, 421; XI, 274. 1896—97.

⁵⁾ C. Schröter, Die Schwebeflora unserer Seen, Zürich, 1896.

⁶⁾ Blanc, Le Plancton nocturne du lac Léman. Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. XXXIV, 225, 1898.

Не касаясь чисто систематическаго-зоологическаго или ботаническаго—изслѣдованія, изученіе планктона ведется въ двухъ направленіяхъ:

а) Объемныя изслѣдованія. Опредѣляютъ количество планктона, осаживая на днѣ градуированнаго измѣрительнаго стакана организмы, пойманные шелковою сѣтью, и сравнивая затѣмъ объемъ органическаго осадка съ объемомъ воды, профильтрованной черезъ сѣть. Опыты по опредѣленію планктонныхъ массъ по вѣсу до сихъ поръ не увѣнчались успѣхомъ ¹⁾.

б) Статистическія изслѣдованія. Считаютъ число особей каждаго вида организмовъ, встрѣчающихся въ планктонѣ. Это производилось многократно съ удивительнымъ терпѣніемъ и настойчивостью.

Ловы производятся двояко. Вертикальный ловъ производится съ извѣстной глубины черезъ всѣ лежащія другъ на другѣ слои воды данной области. Горизонтальный ловъ относится къ слою лишь извѣстной глубины.

Изъ произведенныхъ до настоящаго времени наблюденій можно сдѣлать слѣдующіе общіе выводы:

А) Планктонъ обитаетъ въ верхнихъ слояхъ озера до глубины въ 40—50 метровъ и лишь въ качествѣ исключенія въ 100—200 метровъ. Болѣе глубокіе слои содержатъ только трупы пелагическихъ организмовъ, медленно опускающіеся на дно озера.

Б) Распределеніе различныхъ видовъ пелагическихъ организмовъ въ расположенныхъ одинъ надъ другимъ слояхъ воды измѣняется съ часа на часъ, отъ однихъ сутокъ къ другимъ, отъ сезона къ сезону. Въ общемъ, поверхностные слои населены всего сильнѣе.

В) Нѣкоторые виды появляются лишь въ извѣстное время года, другіе же встрѣчаются круглый годъ.

Г) Водоросли по ихъ плотности образуютъ двѣ группы. Тѣ водоросли, которыя легче воды, плаваютъ по верху и составляютъ плавающую флору; тѣ же, которыя по вѣсу равны водѣ, представляютъ собою взвѣшенную флору (*Schwebeflora*, C. Schröter). Плавающая флора отчасти входитъ въ такъ называемое «цвѣтеніе воды» ²⁾.

Д) Пелагическія *Entomostraca* (а можетъ быть, также и *Rotatoria*) подвержены суточнымъ періодическимъ миграціямъ: ночью они находятся на поверхности, днемъ же переселяются въ болѣе глубокіе слои, вѣроятно, на нижнюю границу освѣщеннаго слоя (Вейсманъ, Форель).

¹⁾ Ср. Zacharias, Forschungsbericht, III, 1897, 59.

²⁾ Такъ называемое «цвѣтеніе воды» состоитъ часто изъ скопленія массъ цвѣточной пыли, особенно хвойныхъ деревьевъ, доставляемой въ озеро вѣтромъ и притоками.

Е) Въ одномъ и томъ же озерѣ количество планктона колеблется по временамъ года. Въ теплый періодъ его больше, нежели въ холодный (Захаріасъ, Апштейнъ, Birge, Форель). Весною, повидимому, замѣчается въ нѣкоторыхъ случаяхъ главный максимумъ, а осенью—вторичный.

Въ качествѣ примѣра можно привести слѣдующія данныя, найденныя Захаріасомъ ¹⁾ въ Плѣнскомъ озерѣ за 1894—95 г.г. Они выражаютъ въ кубическихъ сантиметрахъ количество планктона, содержащагося въ водяномъ столбѣ, основаніе котораго равно 1 кв. м., а высота—40 м.

	Куб. сант.		Куб. сант.
Октябрь	118	Апрѣль	43
Ноябрь	100	Май	173
Декабрь	28	Іюнь	128
Январь	21	Іюль	306
Февраль	17	Августъ	509
Мартъ	18	Сентябрь	140

Ж) Количества планктона въ двухъ сосѣднихъ озерахъ могутъ быть совершенно различны. Такъ, Апштейнъ ²⁾ нашелъ:

	Maximum куб. сант. на 1 кв. метрѣ.	Minimum
Плѣнское озеро.	13	424
Доберсдорфское озеро.	136	3.977

Ловы, произведенные мною на одной и той же недѣлѣ въ маѣ мѣсяцѣ 1896 г., дали:

Въ Боденскомъ озерѣ	13 куб. сант. на 1 кв. м.
„ Цюрихскомъ „	260 „ „ „ 1 „ „
„ Женевскомъ „	126 „ „ „ 1 „ „
„ Нейенбургскомъ „	45 „ „ „ 1 „ „

Кажется, что при всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ относительное количество планктона больше въ малыхъ озерахъ, чѣмъ въ большихъ (Шродтманъ) ³⁾.

З) Составъ планктона претерпѣваетъ чрезвычайно разнообразныя періодическія колебанія отъ одного озера къ другому. За исключеніемъ нѣкоторыхъ постоянно присутствующихъ видовъ (нѣкоторые *Copepoda*, *Bosmina*, *Anurea*, нѣкоторыя діатомовыя), большинство типовъ встрѣчается лишь періодически. Тогда они появляются въ пелагической

¹⁾ Zacharias, Forschungsberichte, IV, S. 80. 1896.

²⁾ Apstein, Loc. cit, p. 89.

³⁾ In Zacharias, IV, S. 235.

области или лишь въ видѣ личинокъ (*Dreysena*) и зооспоръ (*Pandorina morum*), или въ видѣ зимнихъ яицъ, споръ и проч. Отсюда слѣдуетъ, что въ планктонѣ, въ зависимости отъ времени года, господствуетъ тотъ или иной типъ, все равно растительный или животный, или же появляются формы, которыя въ другое время въ планктонѣ отсутствуютъ. Слѣдующій примѣръ заимствованъ изъ очень подробныхъ таблицъ Апштейна. Изъ улововъ, произведенныхъ въ теченіе четырехъ послѣдовательныхъ мѣсяцевъ въ Доберсдорфскомъ озерѣ, мы выберемъ лишь нѣкоторые виды. Приводимыя цифры показываютъ число особей, соотвѣствующихъ 1 квадратному дециметру поверхности:

	Апрѣль.	Іюль.	Октябрь.	Февраль.
<i>Clathrocystis aeruginosa</i>	102.480	414.560	1.167.200	5.000
<i>Melosira varians</i> ¹⁾	2.147.640	8.181.000	71.886.750	70.000
<i>Fragilaria virescens</i>	10.532.630	1.383.190	666.600	2.000.000
<i>Ceratium hirundinella</i>	1.300	26.410	1.260	—
<i>Anurea cochlearis</i>	8.600	5.200	2.180	—
<i>Daphnia galeata</i>	40	—	930	100
<i>Leptodora hyalina</i>	—	40	—	—
<i>Diaptomus graciloides</i>	750	2.190	980	40
<i>Cyclops oithonoides</i>	5.190	1.740	2.040	110

Эти цифры говорятъ объ огромномъ развитіи организмовъ, наступающемъ отъ времени до времени. Въ опредѣленный періодъ года планктонъ состоитъ преимущественно изъ водорослей: *Schizophyceae*, *Diatomeae* или *Chlorophyceae* и т. д., въ другое же время господствуютъ — *Protozoa*, *Rotatoria* или *Entomostraca*.

Въ качествѣ примѣра могутъ быть приведены еще данныя, полученные Захаріасомъ ²⁾ въ 1892 г. для Плѣнскаго озера по отношенію къ фитопланктону:

	Время появленія.	Maximum.
<i>Anabaena</i> и <i>Clathrocystis</i>	Январь—іюль.	Іюль.
<i>Asterionella formosa</i>	Январь—октябрь.	Апрѣль—іюль.
<i>Melosira</i>	Мартъ—май.	Мартъ—апрѣль.
<i>Fragilaria crotonensis</i>	Апрѣль—сентябрь.	Іюнь.
<i>Gloietricha echinulata</i>	Май—сентябрь.	Августъ—сентябрь.
<i>Atheia</i> и <i>Rhizosolenia</i>	Іюнь—августъ.	Іюль.

И) Химическій составъ планктона зависитъ отъ его біологическаго состава. По Гензену ³⁾, относительныя достоинства двухъ (морскихъ)

¹⁾ Нити мелозиръ, которыя были сосчитаны, суть колоніи, образованныя каждая изъ 10—100 индивидуумовъ. Приведенныя выше цифры должны быть увеличены такимъ образомъ, по крайней мѣрѣ, въ 50 разъ, для того, чтобы получить число, дающее представленіе о жившихъ тогда въ Доберсдорфскомъ озерѣ мелозирахъ.

²⁾ Zacharias, I, 47; II, 95; III, 129.

³⁾ Hensen, Ueber die Bestimmung des Planktons, S. 34. Kiel, 1887.

планктоновъ, состоящихъ—одинъ изъ діатомовыхъ (*Rhizosolenia*), а другой—изъ *Copepoda*, представляются слѣдующимъ образомъ:

1 кубич. сантим. планктона вѣситъ:

	Мокрый.	Сухой.	Содержаніе органич. веществъ.
<i>Diatomeae</i>	720 mgr.	6,8 mgr.	2,7 mgr.
<i>Copepoda</i>	144 "	13,2 "	13,1 "

Планктонъ содержитъ относительно небольшое количество органическихъ веществъ. Изъ 22 лововъ, произведенныхъ Апштейномъ¹⁾ въ Плѣнскомъ и Доберсдорфскомъ озерахъ, вся масса которыхъ имѣла болѣе 15.000 кв. сантиметровъ, имъ было найдено, что 1 кв. сантиметръ сырого планктона, высушеннаго

при 20° вѣситъ 10 млгр.,
" 100° " 8 "

Изъ этого слѣдуетъ, что планктонъ содержитъ болѣе 99% воды. Сухой остатокъ содержитъ въ среднемъ 22% золы и 78% органическихъ веществъ. Поэтому 1 кубическій сантиметръ сырого планктона содержитъ только 6 млгр. органическихъ веществъ, и лишь 165 кв. сантиметровъ планктона могутъ дать около 1 гр. органическихъ веществъ.

Химическій составъ планктона по даннымъ анализа Брандта²⁾ (планктонъ взятъ изъ Кильской бухты), таковъ:

Бѣлковыхъ веществъ (альбуминовъ) . . .	21,2
Углеводовъ	66,5
Жира	4,7
Золы	7,6

К) Что касается предѣльныхъ массъ планктона на 1 квадратный метръ озерной поверхности, то здѣсь можно привести слѣдующія цифры:

Minimum 10 кв. сантим. сырого планктона на 1 кв. м. поверхности.
Maximum 4.000 " " " " " " " " " "

Сопоставляя эти цифры съ вышеприведенными данными химического состава планктона, мы видимъ, что количество органическаго вещества на квадратный метръ поверхности колеблется въ предѣлахъ отъ 0,06 до 24 гр. Если мы сравнимъ эти величины съ количествомъ органическихъ веществъ, растворенныхъ въ водѣ, которыхъ приходится въ среднемъ 10—20 миллигр. на литръ, или 10—20 гр. въ куб. метрѣ, или 500—1.000 гр. въ цилиндрическомъ столбѣ воды, осно-

¹⁾ Arstein, Loc. cit, p. 99.

²⁾ Arstein, a.a. O. S. 99.

ваніе котораго равно 1 кв. м., а высота 50 м. (обычная мощность слоя для планктонныхъ лововъ), то получимъ на квадратный метръ поверхности озера:

раствореннаго органическаго вещества 500—1.000 гр.
органическаго вещества въ формѣ планктона 0,06— 24 гр.

Конечно, въ послѣднемъ числѣ не приняты во вниманіе органическія вещества, входящія въ составъ тѣла рыбъ. У насъ нѣтъ данныхъ, чтобы судить о размѣрахъ послѣдней величины.

Что большая часть животныхъ живетъ обществами, это извѣстно. Они соединяются въ группы, стаи, рои и т. д.; лишь немногіе живутъ единично или парами. Не принимая во вниманіе сидячихъ животныхъ, размноженіе которыхъ совершается на томъ же мѣстѣ, можно сказать, что большинство свободно передвигающихся животныхъ стремится къ общественности. Можно задать вопросъ—относится-ли сказанное также и къ пелагическимъ животнымъ. Отвѣтъ на этотъ вопросъ для практическаго изученія планктона имѣетъ большую важность. Отъ этого отвѣта будетъ зависѣть и методъ для оцѣнки абсолютнаго и относительнаго количества органическихъ веществъ, суспендированныхъ въ водѣ. Если организмы равномерно распределены по всей водной массѣ озера, то уже одного лова достаточно для того, чтобы судить о количествахъ планктона. Если же, напротивъ, пелагическіе организмы соединяются въ рои или группы, то мы можемъ получить приблизительное среднее число только при большомъ количествѣ лововъ.

На основаніи имѣющихся наблюденій, мнѣ кажется, нужно признать слѣдующее:

Растенія, т. е. пелагическія водоросли, лишенные активнаго самостоятельнаго движенія, находятся пассивно распределенными повсюду и, во всякомъ случаѣ, не образуютъ рѣзко ограниченныхъ или локализованныхъ группъ. У водорослей и зооспоръ, снабженныхъ мерцательными рѣсничками, такъ же, какъ у низшихъ животныхъ, каковы простѣйшія и коловратки, самостоятельныя движенія которыхъ относительно слабы, рѣшительно господствуетъ пассивное передвиженіе. Поэтому, пожалуй, понятно, что они распределены равномерно по всей пелагической области¹⁾. Единственно для кого возможны группировки

¹⁾ При этомъ я не беру во вниманіе водорослей, плавающихъ на поверхности воды. Онѣ сгоняются вѣтрами или теченіями въ одно мѣсто, часто образуя очень значительныя скопленія. Во всякомъ случаѣ, я утверждаю, что *Pandorina morum*, мерцательныя движенія которой относительно медленны, скопляется здѣсь и тамъ въ литоральной части озера въ такихъ значительныхъ массахъ, что вода приобретаетъ зеленоватую окраску. Не происходитъ-ли нѣчто подобное также у пелагическихъ организмовъ, снабженныхъ слабыми произвольными или непроизвольными движеніями?

въ, стаи—это для *Entomostraca*, плавательныя движенія которыхъ достаточно активны. Однако, это еще окончательно не доказано. Ясно, что они при своихъ суточныхъ перемѣщеніяхъ, когда они въ однихъ и тѣхъ же слояхъ то опускаются, то поднимаются, совершаютъ общія движенія. Поэтому въ извѣстные часы сутокъ появляется, особенно на извѣстной глубинѣ, опредѣленный типъ *Entomostraca*. Данныя опыта, однако, исключаютъ, чтобы эти формы въ одномъ и томъ же горизонтальномъ слое соединялись въ ограниченныя богатыя особями группы и чтобы внѣ этихъ собраній они не встрѣчались вовсе или лишь въ видѣ разрозненныхъ экземпляровъ. Многочисленные ловы, произведенные при одинаковыхъ условіяхъ въ разныхъ, но сосѣднихъ, мѣстахъ, не обнаруживаютъ такихъ колебаній въ количествахъ планктона, которыя были бы достаточны, чтобы можно было говорить о вѣроятности распредѣленія *Entomostraca* въ замкнутыхъ сообществахъ.

Я, однако, опредѣленно подчеркиваю, что я, хотя и убѣжденъ почти въ равномерномъ распредѣленіи микроорганизмовъ на одномъ и томъ же мѣстѣ наблюденія, не намѣренъ распространять этотъ взглядъ на все озеро. Составъ планктона въ большомъ озерѣ отъ одного конца до другого можетъ весьма значительно колебаться. Этотъ фактъ твердо установленъ многочисленными наблюденіями различныхъ естествоиспытателей.

Пелагическіе организмы находятся исключительно въ верхнихъ слояхъ озера до глубины въ 40, 60, можетъ быть, въ 100 или 200 метровъ, смотря по времени года и свойствамъ озера. Глубже лежащіе слои не обитаемы; здѣсь встрѣчаются только трупы пелагическихъ организмовъ, которые, вслѣдствіе своей тяжести, опускаются на дно озера.

Пелагическія животныя, по крайней мѣрѣ наиболѣе подвижныя изъ нихъ, *Entomostraca*, ежедневно совершаютъ періодическія странствованія. Въ ночное время они плаваютъ, если озеро спокойно, вблизи поверхности, днемъ-же опускаются въ болѣе глубокіе слои, вѣроятно, до нижней границы освѣщенной воды (Вейсманъ, Форель, Бланъ)¹⁾.

Эти колебанія, легко улавливаемыя въ большихъ озерахъ, въ маленькихъ, кажется, не существуютъ (Сахаріасъ). Пелагическія водоросли, повидимому, вообще не совершаютъ подобныхъ странствованій.

¹⁾ Weismann, Das Tierleben im Bodensee. Lindau, 1877. F. A. Forel, Faune profonde du lac Léman. Actes de la Soc. helv. Sc. nat. Chur, 1874. H. Blanc, Le Plancton nocturne du Léman. Bull. Soc. Vaud. Sc. nat. XXXIV, 225. Lausanne, 1898.

Пелагическое населеніе одного и того же озера мѣняется соответственно временамъ года. Каждый видъ имѣетъ свою періодичность, въ силу которой онъ въ извѣстное время года является въ формѣ зародышей или яицъ, въ другое — во взросломъ состояніи растенія или животнаго. Для каждого вида существуетъ свое время массоваго появленія. Это создаетъ рѣзкія колебанія въ группировкахъ пелагического населенія въ различныя времена года.

Рядомъ съ этой, болѣе или менѣе правильной, періодичностью, находящейся, вѣроятно, въ зависимости отъ температурныхъ колебаній, здѣсь и тамъ можно бываетъ наблюдать аперіодическое, совершенно необычайное по своей силѣ, размноженіе опредѣленнаго вида. Для объясненія этого факта можно принять, что этотъ видъ встрѣтилъ въ данное время особенно благоприятныя условія для своего развитія, которыми и воспользовался. Этотъ, такъ сказать, избытокъ благоприятныхъ условій мало-по-малу исчезаетъ, и вмѣстѣ съ тѣмъ начинаетъ уменьшаться число особей даннаго вида до тѣхъ поръ, пока различныя типы пелагического населенія озера опять не придутъ въ нормальное соотношеніе. Такъ, на примѣръ, весной 1896 года въ Цюрихскомъ озерѣ, пелагическое населеніе котораго до этого времени не обнаруживало никакихъ ненормальностей, произошло неимоверное умноженіе одной изъ діатомей, *Tabellaria fenestrata*. Она появилась въ такихъ колоссальныхъ количествахъ, что всѣ другія планктонныя формы почти совсѣмъ исчезли. Въ маѣ 1896 года я измѣрилъ здѣсь объемъ планктона, состоящаго почти исключительно изъ табелларій, и нашелъ 260 кб. сантим. на 1 кв. метръ озерной поверхности. Шрётеръ наблюдалъ даже 1.000 кб. сантим. Это состояніе продолжалось болѣе года. Въ теченіе лѣта 1897 года постепенно опять возстановились нормальныя соотношенія. Во время того же періода въ сосѣднихъ озерахъ, и даже въ верхнемъ Цюрихскомъ озерѣ, нельзя было замѣтить никакого ненормальнаго развитія табелларій.

Пелагическое населеніе двухъ сосѣднихъ озеръ, находящихся, повидимому, въ совершенно одинаковыхъ климатическихъ условіяхъ, можетъ обнаруживать значительныя различія. Различна группировка типовъ, преобладаніе видовъ и составъ планктона—совершенно иные.

Но остаются ли эти различія на продолжительное время? Отличается ли пелагическое населеніе каждого озера постояннымъ характеромъ? Это мало вѣроятно. Я болѣе склоненъ думать, что случайно наступающее преобладаніе гдѣ-нибудь того или другого вида (аналогичное размноженію табелларій въ Цюрихскомъ озерѣ) или извѣстной группы организмовъ временно можетъ мѣнять характеръ озернаго населенія. Такъ, на примѣръ, мы имѣемъ описаніе озеръ съ преобладаніемъ планктона изъ *Entomostraca*, *Rotatoria*, *Dinoflagellata* или *Algae*.

Это—то одна, то другая водоросль, которая характеризует данное озеро. Но еще до сего времени не доказано, что эти типы могут пребывать безгранично долго.

Остается описать еще двѣ группы организмовъ, стоящія на крайнихъ полюсахъ естественной системы—позвоночныхъ и бактерій, которыхъ, по различнымъ соображеніямъ, я не касался при общемъ описаніи областей озера.

6. Позвоночныя.

Млекопитающія. Человѣкъ оказываетъ очень сильное вліяніе на экономію озера, когда, съ одной стороны, спускаетъ въ озеро сточныя воды своихъ городовъ и фабрикъ, съ другой—вылавливаетъ рыбу.

Нѣкоторыя летучія мыши летаютъ надъ водою, ловятъ насѣкомыхъ и опускаютъ въ воду свои экскременты.

Нѣкоторые хищники и грызуны, рѣчная выдра, бобръ, водяная крыса перебираются здѣсь и тамъ изъ рѣкъ—своего обычнаго мѣстожительства—въ литторальную зону озера. Эти виды я рассматриваю, какъ эрратическіе. Чѣмъ больше озеро, тѣмъ незначительнѣе участіе этихъ позвоночныхъ въ животной жизни озера. Тюлени Байкала—единственные ластоногія, извѣстныя донынѣ въ качествѣ постоянныхъ озерныхъ обитателей.

Птицы. Число птицъ, постоянно живущихъ на озерѣ, незначительно. Сюда принадлежатъ нѣкоторыя береговыя птицы: зимородокъ (*Alcedo*), оляпка (*Cinclus*) и друг.; черный коршунъ (*Milvus ater*), ласточки и проч., летающія надъ водою въ поискахъ за рыбою и насѣкомыми, роняютъ въ воду свой пометъ. Всѣ голенастыя и плавающія птицы принадлежатъ къ перелетнымъ. При своихъ регулярныхъ или случайно повторяющихся странствованіяхъ онѣ живутъ на берегахъ озера или въ его литторальной и пелагической областяхъ. Онѣ вліяютъ на экономію озера постольку, поскольку отнимаютъ отъ него животныхъ или растенія. Крайне важна ихъ роль въ біологическомъ отношеніи. Онѣ являются дѣятельнѣйшими агентами въ дѣлѣ распространенія водяныхъ организмовъ. При своихъ странствованіяхъ онѣ переносятъ изъ озера въ озеро, въ видѣ содержимаго кишечника, на перьяхъ, лапахъ и клювѣ зародыши, яйца, сѣмена и т. д. Что касается ихъ распредѣленія среди озерной фауны, то кратко можно сказать, что голенастыя и болотныя птицы живутъ на берегу, въ то время какъ утки и нырки, равно какъ и чайки, имѣютъ распространеніе по всей области озера.

Пресмыкающіяся. Нѣкоторыя черепахи и змѣи живутъ въ литторальной зонѣ малыхъ озеръ. Чѣмъ больше озеро, тѣмъ вообще менѣе вѣроятность встрѣтить ихъ въ его водахъ. Онѣ представляютъ собою болотные или рѣчные типы и въ озерѣ появляются лишь случайно.

То же относится и къ земноводнымъ (хвостатымъ или безхвостымъ), которыя лишь случайно попадаютъ въ литторальной части большихъ озеръ. Въ водахъ, которыя бываютъ часто подвержены сильнымъ волненіямъ, ихъ появленіе можетъ считаться рѣшительно случайнымъ.

Рыбы. Почти всѣ прѣсноводныя рыбы встрѣчаются нормально или случайно въ озерной фаунѣ. Нѣкоторые рѣчные виды [хариусъ (*Thymallus*), гольяны] попадаютъ лишь въ качествѣ исключенія, какъ эрратическія формы. Нѣкоторые проходные виды (лосось, угорь, форель) держатся въ озерахъ лишь временами. Наконецъ, огромное число рыбъ постоянно живетъ въ озерѣ.

Распространеніе нѣкоторыхъ видовъ ограничено литторальной областью [уклея (*Alburnus lucidus*), окунь, щука, бычокъ (*Cottus gobio*)]. Другія рыбы—чисто пелагическія и никогда или въ качествѣ исключенія заходятъ въ литторальныя воды (сиги, палія и т. д.). Наоборотъ, другіе виды встрѣчаются повсюду и, произвольно или слѣдуя своимъ потребностямъ, разгуливаютъ во всѣхъ областяхъ озера.

Многіе виды спускаются на глубины, нѣкоторыя сиги—для икрометанія, налимы (*Lota vulgaris*),—чтобы отыскать яйца и икру ряпушки.

Легкость, съ какою рыбы проплываютъ большія пространства, показываетъ, что ихъ мѣстожительство лишь въ рѣдкихъ случаяхъ ограничено извѣстною областью озера. Почти всѣ онѣ совершаютъ періодическія странствованія, чередующіяся по временамъ года. Мы уже упоминали объ опусканіи на большія глубины сиговъ и налима. Карповыя рыбы живутъ лѣтомъ въ сравнительно мало прозрачныхъ литторальныхъ водахъ, которыя въ роскошномъ развитіи зеленыхъ растеній даютъ имъ безопасныя убѣжища отъ враговъ. Зимой же, когда воды дѣлаются свѣтлѣе, онѣ перекочевываютъ въ средніе слои озера. Питающіяся карповыми хищныя рыбы слѣдуютъ за ними въ ихъ передвиженіяхъ. Щука мечетъ икру на береговой отмели, форель—въ рѣкахъ и т. д.

7. Бактеріи.

Мы перечислили живущіе въ озерѣ организмы вплоть до простѣйшихъ и водорослей и изобразили ихъ распредѣленіе по тремъ біологическимъ областямъ озера, насколько оно извѣстно.

Но намъ остается еще разсмотрѣть самыя низшія живыя существа—бактеріи, вообще называемыхъ микробами¹⁾. Бактеріи, вибрионы, микрококки и т. д. живутъ въ озерахъ въ большомъ количествѣ и играютъ въ нихъ важную роль. Благодаря своимъ ничтожнымъ размѣрамъ, бактеріи съ трудомъ могутъ быть отыскиваемы даже съ помощью лучшаго микроскопа; благодаря тщательности и затруднительности методовъ, служащихъ къ ихъ открытію, не всегда можно бываетъ съ точностью опредѣлить ихъ виды и достаточно точно установить ихъ мѣстопробываніе. При многочисленныхъ изслѣдованіяхъ качествъ питьевой воды было обращено вниманіе на эти мельчайшія существа и получились данныя для интересныхъ работъ надъ бактеріями; только такимъ способомъ ознакомились до извѣстной степени съ ихъ значеніемъ. Но кромѣ ихъ біологическихъ особенностей, мы знаемъ только отдѣльные, изолированные факты. Въ послѣдующемъ я попытаюсь дать, хотя бы и при помощи отчасти нѣсколько гипотетическаго обобщенія, представленіе о той роли, какую они играютъ въ хозяйствѣ озера.

Пользуясь современными бактеріологическими методами, особенно разводками чистыхъ культуръ, доказали присутствіе микробовъ въ водѣ озеръ (Женевского, Боденскаго, Цюрихскаго и друг.).

Ихъ нашли въ поверхностныхъ водахъ, какъ и въ глубокихъ слояхъ, въ открытомъ озерѣ, какъ и въ береговой области, въ свободной водѣ, какъ и въ илу дна.

Онѣ встрѣчаются повсюду въ водныхъ массахъ озера. Ихъ число колеблется отъ нѣсколькихъ единицъ до многихъ тысячъ въ кубическомъ сантиметрѣ, отъ нѣсколькихъ тысячъ до многихъ милліоновъ въ литрѣ. Насколько мнѣ извѣстно, ни одинъ тщательный анализъ не нашелъ донинѣ водъ, свободныхъ отъ бактерій. Современное состояніе нашихъ знаній позволяетъ принять слѣдующія положенія:

а) Въ поверхностномъ слое ила, покрывающемъ дно озера какъ на глубинахъ, такъ и въ береговой области, количество микробовъ чудовищно велико (тысячи въ кубическомъ сантиметрѣ); это доказано для глубинъ до 40 метровъ (Lortet, Seiler). Нѣтъ никакихъ основаній не принимать подобныхъ отношеній и для самыхъ большихъ озерныхъ глубинъ.

б) Въ водѣ притоковъ, особенно же въ сточныхъ водахъ городовъ, число микробовъ также чудовищно (тысячи въ кубическомъ сантиметрѣ). Эта вода смѣшивается съ озерной водой. Устье такихъ каналовъ кишитъ бактеріями; но дальше, съ разжиженіемъ воды, число ихъ уменьшается.

¹⁾ Я умышленно избѣгаю здѣсь входить въ опредѣленіе систематическаго положенія бактерій. Для нашихъ цѣлей безразлично, принадлежатъ-ли онѣ къ водорослямъ или къ грибамъ.

в) Воды открытаго озера обнаруживаютъ незначительное число микробовъ (дюжины въ кубическомъ сантиметрѣ).

г) Въ поверхностной водѣ число бактерій менѣе значительно, чѣмъ въ ниже лежащихъ слояхъ.

Этотъ законъ провѣренъ до глубины въ 40 метровъ. Относительную рѣдкость микробовъ въ поверхностныхъ водахъ нужно приписать очищающему, т. е. убивающему бактерій, дѣйствию свѣта. Въ послѣдующемъ изложеніи мы предложимъ еще другое объясненіе этого факта.

При спокойной погодѣ число микробовъ въ открытыхъ водахъ пелагической области—наименьшее.

д) Въ такихъ открытыхъ водахъ пелагической области число зародышей въ *масляныхъ пятнахъ* (Oelflecken) на поверхности можетъ быть очень велико.

е) Когда иль литторальной зоны, благодаря волненію, взмученъ, то онъ легко выносится теченіями въ открытое озеро. Тогда озерная вода можетъ быть загрязнена большимъ числомъ зародышей (сотни въ кубическомъ сантиметрѣ).

ж) Большинство водныхъ бактерій суть сапрофиты. Напротивъ того, въ илу озернаго дна и въ водахъ, загрязненныхъ взмученнымъ иломъ или сточными каналами, были найдены патогенные микробы.

Въ виду той большой важности, какую имѣетъ для общественной гігіены вопросъ о питьевой водѣ, я не могу обойти молчаніемъ нѣкоторые общіе факты о роли микробовъ въ экономіи озера.

Прежде всего надо замѣтить, что бактеріи суть безхлорофильныя растенія, т. е., слѣдовательно, для своей жизни онѣ не нуждаются въ свѣтѣ.

Онѣ живутъ или свободно въ водѣ, которая по содержанію питательныхъ веществъ почти соотвѣтствуетъ составу извѣстныхъ питательныхъ растворовъ, въ сточныхъ водахъ и т. д., или въ качествѣ паразитовъ. Въ послѣднемъ случаѣ онѣ являются или эктопаразитами, т. е. поселяются на поверхности живого организма, или эндопаразитами—вегетирующими внутри живого организма, или же, наконецъ, онѣ ведутъ сапрофитный образъ жизни на какомъ-нибудь безжизненномъ органическомъ субстратѣ¹⁾.

¹⁾ Я исхожу здѣсь не столько изъ соображеній систематическаго характера, сколько біологическаго, и подраздѣляю микробовъ слѣдующимъ образомъ:

сапрогенные микробы—возбуждаютъ гнилостное броженіе;

непатогенные—благопріятствуютъ пищеварительной дѣятельности своего хозяина;

патогенные—вызываютъ въ тканяхъ хозяина функціональныя расстройства, т. е. болѣзни.

Ихъ жизнедѣтельность выражается въ разложеніи растворенныхъ органическихъ веществъ и тканей на болѣе простыя составныя части. При этомъ развиваются углекислота, метанъ и часто также птомаины. Слѣдовательно, бактеріи суть возбудители броженія и гніенія. Онѣ разрушаютъ органическія вещества и организмы.

Свободныя бактеріи, все равно—плаваютъ ли онѣ свободно въ водѣ или прикрѣплены къ какому-нибудь тѣлу, берутъ для себя пищу изъ питательныхъ веществъ, растворенныхъ въ окружающей средѣ, которая благодаря этому переводится въ болѣе простыя соединения. Виды *Cladothrix*, *Crenothrix* и другіе виды, встрѣчающіеся въ водахъ сточныхъ каналовъ, обуславливаютъ загниваніе этихъ водъ. Въ озерахъ же онѣ встрѣчаются лишь при устьяхъ такихъ каналовъ и распространяются далѣе всего на нѣсколько метровъ, именно на такое разстояніе, пока содержаніе органическихъ веществъ еще достаточно велико, чтобы вода могла являться какъ бы питательнымъ бульономъ. Эти свободныя бактеріи—всѣ сапрогенныя.

Эктопаразитные микробы и грибы завладѣваютъ трупами. Ихъ жизнедѣтельность влечетъ за собою въ тканяхъ процессы гниlostного броженія и разлагаетъ ихъ на болѣе простыя элементы. Они являются возбудителями гніенія, разрушающаго трупъ, въ то время, какъ они преобразуютъ ихъ органическія вещества; слѣдовательно, они дѣйствуютъ также въ роли сапрогенныхъ. Ихъ находятъ всего болѣе:

а) на трупахъ легкихъ пелагическихъ организмовъ на поверхности воды. Такъ какъ масляное пятно собираетъ эти остатки, то вода здѣсь кишитъ микроорганизмами;

б) на трупахъ тяжелыхъ пелагическихъ организмовъ, опускающихся на глубину. Количество труповъ съ глубиной увеличивается, благодаря присоединенію къ нимъ все новыхъ труповъ, получающихся въ проходимыхъ слояхъ. Благодаря непрерывному размноженію, число гниlostныхъ бактерій съ возрастомъ труповъ умножается; такимъ образомъ наибольшее количество ихъ бываетъ въ глубинѣ озера. Этому накопленію на глубинѣ пелагическихъ труповъ, обогащенныхъ гниlostными бактеріями, можетъ быть слѣдуетъ, въ связи съ бактеріеубивающимъ свойствомъ солнечнаго свѣта, приписать тотъ фактъ, что срединные темные слои озера содержатъ больше микробовъ, чѣмъ верхніе—освѣщенные;

в) на органическихъ остаткахъ всякаго рода, пронизывающихъ илъ дна.

Благодаря трупамъ пелагическихъ организмовъ, опускающимся на дно, а также осадкамъ всякихъ другихъ суспендированныхъ въ водѣ органическихъ остатковъ, илъ представляетъ собою массу, про-

питанную гніющими органическими веществами, на которой сильно размножаются сапрофитные микробы. Они приводятъ этотъ илъ въ состояніе броженія, разлагаютъ его на вещества, которыя растворимы въ водѣ, и неорганическій нерастворимый остатокъ, который образуетъ животный озерный аллювій (глинистый мергель).

Паразитическія бактеріи живутъ на тѣлѣ или внутри его своихъ хозяевъ, которые могутъ быть какъ водяными, такъ и наземными животными. Бактеріи хозяевъ обоихъ родовъ достигаютъ озера. Это происходитъ или съ изверженіями животныхъ, или при посредствѣ ихъ труповъ, которые то непосредственно находятся въ озерѣ (водяныя животныя), то заносятся сюда рѣками и сточными каналами (сухопутныя животныя). Трупы хозяевъ быстро разрушаются, и паразиты освобождаются. Но они не размножаются далѣе, такъ какъ озерная вода не является для нихъ благопріятной питательной средой. Они лишь слабо прозябаютъ, такъ какъ необходимыя для нихъ питательныя вещества находятся или въ слишкомъ разбавленномъ видѣ, или въ неподходящей формѣ, и вскорѣ дѣлаются добычею ужившихся въ озерѣ микроорганизмовъ. Тѣ же, которые не будутъ съѣдены, скоро отмираютъ. Это относится какъ къ пептогеннымъ паразитамъ, принимающимъ участіе въ пищеварительной дѣятельности организмовъ, такъ и къ патогеннымъ, возбуждающимъ въ живомъ организмѣ тѣ или инныя болѣзни. Особенно это касается патогенныхъ микробовъ человѣка и домашнихъ животныхъ, которые всего болѣе интересуютъ насъ въ гигиеническомъ отношеніи. Эти эндопаразитическіе патогенные микробы нуждаются для своего существованія и размноженія въ высокой температурѣ тѣла млекопитающихъ животныхъ, т. е. 35°—40° Ц. Такой температуры, необходимой для ихъ размноженія, они нигдѣ не находятъ въ озерѣ. Поэтому мы можемъ разсматривать этихъ эндопаразитическихъ патогенныхъ бактерій, какъ эрратическихъ обитателей озерныхъ водъ.

Правда—это фактъ, что озеро есть сборный бассейнъ для всѣхъ сточныхъ водъ его окрестностей и что, благодаря этому, его воды содержатъ экскременты человѣка и животныхъ, которые во время эпидемій содержатъ въ себѣ патогенныя бактеріи. Поэтому теоретически непреложно справедливо, что озерная вода можетъ содержать въ себѣ зародышей патологическихъ инфекцій. Но въ дѣйствительности, т. е. на практикѣ, опасность зараженія по вышеприведеннымъ основаніямъ равна нулю. Историческое развитіе гигиены тѣхъ городовъ, снабженіе которыхъ озерной водой производилось на рациональномъ основаніи, достаточно это доказываетъ.

8. Происхождение озерных сообществ.

Каждое озеро представляет собою лишь эфемерное явление въ исторіи земной коры. Оно возникло въ опредѣленный моментъ прошлаго. Поэтому населеніе озера, если только оно не было создано сразу въ своемъ полномъ объемѣ на этомъ мѣстѣ,—предположеніе, не имѣющее за собою никакихъ основаній,—должно было быть введено въ него извнѣ. Теперь спрашивается, откуда же именно произошли различныя біологическія сообщества, населяющія озеро.

Литторальныя группы. Растенія и животныя, населяющія литторальную область, въ большей своей части попали въ нее, слѣдуя по теченію впадающихъ въ озеро рѣкъ. Рѣка приносила живущіе въ ней организмы, далѣе организмы болотъ, изъ которыхъ она получаетъ воду, и организмы сосѣднихъ озеръ, черезъ которыя она протекаетъ, отчасти въ видѣ взрослыхъ особей, отчасти въ видѣ яицъ, сѣмянъ и зародышей, въ область своего нижняго теченія или въ устьевое расширение (эстуарій), гдѣ она отлагала ихъ, какъ всѣ другіе взвѣшенные продукты. Отсюда они постепенно распространяются въ литторальныхъ водахъ и приспособляются къ новой средѣ. Тѣ виды, которые лишены способности приспособленія, отсутствуютъ въ озерномъ сообществѣ или встрѣчаются лишь случайно, не производя здѣсь потомства и не размножаясь. Напротивъ, тѣ виды, которые могутъ приспособиться къ новымъ условіямъ жизни, прочно обосновываются въ озерѣ, оставаясь совершенно неизмѣненными, или претерпѣвая, согласно законамъ естественнаго подбора, тѣ или иныя органическія измѣненія.

Жизненные условія въ литторальныхъ водахъ мало чѣмъ отличаются отъ таковыхъ же условій другихъ прѣсныхъ внутреннихъ водъ. Поэтому акклиматизація въ нихъ организмовъ происходитъ, безъ сомнѣнія, очень легко.

Кромѣ этой формы переселенія въ озеро, которую можно назвать нормальной, могутъ водяные организмы попадать сюда также и случайно. Насѣкомыя могутъ достигнуть озера посредствомъ активного передвиженія, когда они во взросломъ состояніи перелетаютъ отъ одного озера къ другому, подобно тому, какъ это дѣлаютъ перелетныя птицы. Птицы способствуютъ также пассивному переносу озерныхъ организмовъ. При своихъ ежегодныхъ путешествіяхъ перелетныя птицы опускаются по порядку на различныя озера. На ихъ перьяхъ, клювѣ, ногахъ остаются прикрѣпленными или взрослые организмы, или яйца, сѣмена, цисты, зародыши и пр., или же онѣ переносятъ въ своихъ кишкахъ сѣмена, которыя противостоятъ дѣйствію пищеварительныхъ соковъ, и такимъ образомъ заносятъ въ озеро новые, еще не существовавшіе до этого въ нихъ, виды. Человѣкъ въ этомъ отношеніи,

сознательно или безсознательно, является самъ дѣятельнымъ факторомъ. Рыбоводы, въ цѣляхъ поднятія дохода отъ рыбъ, ввели многія новыя породы ихъ не въ одно озеро. Разводимая первоначально натуралистами лишь въ акваріумахъ *Elodea canadensis* была занесена изъ одной страны въ другую. Будучи очень выносливымъ, это растеніе сильно размножилось повсюду въ открытыхъ водахъ. *Dreysena polymorpha* распространяется все шире и шире, благодаря сплаву лѣса, и т. д.

Согласно сказанному, происхождение литторальныхъ сообществъ въ озерѣ можетъ быть двоякимъ. Организмы происходятъ:

1) или изъ болотъ и рѣкъ окружающей мѣстности, съ послѣдующимъ приспособленіемъ къ жизни въ озерѣ. Эти виды имѣютъ туземный характеръ типовъ, населяющихъ питательный бассейнъ озера;

2) или изъ литторальной области другихъ озеръ; слѣдовательно, они появляются въ данномъ озерѣ, благодаря пассивной миграціи, и уже заранѣе являются приспособленными къ озерной жизни. Эти организмы имѣютъ чужеземный характеръ типовъ изъ странъ, можетъ быть, весьма отдаленныхъ. Они являются всегда видами, наиболѣе устойчивыми и закаленными, такъ какъ только таковыя и могутъ быть переносимы. Переносъ можетъ многократно повторяться, отъ второго озера къ третьему, отъ третьяго къ четвертому и т. д., такъ что эти виды принимаютъ космополитическій характеръ.

Біологическія сообщества глубокихъ водъ. Глубинная область озера не стоитъ въ связи съ какой-либо другой открытой областью прѣсныхъ водъ. Она отдѣлена отъ водъ рѣкъ и болотъ даннаго бассейна и отъ водъ сосѣднихъ озеръ литторальной или пелагической областью. Чтобы достигнуть глубоководной области, необходимо первоначально пройти послѣднія. Только лишь подземныя воды могутъ непосредственно достигать до глубоководной области въ видѣ подземныхъ ключей. Отсюда возникаетъ возможность двоякаго происхожденія біологическаго сообщества глубоководной области.

Оно можетъ произойти, и на самомъ дѣлѣ отчасти происходитъ, изъ организмовъ литторальной и пелагической областей, которые по какой-либо причинѣ опускаются на глубину. Тѣ изъ нихъ, которые приспособляются къ господствующимъ здѣсь жизненнымъ условіямъ, остаются тамъ и являются исходной точкой для видовъ глубоководной области. Такое переселеніе на глубины можетъ имѣть различныя причины: пелагическіе организмы, растенія и животныя, могутъ достигнуть глубинъ простымъ погруженіемъ, если они тяжелѣе воды. Литторальные организмы достигаютъ глубинъ активнымъ перемѣщеніемъ подвижныхъ видовъ, заносомъ ихъ яицъ, зародышей или взрослыхъ организмовъ, благодаря теченіямъ, идущимъ вдоль склоновъ и возни-

кающимъ по гидростатическимъ, механическимъ или термическимъ причинамъ; благодаря массовымъ движеніямъ дна литторальной области съ находящимися въ немъ организмами, вслѣдствіе образованія оползней на склонахъ озера; наконецъ, благодаря опусканію тяжелыхъ литторальныхъ организмовъ, которые занесены поверхностными течениями въ пелагическую область.

Каковъ-бы ни былъ способъ переноса, организмы поверхностныхъ водъ, перенесшіе переселеніе въ глубинную область, претерпѣваютъ здѣсь постепенно измѣненія, которыя имъ необходимы для приспособленія къ новой средѣ. Поэтому дифференціація глубоководной фауны и флоры есть мѣстное явленіе, происходящее на самомъ мѣстѣ, въ глубоководной области всякаго отдѣльнаго озера. Глубоководная область каждаго озера въ отдѣльности является, говоря устарѣлымъ терминомъ, мѣстнымъ, рѣзко отграниченнымъ, «центромъ творенія» (Schöpfungscentrum).

Сообществами глубоководной части второго порядка являются организмы, происходящіе изъ подземныхъ водъ, вступающихъ въ озеро на большихъ глубинахъ. Эти организмы находятъ тамъ жизненные условия, близко подходящія къ условіямъ ихъ прежняго обитанія въ подземныхъ озерахъ и рѣкахъ, а именно: равномерную низкую температуру, абсолютную темноту, бѣдную, жалкую среду. Единственное различіе является въ абсолютномъ покоѣ, который ихъ окружаетъ съ момента, когда теченіе вынесетъ эти организмы въ озеро. Поэтому приспособленіе этихъ организмовъ происходитъ очень легко. Произведенные мною ловы въ глубоководныхъ областяхъ центрально-европейскихъ озеръ дали слѣдующіе виды *Niphargus'a* и *Asellus'a*, слѣдующихъ турбеллярій, которыя мало чѣмъ отличаются отъ таковыхъ же обитателей пещеръ.

Пелагическія сообщества. Пелагическія фауна и флора занимаютъ особое мѣсто среди остальныхъ озерныхъ сообществъ; онѣ являются необыкновенно космополитичными. Несмотря на своеобразныя различія въ группированіи пелагическихъ типовъ, такъ что иногда планктонные ловы, произведенные одновременно въ двухъ сосѣднихъ озерахъ, столь рѣзко отличаются одинъ отъ другого, несмотря на то, что отдѣльные пелагическіе типы встрѣчаются лишь въ извѣстныхъ мѣстностяхъ, а въ другихъ не имѣются — все-таки пелагическое сообщество прѣсноводныхъ озеръ обнаруживаетъ замѣчательное единообразіе. Не только одни и тѣ же рода, но даже одни и тѣ же виды находятся въ пелагическихъ водахъ всѣхъ озеръ континента, чтобы не сказать всего свѣта. Это единообразіе покоится, вѣроятно, на внутренней причинѣ способа происхожденія пелагического сообщества. Оно правдоподобно объясняется перелетами лапчатоногихъ птицъ, ко-

торыя ежегодно проносятся надъ материкомъ и опускаются на болѣе или менѣе продолжительное время на каждомъ скопленіи водъ. Въ теченіе нѣсколькихъ часовъ перелетаютъ онѣ отъ одного озера къ другому и переносятъ съ собою при этомъ яйца, зародыши и цисты пелагическихъ организмовъ того озера, которое только что покинули. Такимъ образомъ объясняется заселеніе какого-либо вновь возникшаго озера, существованіе и возобновленіе пелагическихъ группъ, заносъ вновь дифференцированного вида. Космополитизмъ пелагическихъ группъ является естественнымъ послѣдствіемъ способа ихъ распространенія.

Происхожденіе пелагической флоры и фауны не необходимо искать въ томъ озерѣ, въ какомъ онѣ находятся, и относить это происхожденіе къ настоящему времени или къ недавно протекшимъ годамъ. Дифференціація пелагическихъ видовъ могла, конечно, произойти въ значительномъ отдаленіи какъ по времени, такъ и по мѣсту, въ очень отдаленныхъ озерахъ, можетъ быть въ прежніе геологическіе періоды.

Какъ же объяснить теперь эту дифференціацію? Это явленіе намъ будетъ ясно, если мы еще разъ представимъ общій характеръ пелагическихъ организмовъ. Эти пелагическіе организмы отличаются между прочимъ ихъ крайне продолжительной, активной или пассивной, способностью къ плаванію, которая позволяетъ имъ обходиться безъ помощи какой-либо точки опоры, какого-либо основанія. Большая же прозрачность ихъ служить имъ средствомъ защиты. Пассивно плавающія водоросли одарены къ тому-же еще необычайной плодовитостью. Упомянутый ранѣе космополитизмъ можетъ быть также слѣдуетъ разсматривать, какъ общій признакъ, такъ какъ организмы, распространенные повсюду, обладаютъ очевидно столь развитою способностью къ противодѣйствію вреднымъ вліяніямъ, что является возможнымъ переносъ ихъ или, по крайней мѣрѣ, ихъ зародышей изъ одного озера въ другое. Всякое живое существо, обладающее всѣми этими свойствами, можетъ, если оно случайно попадетъ въ открытое озеро, тотчасъ и окончательно сдѣлаться членомъ пелагического сообщества. Къ этому мы могли бы еще прибавить, что это относится ко всякому прѣсноводному виду, приспособленному къ жизни въ озерѣ, или—еще проще—ко всѣмъ организмамъ литторальнаго сообщества.

То обстоятельство, что нѣкоторыя живущія въ озерѣ животныя загнаны въ пелагическую область и пребываютъ тамъ, объясняется до нѣкоторой степени ихъ привычками въ связи съ механическими процессами, совершающимися въ озерѣ. Какъ уже было изложено, въ иныхъ озерахъ нѣкоторыя ракообразныя и коловратки совершаютъ суточные перемѣщенія; они являются ночными животными; ночью они плаваютъ на поверхности, днемъ же опускаются въ средніе слои озера

до границы распространения свѣта. Но мы знаемъ также повторяющуюся ежедневно на большихъ озерахъ игру вѣтровъ, чередованіе мѣстныхъ центробѣжныхъ дневныхъ вѣтровъ съ центростремительными ночными вѣтрами. Ночной вѣтеръ вызываетъ поверхностныя теченія, которыя уносятъ въ озеро всѣ организмы, плавающие ночью на его поверхности. Если эти организмы днемъ опускаются въ глубину, то они не могутъ быть захвачены дневнымъ обратнымъ поверхностнымъ теченіемъ. Такимъ образомъ каждую ночь они уносятся все дальше въ открытое озеро; днемъ же, напротивъ, они остаются на одномъ мѣстѣ. Поэтому организмы, обладающіе вышеописанными ночными привычками, въ силу необходимости выносятся въ открытое озеро. Если они обладаютъ способностью приспособиться къ новымъ жизненнымъ условіямъ, то они становятся членами пелагического сообщества.

Изложенною теоріею происхожденія пелагического сообщества безъ труда объясняются слѣдующіе два общихъ факта:

а) Отсутствіе отдѣльныхъ организмовъ въ извѣстныхъ странахъ, которые въ озерахъ другихъ областей широко распространены. Климатическія различія, особенно разница въ температурахъ, достаточны, чтобы объяснить это мѣстное отсутствіе, даже и въ томъ случаѣ, когда не желаютъ допускать, чтобы миграція нѣжныхъ зародышей могла произойти роковымъ образомъ по воздуху, такъ что-бы они могли быть перенесены на невозможно далекія разстоянія.

б) Определенно констатированная варіація одного и того же вида отъ озера къ озеру объясняется безъ всякаго затрудненія разницею пелагической среды различныхъ озеръ по отношенію къ химическому составу, температурѣ и т. д.

9. Реликтовая фауна. Остаточныя озера.

Теорія остаточныхъ (реликтовыхъ) озеръ получила твердое основаніе послѣ того, какъ въ итальянскихъ озерахъ, въ особенности въ Бенако, фонъ Мартенсомъ былъ найденъ *Palaemonetes varians*¹⁾, а въ скандинавскихъ озерахъ Ловеномъ—*Mysis relicta*, *Pontoporeia affinis* и *Idotea entomon*²⁾, т. е. ракообразныя, принадлежащія къ родамъ, до того извѣстнымъ лишь въ морѣ. Приняли, что эти озера въ прошедшія времена находились въ непосредственной связи съ моремъ и были населены морскою фауною. Въ дальнѣйшемъ какой-либо геологическій переворотъ прервалъ связь съ океаномъ; постоянный притокъ

прѣсной воды черезъ рѣки настолько разбавилъ соленый растворъ, что въ настоящее время эти озера имѣютъ прѣсную воду. Извѣстное число животныхъ видовъ перенесло это измѣненіе водной среды, превратившись такимъ путемъ изъ морскихъ видовъ въ прѣсноводные. Присутствіе этихъ реликтовыхъ видовъ, составляющихъ реликтовую фауну, должно было бы служить доказательствомъ нѣкогда существовавшей связи озера съ океаномъ и послѣдовавшаго затѣмъ отдѣленія озера отъ моря. Такія озера и представляютъ собою *остаточныя озера*, каковымъ названіемъ обозначаются озерныя ложа, которыя когда то находились въ непосредственномъ соединеніи съ моремъ, теперь же отдѣлены отъ него частью суши, пересѣкавшейся стокомъ озера. Слѣдующее соотвѣтственному выраженію Крюмеля¹⁾, реликтовое озеро составляетъ выдѣлъ изъ моря (*Exclave des Meeres*).

Но спрашивается—какъ далеко можетъ заходить подобное обобщеніе? Оно идетъ и дальше. По мѣрѣ успѣховъ, дѣлаемыхъ изученіемъ озерной фауны, нашли скоро въ каждомъ прѣсномъ озерѣ многочисленныя организмы съ характерными чертами морскихъ обитателей. *Plagiostomum*, *Monotus*, *Limnocythere*, *Tetrastemma* и масса другихъ морскихъ формъ были открыты зоологами въ прѣсныхъ водахъ и опредѣлены въ видѣ типовъ, первоначально морскихъ, а теперь реликтовыхъ въ прѣсныхъ водахъ. Озера, въ которыхъ они встрѣчаются, явились такимъ образомъ въ глазахъ многочисленныхъ изслѣдователей остаточными озерами. Но эти открытія стали вскорѣ столь многочисленны, что, если считать сдѣланные выводы правильными, то всѣ наши континентальныя озера, даже большинство альпійскихъ озеръ, пришлось бы причислить къ остаточнымъ, т. е. къ такимъ, которыя въ былыя времена составляли часть моря.

Но въ такомъ заключительномъ выводѣ содержится, собственно говоря, *petitio principii*. Если встрѣчается въ озерѣ видъ, который принадлежитъ къ роду, считавшемуся до сихъ поръ чисто морскимъ, то изъ этого еще не слѣдуетъ, что данный видъ долженъ былъ приспособиться къ жизни въ прѣсной водѣ здѣсь, въ мѣстѣ его нахождения. Точно также это не можетъ обозначать и того, что рассматриваемое озеро было первоначально рукавомъ моря и воды этого рукава опрѣснились впоследствии. Чтобы оправдать такой выводъ, нужно было-бы сперва доказать, что данный видъ не могъ быть занесенъ изъ другой страны. Если мы предположимъ, что рассматриваемый родъ не изъ группы повсемѣстно—т. е. одновременно и въ моряхъ, и въ прѣсныхъ озерахъ—живущихъ формъ, но дѣйствительно морского происхожденія, и что такимъ образомъ

¹⁾ Von Martens, Ueber einige Fische und Crustaceen. Arch. f. Naturgeschichte. XXXIII. I. 149. 1857.

²⁾ Akad. d. Wissensch. Stockholm, 1860.

¹⁾ O. Krümmel, Vergleichende Morphologie der Meeresräume. Leipzig, 1879. 37.

отсутствіе его представителей въ прѣсной водѣ не можетъ быть объяснено лишь недостаточными изслѣдованіями озеръ; если, далѣе, мы допустимъ, что какой-либо видъ этого рода, путемъ постепеннаго приспособленія къ все менѣе и менѣе соленой водѣ, прижился къ прѣсной водѣ, то это приспособленіе не должно было бы произойти именно въ томъ озерѣ, въ которомъ мы находимъ нынѣ данный видъ; напротивъ, это могло случиться гдѣ-нибудь въ другомъ мѣстѣ, на примѣръ, въ лагунѣ, въ эстуаріи, въ слабо соленой части моря вродѣ Балтійскаго моря, въ другомъ остаточномъ озерѣ. Разъ данный видъ приспособился однажды здѣсь къ прѣсной водѣ, то далѣе онъ могъ получить широкое распространеніе посредствомъ миграціи, активной или пассивной. На самомъ дѣлѣ есть озера, заселенныя такой миграціей. Отчего эти столь общія явленія дѣятельнаго переноса организмовъ съ одного мѣста въ другое не могли бы имѣть примѣненія и къ первоначально морскимъ организмамъ, впослѣдствіи приспособившимся къ жизни въ прѣсной водѣ? Поэтому Р. Креднеръ ¹⁾ въ своемъ прекрасномъ трудѣ объ остаточныхъ озерахъ имѣлъ полное право сказать, что возникновеніе реликтовой фауны на самомъ мѣстѣ ея нахожденія можно признавать лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда это допускаетъ геологическая исторія, генезисъ озера. Поэтому мы вмѣстѣ съ нимъ настаиваемъ на томъ, чтобы зоологи принимали во вниманіе это безспорно правильное замѣчаніе и могли доказать, прежде чѣмъ найденную въ озерѣ морскую форму принимать сразу за реликтовую, что озеро, въ которомъ она встрѣчается, является дѣйствительно частью прежняго моря, отдѣломъ океана (*Exclave des Oceans*).

10. Біологическая географія озеръ.

Существуютъ-ли біологическія различія между озерами, находящимися въ различныхъ географическихъ условіяхъ? И если да, то въ какомъ именно отношеніи? Какъ измѣняется растительное и животное населеніе озеръ въ зависимости отъ того, расположены-ли озера въ равнинахъ или на горахъ, въ тропической или полярной области, на томъ или иномъ континентѣ, въ климатѣ съ холодомъ и ледянымъ покровомъ, или же безъ морозовъ и льда; далѣе—въ зависимости отъ того, имѣютъ-ли озера прѣсную, солоноватую или соленую воду, являются-ли они временными или постоянными бассейнами и т. д. и т. д.? Отвѣтъ на эти вопросы принадлежитъ будущему. Правда, изъ многочисленныхъ изслѣдованій, произведенныхъ за послѣдніе годы, мы имѣемъ массу какъ отдѣльныхъ фактовъ, такъ и заключитель-

¹⁾ R. Credner, Die Reliktenseen. Petermanns Mitteil. Ergänzungsheft. Nr. 86 und 89. Gotha, 1887 und 1888.

ныхъ выводовъ. Но пока мы все-таки не въ состояніи формулировать общихъ законовъ. Если бы мы попытались это сдѣлать, то, навѣрно, нѣкоторые изъ нихъ въ скоромъ времени потребовали бы поправки. Поэтому я предпочитаю пройти эту тему молчаніемъ.

11. Физиологія озерныхъ организмовъ.

Всѣ обитающія въ озерѣ животныя и растенія суть водяные организмы. Даже тѣ, которыя дышатъ въ воздухѣ,—нѣкоторыя млекопитающія, насѣкомыя, моллюски—являются приспособленными вполне или въ нѣкоторой части ихъ организаціи къ жизни въ водѣ. Даже самое дыханіе въ воздухѣ измѣняется, благодаря особымъ условіямъ жизни въ водѣ. Въ послѣдующемъ изложеніи я даю обзоръ того, что твердо установлено относительно физиологіи водяныхъ и специально озерныхъ существъ.

А) Вліяніе физическихъ свойствъ среды.

Плотность. Озерные организмы живутъ въ водѣ, т. е. въ средѣ, плотность которой приблизительно соотвѣтствуетъ плотности ихъ тѣла ¹⁾. Вслѣдствіе этого они гораздо менѣе нуждаются въ защитныхъ средствахъ и въ такихъ приспособленіяхъ, которыя поддерживали бы ихъ форму и препятствовали бы спаданію, какъ это наблюдается у организмовъ, живущихъ въ воздухѣ. Водяные организмы могутъ быть мягкими, студенистыми и почти текучими. Вынутые на воздухъ, они съеживаются; въ водѣ они сохраняютъ свой видъ, подобно тому, какъ капля масла получаетъ въ водѣ свойственную ей сферическую форму.

Водяныя растенія и животныя устроены относительно менѣе устойчиво и прочно, чѣмъ живущія на воздухѣ. Въ водѣ дѣйствіе толчковъ и давленія менѣе сильно, чѣмъ въ воздухѣ, оказывающемъ лишь слабое противодѣйствіе всѣмъ формамъ движенія.

Въ зависимости отъ того, будетъ ли средняя плотность водяныхъ организмовъ больше или меньше плотности окружающей ихъ воды, они плаваютъ на поверхности, или находятся во взвѣшенномъ состояніи среди водныхъ массъ, или опускаются на дно. Извѣстное число ихъ обладаетъ особыми гидростатическими приспособленіями, позволяющими

¹⁾ Плотность органическихъ веществъ такова:

протеиновые вещества	. 1,3
жиры	 0,9
кости и раковины	. 1,8—2,0
клетчатка (целлюлоза)	. 1,5

При этомъ слѣдуетъ замѣтить, что тѣла озерныхъ организмовъ, въ большей части, состоятъ изъ воды, такъ что ихъ плотность въ дѣйствительности приближается къ плотности воды.

имъ приводить свой удѣльный вѣсъ въ соотвѣтствіе съ плотностью воды; такимъ регулирующимъ аппаратомъ у рыбъ служитъ плавательный пузырь, у нѣкоторыхъ водорослей—масляныя капли и газовыя вакуоли и т. д.

Давленіе. Гидростатическое давленіе не оказываетъ на твердыя и жидкія тѣла никакого замѣтнаго вліянія. Сжиманіе, которому подвергаются ткани организмовъ при возрастающемъ давленіи, сравнительно незначительно. Оно приблизительно равняется тому, какому подвергается вода, въ которой данныя тѣла находятся. Вслѣдствіе того, что отношеніе ихъ средней плотности не измѣняется существенно по отношенію къ плотности окружающей ихъ воды, водяные организмы могутъ переносить какъ простое атмосферное давленіе, плавая на поверхности, такъ и сильныя давленія, живя на большихъ глубинахъ. Въ противоположность этому газообразныя тѣла при измѣненіи давленія подвергаются очень значительному измѣненію въ объемѣ. Ихъ объемъ обратно пропорціоналенъ дѣйствующему на нихъ давленію. Газообразное тѣло, будучи погружено съ поверхности воды на 10 метровъ глубины, гдѣ оно подвергается давленію двухъ атмосферъ, сокращаетъ свой объемъ на половину, на 20 метрахъ—до трети, на 300 метрахъ, гдѣ давленіе воды составляетъ 30 атмосферъ нормальнаго воздушнаго давленія,—до $\frac{1}{31}$ своего первоначальнаго объема.

Поэтому всякій организмъ, содержащій въ своемъ тѣлѣ и въ своихъ тканяхъ газы, претерпѣваетъ значительныя измѣненія своего объема, когда онъ активно или пассивно переходитъ изъ одного слоя озера въ другой. На большихъ глубинахъ онъ сжимается, уменьшается, при восхожденіи же на поверхность снова расширяется. Это явленіе имѣетъ особенное значеніе у рыбъ, снабженныхъ замкнутымъ плавательнымъ пузыремъ, которыя совершаютъ значительныя передвиженія въ вертикальномъ направленіи. Пока эти передвиженія совершаются по собственному желанію животнаго, послѣднее можетъ производить ихъ съ той скоростью, какая необходима, чтобы переходъ совершался постепенно. При восхожденіи происходитъ раствореніе газа въ крови, при опусканіи—выдѣленіе его изъ крови такимъ образомъ, что плавательный пузырь сохраняетъ приблизительно одинъ и тотъ же объемъ и такимъ образомъ придаетъ тѣлу рыбы на всякой глубинѣ тотъ удѣльный вѣсъ, который дѣлаетъ возможнымъ для нея держаться въ водѣ во взвѣшенномъ состояніи безъ особенно сильныхъ активныхъ движеній. Если же это передвиженіе по вертикали произойдетъ внезапно и въ видѣ толчка, какъ, напримѣръ, для рыбъ, когда сѣть ловца вытаскиваетъ ихъ изъ большихъ глубинъ, то переходъ наступаетъ слишкомъ быстро. Плавательный пузырь, претерпѣвающий при этомъ внезапное пониженіе давленія, необыкновенно сильно рас-

тягиается, а внутренности выпираются наружу черезъ ротъ или клоаку; рыба при этомъ задыхается. Видали даже, какъ рыбы, вытасканныя съ очень значительныхъ глубинъ, прямо лопались.

Но бываютъ и другіе случаи, когда гидростатическое давленіе на газообразныя тѣла имѣетъ значеніе, именно по отношенію къ животнымъ трупамъ. Трупы людей, утонувшихъ въ прудѣ или рѣкѣ, всплываютъ по прошествіи нѣсколькихъ дней на поверхность воды, коль скоро, вслѣдствіе наступившаго гніенія, образуются въ тканяхъ и органахъ газы, которые увеличиваютъ объемъ тѣла, не измѣняя его вѣса. Совершенно иныя условія наблюдаются у трупа, лежащаго на большой глубинѣ. Гнилостныя газы, которые, вслѣдствіе низкой температуры глубокихъ слоевъ, развиваются гораздо медленнѣе, сжимаются внѣшнимъ давленіемъ, занимаютъ небольшой объемъ и не въ состояніи бываютъ заставить трупъ подняться на поверхность воды. Поднятіе труповъ съ глубины въ 100, а можетъ быть даже съ 50 и съ 30 метровъ глубины, еще никогда не наблюдалось.

То же относится и къ трупамъ рыбъ, которыя зимою во время своихъ странствованій погибаютъ въ среднихъ и глубокихъ слояхъ озера. Зимою крайне рѣдко можно увидѣть трупъ рыбы на водной поверхности, между тѣмъ эти животныя умираютъ, конечно, во всякое время года.

Напротивъ того, трупы плавающихъ въ поверхностныхъ слояхъ пелагическихъ рачковъ быстро загниваютъ вслѣдствіе высокой температуры воды. Въ ихъ тканяхъ образуется пузырекъ газа, объемъ котораго не уменьшается давленіемъ. Тѣло плаваетъ на поверхности. Вѣроятно, это и является причиною такъ называемаго «рыбнаго запаха», который частенько бываетъ слышенъ на поверхности озера. Этотъ запахъ ракообразныхъ хорошо знакомъ натуралистамъ, занимающимся пелагическими ловами. Наши планктонныя сѣти всегда сильно пахнутъ «рыбою».

Растительные остатки, доставляемые въ озеро притоками, плаваютъ до тѣхъ поръ, пока ихъ ткани и клѣтки содержатъ въ себѣ воздухъ. Но лишь только онъ растворится и вытѣснится водою, стволъ, корни, стебли, листья—все это погружается и достигаетъ дна озера.

Теплота. Вода обладаетъ необыкновенно большою удѣльною теплотою. Это влечетъ за собою то обстоятельство, что всякое тѣло, попавшее въ воду, даже въ томъ случаѣ, если оно само развиваетъ теплоту, очень быстро принимаетъ температуру окружающей среды. Поэтому температура большинства водяныхъ животныхъ измѣнчива, т. е. теплота ихъ тѣла соотвѣтствуетъ приблизительно теплотѣ того

водного слоя, въ которомъ они живутъ. Это имѣетъ мѣсто по отношенію къ земноводнымъ, рыбамъ и всѣмъ безпозвоночнымъ.

Среди животныхъ, живущихъ въ озерѣ, лишь нѣкоторыя млекопитающія и водяныя птицы сохраняютъ постоянную температуру, которая часто бываетъ значительно выше температуры воды, въ которой они плаваютъ. Ихъ тѣла, защищенные разнообразными способами, сохраняютъ свою высокую температуру безъ особенно большого потребления теплообразующихъ веществъ. Изолирующій воздушный слой, находящійся въ опереніи птицъ или въ мѣхѣ млекопитающихъ (выдра, бобръ), или толстый слой жира въ подкожной клѣтчаткѣ ластоногихъ играютъ роль плохого проводника тепла и предохраняютъ животное отъ большихъ потерь тепла.

Б) Физиологія растительныхъ функцій.

Дыханіе. Водяныя растенія и животныя берутъ кислородъ изъ воды и въ качествѣ продукта внутренняго окисленія выдѣляютъ углекислоту. Кислородъ, растворенный въ водѣ или смѣшанный съ другими газами въ воздухѣ, эндосмотически проникаетъ черезъ защитныя ткани въ жизненные соки организмовъ.

Воздухъ, растворенный въ водѣ, содержитъ болѣе кислорода, чѣмъ атмосфера. Приблизительно треть его объема состоитъ изъ кислорода. Но зато объемъ раствореннаго въ водѣ воздуха настолько незначителенъ, что въ литрѣ воды содержится всего только 7 кубическихъ сантиметровъ кислорода, въ то время, какъ въ литрѣ воздуха соотвѣтственное количество его выражается 207 куб. сантиметр. Такимъ образомъ водное дыханіе пользуется количествомъ кислорода болѣе чѣмъ въ 30 разъ меньшемъ сравнительно съ дыханіемъ атмосфернымъ. Поэтому дыханіе у водяныхъ животныхъ должно происходить менѣе энергично, или же ихъ дыхательный аппаратъ долженъ быть совершеннѣе, чѣмъ у существъ, живущихъ въ воздухѣ. То и другое, можетъ быть, встрѣчается соединеннымъ въ одномъ и томъ же организмѣ. Съ одной стороны, процессы окисленія у животныхъ съ воднымъ дыханіемъ происходятъ менѣе энергично. Эти животныя не имѣютъ постоянной температуры, для поддержанія которой въ нѣкоторыхъ случаяхъ понадобилось бы громадное производство теплоты, а слѣдовательно былъ бы необходимъ очень энергичный процессъ дыханія. Съ другой же—водный дыхательный аппаратъ совершеннѣе или, скорѣе, производительнѣе, чѣмъ аппаратъ для атмосфернаго дыханія. Жабры, въ которыхъ непрерывная струя содержащей кислородъ воды постоянно приводитъ къ тонкимъ капиллярнымъ кровеноснымъ сосудамъ свѣжую жидкость, производятъ гораздо болѣе энергичный газовый обмѣнъ, чѣмъ легочные мѣшки

позвоночныхъ и моллюсковъ или трахеи наѣкомыхъ, въ которыхъ воздухъ лишь медленно и несовершенно возобновляется, а свѣжій воздухъ, только лишь послѣ того, какъ онъ смѣшается съ остатками отъ предыдущаго вдоха, входитъ въ соприкосновеніе съ кровью. Водяныя растенія дышатъ всею своею поверхностью, непрерывно омываемой водою.

Кромѣ водяныхъ животныхъ съ жабернымъ или кожнымъ дыханіемъ, мы встрѣчаемъ еще и такихъ, которыя дышатъ въ воздухѣ. Живя въ водѣ или на водѣ, они, въ сравненіи съ родственными имъ животными типами, дышатъ совершенно особымъ образомъ.

Принадлежащія къ классу млекопитающихъ водяныя позвоночныя (рѣчная выдра, тюлень и друг.), птицы (лапчатогогія), пресмыкающіяся (черепахи, крокодилы и т. д.), земноводныя (тритоны и лягушки) всплываютъ на поверхность, гдѣ они вдыхаютъ атмосферный воздухъ. Они погружаются въ воду для добыванія пищи. Поэтому большинство изъ нихъ сопротивляется довольно долгое время задушенію. По отношенію къ тюленямъ и рѣчной выдрѣ мы не имѣемъ никакихъ наблюденій; мы знаемъ, однако, что киты могутъ оставаться подъ водою до 30 минутъ. Утка задыхается лишь по истеченіи 10 минутъ послѣ погруженія (Bert). Лягушка противостоитъ смерти отъ задушенія лѣтомъ въ теченіе часовъ, а зимою въ теченіе недѣль и мѣсяцевъ (Edwards). Въ этомъ случаѣ для лягушки, кажется, бываетъ достаточно кожного дыханія, чтобы поддерживать жизнь. У млекопитающихъ же и у птицъ эта способность противодѣйствія смерти стоитъ, можетъ быть, въ связи съ большимъ количествомъ крови, содержащейся въ ихъ сосудахъ, которое является какъ бы запаснымъ хранилищемъ кислорода. Можетъ быть, эта способность покоится также на извѣстныхъ свойствахъ венозной системы, на расширеніи брюшныхъ венъ, на венозныхъ сфинктерахъ, которые, замедляя циркуляцію крови, задерживаютъ притокъ къ нервнымъ центрамъ крови, перегруженной углекислотою.

Водяныя наѣкомыя съ воздушнымъ дыханіемъ обладаютъ приспособленіями, позволяющими имъ дѣлать запасы воздуха, который они забираютъ на поверхности и уносятъ съ собою въ глубину. Личинки наѣкомыхъ, дышащихъ жабрами, по крайней мѣрѣ тѣ, которыя живутъ въ мелкихъ водахъ, обладаютъ воздушнымъ аппаратомъ. Ихъ жабры полны воздуха. У тѣхъ же, которыя живутъ въ среднихъ и глубокихъ слояхъ озера, этого не наблюдается. Такъ какъ онѣ не поддерживаютъ никакой связи съ атмосферою, то и не получаютъ воздуха, которымъ онѣ могли бы наполнять свои трахеи. Послѣднія содержатъ лишь воду. Только тогда, когда вынешь такихъ животныхъ на поверхность, замѣчаешь въ ихъ тканяхъ появленіе черныхъ, сильно преломляю-

щихъ свѣтъ трубочекъ, которыя доказываютъ, что въ ихъ дыхательномъ аппаратѣ существуетъ воздухъ.

Въ глубокихъ областяхъ озера и даже на береговыхъ банкахъ, на глубинѣ въ 2—4 метра, живутъ дышащія легкими моллюски (*Limnea*), не обладающіе также способностью захватывать съ поверхности воздухъ. Ихъ легочные мѣшки вовсе не содержатъ газообразнаго воздуха. Поэтому дыханіе этихъ брюхоногихъ должно совершаться почти исключительно черезъ кожу.

Питаніе. Озерные организмы питаются, воспринимая воду и растворенныя въ ней различныя вещества, а также поглощая органическія тѣла, суспендированныя въ водѣ или опустившіяся на дно. Эти оба рода питанія иногда встрѣчаются одновременно, особенно у представителей животнаго царства. Разсмотримъ различныя группы организмовъ.

1. *Растенія безхлорофильныя*. Грибы и водоросли поглощаютъ изъ окружающей среды растворенныя въ ней азотистыя вещества и углеводы. Особенно это относится къ *Cladotrix*, *Sphaerotilus* и нѣкоторымъ другимъ водорослямъ, разрастающимся при устьяхъ сточныхъ каналовъ, вода которыхъ является для нихъ настоящимъ питательнымъ бульономъ. Подобное же явленіе имѣетъ мѣсто и по отношенію къ свободнымъ бактеріямъ и фикомицетамъ (*Saprolegnia* и проч.), обозначаемымъ общимъ именемъ «агентовъ разложенія» (*Verwesungsagenten*) живыхъ и мертвыхъ организмовъ. Они развиваются въ тканяхъ живутъ, питаются и размножаются, при чемъ они разлагаютъ ткани на ихъ химическіе элементы. Спрашивается лишь, потребляютъ ли они прямо органическія ткани? Это мало вѣроятно; однако, мы видимъ, что питательныя жидкости бактериологовъ представляютъ среду, въ которой эти мелкіе организмы такъ быстро и правильно развиваются и размножаются, что на этомъ могли даже основать счетный методъ изученія микробовъ. Кажется вѣроятнымъ, что дѣйствующія при гніеніи шизомицеты питаются только растворенными веществами и что, благодаря быстрому поглощенію растворенныхъ, вслѣдствіе ихъ чрезвычайно интенсивной жизнедѣятельности и размноженію, веществъ, они все вновь и вновь способствуютъ и благопріятствуютъ явленіямъ химическаго разложенія. При отсутствіи микробовъ не происходитъ процессовъ гніенія и не совершается развитія углекислоты, метана и птомаиновъ.

2. *Хлорофиллоносныя растенія*. Рядомъ съ процессомъ питанія въ собственномъ смыслѣ, при которомъ растенія эти принимаютъ неорганическіе элементы, они обладаютъ еще замѣчательной, обусловливаемой дѣятельностью хлорофилла, функціей ассимиляціи, при которой они разлагаютъ углекислоту, содержащуюся въ водѣ въ большихъ

количествахъ, и выдѣляютъ при этомъ кислородъ. Изъ освобожденнаго углерода строятся углеводы и въ соединеніи съ неорганическими веществами протеиды. Неорганическія вещества принимаются растеніями непосредственно изъ воды въ растворенномъ видѣ черезъ оболочки тканей. Часть этихъ веществъ можетъ также, конечно, проникать во внутреннія части растеній черезъ корни. На самомъ дѣлѣ наблюдали, что извѣстныя растенія (*Elodea canadensis*) быстро истощаютъ почву, что трудно поддавалось бы объясненію, если считать, что корни, какъ обыкновенно принимаютъ, функционируютъ лишь въ качествѣ органовъ прикрѣпленія. Точно также отсутствіе корневыхъ растеній въ стерильномъ пескѣ береговой банки служить доказательствомъ правильности того предположенія, что и подземные органы играютъ активную роль въ процессѣ питанія.

3. *Растительныя животныя* находятъ для себя богатую пищу во всей литторальной части озера, гдѣ пышно развиваются явнотрачныя и тайнотрачныя. Въ пелагической области пища ихъ уже скуднѣе, такъ какъ тамъ она состоитъ лишь изъ плавающихъ или находящихся во взвѣшенномъ состояніи водорослей и изъ растительныхъ остатковъ, случайно занесенныхъ вѣтромъ и теченіями съ суши и изъ литторальной области. Въ глубоководной части озера растительныя вещества доходятъ только до глубины въ 50—100 метровъ и то лишь въ формѣ жалкихъ водорослей, образующихъ органическій войлокъ. Въ болѣе же глубокихъ частяхъ озера растеній вовсе нѣтъ.

4. *Всеядныя животныя*, живущія на счетъ мертвыхъ остатковъ и отдѣльныхъ частей или же цѣльныхъ растительныхъ и животныхъ организмовъ, находятъ богатую пищу по всему озеру. Даже въ глубокой, вообще столь бѣдной, области они поддерживаютъ свое существованіе, благодаря притоку органическихъ тѣлъ. Тяжелые пелагическіе организмы опускаются послѣ своей смерти и непрерывно доставляютъ глубоководной области все новыя питательныя вещества, создаваемыя въ освѣщенныхъ слояхъ озера.

5. *Плотоядныя животныя* находятъ для себя пищу повсюду. Большія и сильныя пожираютъ болѣе мелкихъ и слабыхъ, которыя, за исключеніемъ, можетъ быть, нижнихъ слоевъ пелагической области, весьма многочисленны во всѣхъ областяхъ. Пелагическія животныя при своихъ суточныхъ странствованіяхъ едва-ли опускаются ниже 40—60 метровъ. Всѣ животныя глубоководной зоны живутъ въ илѣ дна и не поднимаются въ лежащія надъ нимъ слои воды. Только лишь трупы пелагическихъ организмовъ прорѣзаютъ эти глубокіе слои воды во время своего медленнаго опусканія. Но и здѣсь, на этихъ трупахъ, нѣтъ недостатка въ жизни: на нихъ укрѣпляются и пышно развиваются микробы, вызывающіе гніеніе.

Что касается принятія пищи, самой ѣды, если только можно употребить это выраженіе, то оно не представляет ничего особеннаго у большинства животныхъ, живущихъ въ различныхъ областяхъ озера, какъ свободно, такъ и въ прикрѣпленномъ видѣ. Особенности представляютъ лишь отдѣльныя, живущія на днѣ, животныя, которыя, благодаря своему пребыванію въ илѣ, находятся въ совершенно особыхъ условіяхъ. Поэтому мы не будемъ входить въ разсмотрѣніе свободно живущихъ животныхъ или животныхъ бѣгающихъ, ползающихъ или скачущихъ по аллювію озерного дна, а ограничимся лишь спеціальнымъ упоминаніемъ о нѣкоторыхъ интересныхъ типахъ, живущихъ въ трубкахъ. Немногочисленное по числу видовъ число ихъ особей чудовищно велико, такъ что они играютъ важную роль въ образованіи озернаго аллювія. Это суть щетинконогія аннелиды (*Tubifex*, *Saenuris* и др.), круглые черви (*Mermis*, *Dorylaimus* и др.) и личинки двукрылыхъ (*Chironomus*, *Tanytus* и др.). Эти червеобразныя животныя роютъ въ илѣ цилиндрическія галлерей, стѣнки которыхъ часто бываютъ выстланы какъ-бы шелковистою тканью. Чтобы дышать, принимать пищу и освободиться отъ пищеварительныхъ остатковъ, они высовываются изъ отверстія своего жилища; при опасности, угрожающей имъ со стороны ихъ враговъ, они снова уходятъ внутрь своей постройки. Галлерей пронизываютъ дно въ формѣ многочисленныхъ каналовъ, въ которыхъ свободно циркулируетъ вода. Въмѣсто того, чтобы быть плотнымъ, дно здѣсь является источеннымъ и изрытымъ животными, населяющими илѣ. Безъ нихъ налегающіе другъ на друга слои озернаго аллювія образовали бы компактную массу, въ которой органическая матерія, поскольку она не тотчасъ же разлагается и растворяется, окончательно была бы погребена и законсервирована. Но указаннымъ образомъ процессъ использованія органическаго вещества распространяется на глубину нѣсколькихъ сантиметровъ дна и поэтому онъ происходитъ тѣмъ совершеннѣе.

Остановимся еще нѣкоторое время на разсмотрѣніи этого процесса; онъ существенно отличается отъ образованія гумуса, происходящаго на земной поверхности въ свободномъ воздухѣ. При образованіи гумуса поверхность твердыхъ породъ измѣняется, благодаря вывѣтриванію, растительности и животнымъ. Особенно дождевые черви (*Lumbricidae*) переводятъ землю въ гумусъ. Углекислота воздуха растворяетъ известъ и полевой шпатъ. Нитриты и нитраты, образующіеся изъ азота воздуха, благодаря молніи или вслѣдствіе дѣятельности агентовъ гніенія, поглощаются растеніями и переходятъ въ почву при ихъ сгниваніи въ формѣ гумусовыхъ кислотъ и амміачныхъ соединений. Подобное же происходитъ и при гніеніи животныхъ труповъ. Все, наконецъ, заканчивается образованіемъ поверхностнаго гумусоваго

слоя, который только при участіи нижележащаго грунта увеличивается въ своей мощности. Увеличеніе же, происходящее на счетъ атмосферическаго песка и пыли—за исключеніемъ сухихъ степныхъ областей, бѣдныхъ гумусовъ—такъ ничтожно, что имъ можно пренебречь. Толщина этого слоя колеблется въ зависимости отъ климатическихъ условій. Въ извѣстныхъ областяхъ она очень мала, въ другихъ, напримѣръ, въ лѣсахъ тропиковъ, въ торфяныхъ болотахъ, она можетъ достигать значительной мощности. Но ни въ какомъ случаѣ гумусовый слой не можетъ нарастать безгранично.

Аллювій же, отлагающійся на днѣ стоячихъ водъ (озеръ и морей), представляется совершенно инымъ. Какъ рѣчные наносы, такъ и озерный аллювій, приносятся все въ новыхъ и новыхъ, иногда весьма значительныхъ, массахъ, такъ что мощность аллювіальнаго слоя на днѣ озера непрерывно увеличивается. Но въ то же время на дно падаютъ органическія вещества, трупы пелагическихъ организмовъ. Такимъ образомъ должна была бы возникнуть твердая порода смѣшаннаго состава, отчасти неорганическаго, отчасти органическаго происхожденія, еслибы при этомъ не разрушались органическія составныя части. Онѣ пожираются всеядными животными глубоководной фауны, поглощаются водорослями растительнаго войлока въ растворенномъ видѣ и, наконецъ, являются добычею микробовъ гніенія. Последніе проявляютъ свою дѣятельность сначала лишь въ поверхностномъ слоѣ, но ихъ разрушительная работа не останавливается и въ томъ случаѣ, когда новый слой наляжетъ на первый. Этотъ процессъ происходитъ во внутренности озернаго ила тѣмъ легче, что въ многочисленныхъ галлерейхъ, построенныхъ живущими въ трубчачахъ животными ила, свободно циркулируетъ вода. Если разсматривать озерный илѣ, который стоялъ продолжительное время въ прозрачномъ стеклянномъ сосудѣ, то можно очень скоро замѣтить, какъ наполняются газами разложенія галлерей аннелидъ и личинокъ, проникающихъ массу ила во всевозможныхъ направленіяхъ. Какъ только объемъ газа станетъ достаточно большимъ, изъ верхняго конца трубочекъ выходятъ его пузырьки. Органическіе остатки въ поверхностномъ слоѣ озернаго ила настолько полно разрушаются процессами гніенія, что въ нижележащихъ слояхъ отъ нихъ не остается болѣе никакого слѣда. Окончательнымъ озернымъ аллювіемъ, какъ геологическимъ образованіемъ, являются чистый мергель, чистая глина или чистый озерный мѣлъ безъ существенныхъ слѣдовъ органическихъ примѣсей.

Что касается фізіологіи питанія озерныхъ организмовъ въ тѣсномъ смыслѣ слова, то я не могу сообщить объ этомъ ничего особеннаго, такъ какъ не имѣлъ случая поставить достаточно наблюдений въ этомъ направленіи.

В) Физиологія животныхъ функцій,

Способность къ ощущеніямъ и двигательная способность у озерныхъ организмовъ не представляетъ, повидимому, ничего достопримѣчательнаго. Но одинъ спеціальнѣйшій вопросъ долженъ быть, во всякомъ случаѣ, выдѣленъ, это именно зрительная способность. Съ одной стороны, она зависитъ отъ степени освѣщенія, съ другой—отъ прозрачности среды. Верхніе слои озера почти такъ же ярко освѣщены, какъ и атмосфера. Днемъ солнечный свѣтъ производитъ одинаковое дѣйствіе въ обѣихъ средахъ; ночью же—въ обѣихъ господствуетъ равная тьма.

Колебанія въ силѣ освѣщенія, зависящія отъ временъ года, нѣсколько сильнѣе сказываются въ водѣ. Вліяніе высоты солнца надъ горизонтомъ замѣтнѣе выражается въ водѣ, чѣмъ въ воздухѣ. Въ среднихъ и глубокихъ слояхъ освѣщеніе гораздо менѣе интенсивно, чѣмъ на поверхности. Сильная поглощаемость прозрачной водной среды, непрозрачный экранъ, образованный изъ суспендированныхъ пылинокъ, расположенныхъ другъ надъ другомъ, частичное отраженіе и преломленіе, которому подвергаются солнечные лучи при своемъ проникновеніи въ воду,—даютъ въ результатъ то, что солнечный свѣтъ лишь весьма неглубоко проникаетъ въ озеро и его дѣйствіе продолжается лишь въ теченіе немногихъ дневныхъ часовъ. Лѣтомъ средніе слои, благодаря большому замутнѣнію воды, освѣщены менѣе ярко, чѣмъ это могло бы быть. То же самое и зимою, не смотря на чистоту воды, такъ какъ солнце стоитъ ниже. Въ глубокихъ же слояхъ озера господствуетъ совершенный мракъ. Это мы можемъ заключать изъ быстро пропадающаго съ глубиной дѣйствія фотохимическихъ лучей на свѣточувствительныя вещества (опыты съ хлоро-и бром-іодистымъ серебромъ)¹⁾. Мы скоро уже доходимъ до слоевъ, въ которыхъ даже самыя чувствительныя пластинки не обнаруживаютъ никакого дѣйствія свѣта. Усматриваемъ это далѣе и изъ того, что на большихъ глубинахъ абсолютно отсутствуютъ хлорофиллоносныя растенія, нуждающіяся для жизни въ дѣйствіи свѣта.

Но это еще не означаетъ того, что чувствительность оптическихъ нервовъ животныхъ такова же, какъ и свѣточувствительныхъ веществъ, къ которымъ мы должны обращаться при нашихъ опытахъ въ озерѣ. Мы знаемъ, что достаточно долгая экспозиція очень чувствительныхъ желатиновыхъ пластинокъ показываетъ астрономамъ звѣзды въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ глазъ, даже при сильнѣйшемъ телескопѣ, ничего не могъ увидѣть. Мы знаемъ далѣе, что та же самая свѣточувствительная

пластинка, экспонированная очень краткое время, ничего не показываетъ изъ тѣхъ звѣздъ, которыя мы можемъ видѣть простымъ глазомъ. И, однако различаетъ нашъ глазъ звѣзды до 6-ой величины. Такимъ образомъ нашъ глазъ является гораздо чувствительнѣе, чѣмъ даже самая наичувствительная пластинка, хотя онъ и не обладаетъ, подобно ей, способностью усиливать свѣтовое впечатлѣніе путемъ удлинненія времени дѣйствія.

Нѣкоторыя, къ сожалѣнію еще крайне рѣдкія, біологическія наблюденія побуждаютъ насъ заключать, что на большихъ глубинахъ совершенно нѣтъ свѣта, который могъ бы быть воспринятъ. Эти наблюденія сводятся къ слѣдующимъ фактамъ: 1) присутствіе слѣпыхъ животныхъ (правда, нѣкоторыя изъ нихъ должны быть причислены къ фаунѣ пещеръ); 2) исчезновеніе глазъ у отдѣльныхъ особей видовъ, обладающихъ нормально глазами; 3) ослабленіе пигментировки у животныхъ глубоководной области и, наконецъ, 4) аналогія съ большими глубинами океана, гдѣ совершенно слѣпые виды и виды съ чрезвычайно большими глазами указываютъ на почти полную или совершенную темноту.

Вторымъ, важнымъ для зрѣнія въ озерѣ, факторомъ является большая или меньшая прозрачность воды. Особенно сильно понижается эта прозрачность въ литоральной области лѣтомъ, вслѣдствіе суспендированныхъ въ водѣ частичекъ пыли. Тогда зрѣніе на далекое разстояніе дѣлается невозможнымъ ни для одного животного; они все время какъ бы окружены туманомъ; до послѣдняго мгновенія приближеніе врага остается для нихъ скрытымъ. Зрительное поле даже для рыбъ, снабженныхъ отличнымъ зрительнымъ аппаратомъ, измѣняется часто всего лишь радіусомъ въ нѣсколько метровъ. Многія своеобразныя особенности живущихъ въ озерѣ животныхъ, главнымъ образомъ, рыбъ, объясняются этими условіями, рѣзко отличающимися отъ тѣхъ условій, въ какихъ приходится жить наземнымъ животнымъ.

12. Круговоротъ органической матеріи.

Минеральныя составныя части, доставляемыя притоками озеру, претерпѣваютъ довольно простую судьбу. Суспендированныя частицы, черезъ осажденіе, отлагаются на днѣ, растворенныя уносятся посредствомъ стока, въ море; лишь въ глухихъ озерахъ и послѣднія присоединяются къ аллювію. Напротивъ того, органическія вещества подвергаются разнообразнымъ превращеніямъ.

Откуда они берутся?

Дождь и прочіе атмосферные осадки, какъ снѣгъ, градъ и т. д., вводятъ въ озеро амміакъ, угольную кислоту, азотистую и азотную

¹⁾ Ср. выше, стр. 112.

кислоты. Атмосфера обогащает внутреннюю воду органическими веществами в формѣ пыли, органовъ или цѣлыхъ организмовъ, труповъ и остатковъ растительныхъ и животныхъ организмовъ съ окружающей суши. Притоки приносятъ въ озеро растворенныя органическія вещества, какъ продуктъ размыванія всей площади бассейна, а также продукты выдѣленія и гніенія организмовъ, живущихъ въ его районѣ, въ рѣкахъ, болотахъ, сточныхъ каналахъ и пр. Точно также они приносятъ съ собою въ озеро трупы и ихъ остатки, равно какъ и живыхъ особей изъ числа организмовъ, обитающихъ на сушѣ.

Благодаря этимъ тремъ источникамъ питанія, въ озерѣ накапливаются значительныя количества органическихъ веществъ. Послѣднія находятся въ озерѣ въ трехъ формахъ: въ формѣ растворенныхъ органическихъ соединений; въ формѣ мертвыхъ организованныхъ органическихъ соединений, т. е. труповъ и отбросовъ растений и животныхъ; въ формѣ живыхъ организованныхъ органическихъ соединений, т. е. живыхъ растений и животныхъ.

Какая же судьба постигаетъ эти вещества?

А) *Растворенныя органическія соединения* отчасти ассимилируются живущими въ озерѣ организмами, отчасти разлагаются подъ вліяніемъ процесса гніенія или химическихъ явленій на болѣе простыя, газообразныя соединения, которыя уходятъ въ воздухъ, отчасти же, наконецъ, уносятся истокомъ.

Б) *Мертвыя органическія вещества* въ формѣ труповъ и остатковъ. Одна часть ихъ уносится съ водою истока, другая—выбрасывается волнами на берегъ, гдѣ изъ отбросовъ образуется настоящая дамба. Во время бури эти береговыя скопленія опять разносятся по озеру или же разсѣиваются въ атмосферѣ въ видѣ пыли; наконецъ, извѣстная ихъ часть погребается въ аллювіи и становится ископаемой. Часть этихъ органическихъ веществъ служитъ пищей для всеядныхъ животныхъ и, такимъ образомъ, вновь вступаетъ въ круговоротъ живой органической матеріи; другая часть, подъ вліяніемъ возбудителей гніенія, грибовъ, бактерій и т. п., разрушается и, такимъ путемъ, вступаетъ въ круговоротъ растворенныхъ органическихъ тѣлъ.

В) *Организованныя органическія соединения*, живыя растения и животные. Пока они живутъ, эти живыя существа сами ассимилируютъ органическія и минеральныя соединения, находящіяся въ растворѣ или въ твердомъ видѣ; одну часть этихъ веществъ они накапливаютъ въ своихъ тканяхъ, въ видѣ организованнаго вещества, другую же—вновь освобождаютъ въ видѣ растворенныхъ или газообразныхъ выдѣленій. Послѣднія въ этомъ случаѣ попадаютъ въ разрядъ веществъ, обозначенныхъ нами подъ литерою А. Когда эти организмы умираютъ, то это случается или въ силу естественной смерти—и тогда они претер-

пѣваютъ судьбу веществъ нашей группы В; или же они могутъ быть проглочены растительноядными или плотоядными животными—и тогда остаются въ круговоротѣ живой органической матеріи.

Тѣ превращенія и переходы, которымъ подвергаются органическія вещества въ озерѣ, могутъ быть выражены слѣдующимъ образомъ.

Озерныя растения берутъ необходимыя для своего питанія вещества прямо въ формѣ растворовъ изъ окружающей воды. Посредствомъ эндосмоза неорганическія соединения (амміачныя соли, фосфаты, сульфаты, нитраты, хлориды, нитриты, карбонаты и т. д.) вводятъ внутрь растения необходимыя для растительнаго тѣла элементы (калій, кальцій, магній, желѣзо и др.). Въ то же время растение поглощаетъ растворенную въ водѣ углекислоту и перерабатываетъ ее въ различные углеводы, преимущественно въ крахмалъ. Углеводы вступаютъ въ химическія соединения съ только что поименованными тѣлами и образуютъ бѣлковыя вещества, протоплазму и проч. Возникшія такимъ образомъ живыя органическія соединения живутъ, но не вѣчно. Лишь небольшая часть сохраняется по основному закону непрерывности эмбриональнаго вещества въ видѣ сѣмянъ или зародышей и снова начинаетъ круговоротъ. Тѣла же растений поѣдаются травоядными животными или отмираютъ и, путемъ гніенія, вновь переводятся въ газообразные или растворимые продукты. Лишь очень небольшая часть растительнаго тѣла попадаетъ въ число остатковъ и достигаетъ аллювія дна, или же черезъ истокъ выносится въ море.

Живущія въ озерѣ животныя могутъ часть растворенныхъ въ водѣ веществъ непосредственно ассимилировать и переводить въ организованное состояніе. Они строятъ свои кремневые и известковые скелеты изъ веществъ, находящихся въ растворѣ. Вода, проходящая черезъ ихъ органы пищеваренія, доставляетъ имъ, вѣроятно, кое-какія растворенныя органическія вещества, доступныя ассимиляціи. Но питаніе ихъ, въ большей своей части, основано на растительныхъ организмахъ, которые они поѣдаютъ или непосредственно (растительноядныя и всеядныя), или косвенно (плотоядныя).

Растительное вещество является первоосновой животнаго питанія всякаго рода. Превращенія и странствованія, какія претерпѣваетъ растение, водоросль, на примѣръ, разнообразны. Діатомея пожирается коллаткой, послѣдняя кладоцерой, эта—наѣкомоядной рыбой, а та—хищной рыбой, которая въ свою очередь становится жертвой рѣчной выдры или рыбака. Мелкія и слабыя поѣдаются большими и сильными, а они сами становятся, въ концѣ концовъ, добычею самыхъ мельчайшихъ—бактерій гніенія.

Войдя въ тѣло животнаго, органическое вещество или превращается въ организованное, или выдѣляется въ растворенномъ видѣ.

Но какъ бы процессъ ни протекалъ, конечный результатъ получается всегда одинъ и тотъ же. Органическое вещество всегда возвращается опять въ большую кладовую, въ озеро, будетъ ли это въ формѣ животныхъ выдѣлений, какъ-то углекислоты, мочи и другихъ продуктовъ явленій животнаго сгорания, или же послѣ смерти организмовъ, въ видѣ продуктовъ ихъ гніенія.

Исключеніе составляетъ лишь то органическое вещество, которое уносится изъ озера его истокомъ, да тѣ небольшія количества, которыхъ лишается озеро, благодаря выловленнымъ изъ него животнымъ. Рыбы, ловимыя человекомъ, рѣчной выдрой или птицами, крылатыя формы насекомыхъ, живущихъ на озерѣ, похищаемыя летучими мышами, ласточками и проч., или уносимыя вѣтромъ, растительныя и животныя остатки, выбрасываемыя волнами на берегъ,—все они выводятся изъ озернаго круговорота и возвращаются отъ времени до времени въ круговоротъ почвы или воздуха.

13. Озеро, какъ микрокосмъ.

Какъ мы только что видѣли, органическая матерія находится въ непрерывномъ круговоротѣ между претвореніемъ ея въ живые организмы и разрушеніемъ этихъ организмовъ послѣ ихъ смерти, между раствореніемъ въ жидкой средѣ и улетучиваніемъ въ лежащую надъ нею атмосферу. Растворенное органическое вещество представляетъ изъ себя неизсякаемый, постоянно возобновляющійся запасъ, изъ котораго животныя и растенія черпаютъ матеріалъ для возстановленія своихъ тѣлъ. Организованныя тѣла во время жизни возвращаютъ этому запасу взятый матеріалъ въ формѣ выдѣлений, а послѣ смерти—въ формѣ продуктовъ гніенія. Озеро—это міръ въ маломъ, въ которомъ постоянно повторяется круговоротъ, начинающійся образованіемъ существъ и оканчивающійся раствореніемъ.

Этотъ микрокосмъ, пользуясь выраженіемъ профессора С. А. Форбса ¹⁾, могъ бы быть долгое время самодовлѣющимъ, если бы даже онъ былъ совершенно изолированъ отъ окружающихъ его средъ. Но, однако, онъ находится въ непосредственной или косвенной связи съ атмосферой, съ окружающей его твердою землею, со своимъ бассейномъ, а при помощи его стока—съ моремъ.

Такимъ образомъ озеро является важнымъ звеномъ въ процессѣ развитія жизни на землѣ. Этотъ микрокосмъ входитъ въ составъ міра и занимаетъ въ немъ, благодаря господствующей внутри его дѣятельной, интересной жизни, значительное мѣсто.

¹⁾ S. A. Forbes, The Lake as a Microcosm. Bull. Peoria Scientif. Assoc. 25 Febr. 1887.

Но озеро является микрокосмомъ не только въ біологическомъ отношеніи, вслѣдствіе своего индивидуальнаго характера, какъ рѣзко обособленная среда, въ которой совершается полный круговоротъ явленій, возникающихъ одно изъ другого. Оно является также индивидуумомъ въ физическомъ, химическомъ, механическомъ и географическомъ отношеніяхъ. Во всякомъ случаѣ, оно не стоитъ изолированно ни въ пространствѣ, ни во времени, а находится въ связи съ другими частями земли, съ водами и атмосферой, которыя его окружаютъ. Однако въ его водахъ разыгрывается самостоятельно цѣлый рядъ явленій, развитій, превращеній, причинъ и слѣдствій; оно какъ въ физическомъ, такъ и въ біологическомъ отношеніи является микрокосмомъ.

Приведемъ этому нѣкоторые примѣры, ссылаясь на вышесказанное.

Что касается состава воды въ озерѣ, то въ немъ смѣшиваются различныя водяныя массы, доставляемыя притоками, будетъ ли то вода рѣкъ или дождевая; онѣ соединяются другъ съ другомъ и, благодаря своему продолжительному пребыванію въ озерѣ, превращаются въ однородную массу озерной воды. Въ озерной водѣ все химическія различія слившихся водъ сглаживаются и стираются. Въ термическомъ отношеніи происходитъ обмѣнъ между воздухомъ и водою; озеро поглощаетъ тепловые лучи или же излучаетъ теплоту. Но въ то время, какъ небесныя тѣла, которыя посылаютъ къ нему теплоту, всходятъ и заходятъ, въ то время, какъ пространство, воспринимающее излучаемую озеромъ теплоту, безгранично, въ то время, какъ атмосфера, съ которой оно находится въ термическомъ обмѣнѣ, непрерывно возобновляется и измѣняется,—озеро представляетъ покоящуюся неподвижную массу. Рѣка, черезъ него протекающая, обновляетъ его столь медленно, что это обновленіе его матеріи исчезаетъ передъ непрерывно продолжающеюся термическою дѣятельностью озера.

Ясно, что механическія движенія озера остаются ограниченными его водами. Въ этомъ отношеніи въ ограниченной водной массѣ озернаго бассейна сильнѣе выражена индивидуальность, чѣмъ въ безграничныхъ пространствахъ океана, все части котораго находятся во взаимной связи и воздѣйствуютъ другъ на друга.

Также и въ общемъ географическомъ отношеніи рѣзко выражена индивидуальность озера. Озеро представляетъ собою изолированную посреди континента часть гидросферы, точно также, какъ океаническій островъ является изолированнымъ въ морѣ участкомъ твердой земли. Подобно тому какъ островъ находится въ соотношеніи съ океаномъ, въ которомъ онъ расположенъ, а также съ остальными островами

своего архипелага,—въ такомъ же соотношеніи и соединеніи находится озеро съ окружающей его сушей и сосѣдными водами. Климатическая, физическая, біологическая индивидуальности острова выступаютъ не сильнѣе, чѣмъ озера. Во всѣхъ отношеніяхъ озеро есть рѣзко характеризованный географическій индивидуумъ. Каждое озеро является органомъ земли, каждое заслуживаетъ монографическаго описанія, которое представляетъ въ надлежащемъ освѣщеніи факты общей лимнологіи, въ немъ специализированныя и индивидуализированныя; климатъ же, высота, географическое положеніе въ опредѣленномъ континентѣ придаютъ каждому озеру особый отпечатокъ.

Если бы естествоиспытатели и географы могли методически изслѣдовать во всѣхъ отношеніяхъ многочисленныя различныя озера нашей планеты! Тогда наши преемники были бы въ состояніи написать сравнительную лимнологию столь обстоятельно, какъ нынѣ она еще не можетъ быть написана

Приложенія.

I. Программа лимнологическихъ изслѣдованій.

Ниже я намѣренъ кратко представить тѣ географическія, физическія и описательныя естественно-историческія наблюденія, которыя нужно производить на всякомъ озерѣ при современномъ состояніи науки.

I. Гидрографія озера. Описание озера; изображеніе его географическаго положенія; составленіе гидрографической карты; данныя болѣе интересныхъ особенностей рельефа дна; вычисленіе его морфометрическихъ величинъ.

II. Геологія. Установленіе генезиса озера и геологической исторіи его котловины (вайны); ея первоначальный рельефъ, раньше чѣмъ эрозія и отложенія его измѣнили; исторія метаморфозъ, которымъ подвергалось озеро въ теченіе временъ; прежнія стоянія водъ озера.

III. Петрографія. Физическія, химическія и минералогическія изслѣдованія современнаго озернаго дна въ его различныхъ областяхъ.

IV. Гидрологія. Изслѣдованіе воднаго режима, т. е. прихода воды черезъ рѣки и дождь и расхода ея черезъ испареніе и стокъ; изслѣдованіе періодическихъ и неперіодическихъ колебаній уровня воды, движеній воды въ видѣ теченій, волнъ, сейшъ и пр.

V. Климатологія. Изслѣдованіе областныхъ условій атмосферы, термическихъ, гигрометрическихъ, анемометрическихъ и другихъ условій, имѣющихъ отношеніе къ озеру.

VI. Химія. Химическій составъ водъ; количество твердыхъ и растворенныхъ минеральныхъ и органическихъ составныхъ частей; ихъ періодическія или случайныя, общія или мѣстныя колебанія.

VII. Термика. Типъ озера—полярный, умѣренный или тропическій; періодическія и неперіодическія тепловыя колебанія; температурныя соотношенія между литторальной, пелагической и глубоководной областями; замерзаніе озера.

VIII. Оптика. Прозрачность и цвѣтъ воды; характеръ послѣдняго; періодическія, непериодическія и мѣстные колебанія.

IX. Біологія. Фауна и флора литторальной, пелагической и глубоководной областей; ихъ генезисъ.

II. Библиографія.

Ниже я привожу заглавія важнѣйшихъ работъ изъ области озеровѣдѣнія, поскольку онѣ имѣютъ значеніе для общей лимнологіи.

Дать полную библиографію всей литературы объ озерахъ для меня невозможно; она одна могла бы заполнить толстый томъ. Я довольствуюсь тѣмъ, что называю нѣкоторыя главныя работы, въ которыхъ читатель можетъ найти подробности по физической географіи озеръ. Труды, которые цитированы въ текстѣ руководства, я здѣсь не привожу вторично.

I. Библиографіи и обобщающія сводки.

K. Zöppritz, seit 1887 H. Hergesell und E. Rudolph, seit 1891 E. Rudolph: Fortschritte der Geophysik. Abschnitt: Physik der Erdrinde. (Wagners Geographisches Jahrbuch VIII—XI, XII, XV, XVI, XVIII, XX). Лучшій обзоръ успѣховъ озеровѣдѣнія съ подробными литературными указаніями, но безъ данныхъ по біологіи.

Litteraturbericht in Petermanns Mitteilungen, redigiert von A. Supan (seit 1885); постоянные рефераты работъ въ области озеровѣдѣнія.

Annales de Géographie de Vidal de la Blache, Gallois et de Margerie. Paris, 1892 f. Библиографія по лимнологіи въ июльской книжкѣ каждаго года.

Bibliotheca geographica. Herausgegeben von der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, bearbeitet von O. Baschin. Каждый годъ выходитъ по тому (т. I съ литературой за 1891 г.); новая лимнологическая литература приводится въ соотвѣтственномъ отдѣлѣ библиографическаго перечня.

W. Ule, Die Gewässerkunde in dem letzten Jahrzehnt. I. Die Seenkunde. Hettners geographische Zeitschrift V (1899), S. 434—486. Дальнѣйшіе отчеты объ успѣхахъ озеровѣдѣнія слѣдуютъ.

Библиографія лимнологической термике Wm. Ripley Nichols. On the temperature of freshwater Lakes and Ponds. Boston Soc. nat. hist. XXI, 53 1881 (48 Nr.).

Библиографія по сейшамъ до 1892 года, in F. A. Forel, Le Léman, II, 62. Lausanne 1895 (35 Nr.).

L'Année biologique de Delage. Paris 1897 sq. Со II тома (1898) въ главѣ: Distribution géographique von G. Pruvot содержится библиографія біологической лимнологіи.

Такая-же библиографія съ 1893 по 1898 г., in H. B. Ward, Studies of the Zoolog. Laboratory of the University of Nebraska. Nr. 30 und 31, Juni 1899,

S. 261 f. (446 Nr.). (Въ этой библиографіи преимущественно перечислены многочисленные и интересные труды американскихъ натуралистовъ въ области изслѣдованія озеръ).

Bibliographie der Biologie der Schweizer Seen von O. Fuhrmann. Revue suisse de Zoologie IV, 536 sq. Genève 1897 (154 Nr.). — Bibliographie des Zooplankton der Schweiz, ето-же. Ibid. VII, 687. Genève 1900 (432 Nr.).

E. Zschokke, Seenfauna. Bibliographie der schweizerischen Landeskunde IV, 6. Fauna helvetica. 2. Heft. Bern, 1897.

II. Общія или отдѣльныя работы.

Bodensee-Forschungen der wissenschaftlichen Kommission der Konferenz der fünf Uferstaaten zur Herstellung einer Bodenseekarte: in Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung. Lindau, 1893 f.

Resultate der wissenschaftlichen Erforschung des Balaton-(Platten-) Sees, herausgegeben von der Kommission der Ungarischen Geographischen Gesellschaft. Wien, 1897 f.

F. A. Forel, Le Léman. Monographie limnologique. 3 Bde. Lausanne, 1892—1901.

A. Geistbeck, Die Seen der deutschen Alpen. Leipzig, 1885.

H. Hergesell und R. Langenbeck, Untersuchungen an den Seen der Südvogesen. Geographische Abhandlungen aus den Reichslanden Elsass-Lothringen, herausgegeben von G. Gerland. Stuttgart, 1892, 1. Heft, S. 121—169.

A. Magnin, Les Lacs du Jura. Paris, 1895.

H. R. Mill, The English Lakes. Geograph. Journal. London, 1895.

Atlas der österreichischen Alpenseen, herausgegeben von A. Penck und Ed. Richter. Wien, 1895 ff.

E. Richter, Seestudien (Pencks geographische Abhandlungen, Bd. VI, Heft 2). Wien, 1897.

A. Delebecque, Les Lacs français. Paris, 1898.

G. K. Gilbert, Lake Bonneville. Monograph I. U. S. Geological Survey. Washington, 1890.

J. C. Russel, Geological History of Lake Lahontan. Monograph XI. U. S. Geological Survey. Washington, 1889.

A. Penck, Morphologie der Erdoberfläche, II, 203—327. Stuttgart, 1894.

W. M. Davis, On the classification of Lake Bassins. Proc. Boston Soc. of Nat. History XXI, 315, 1882.

E. Desor, De la physionomie des Lacs Suisses. Neuchâtel, 1860.

W. Upham, Ueber die Klassifikation der Seen vergletschter Gebiete. Proc. Boston Soc. Nat. Hist. 1891, XXV, 228.

G. K. Gilbert, The Topographic Features of Lake Shores. V. Ann. Rep. U. S. Geological Survey, 1883/4, S. 75.

E. Richter, Die Temperaturverhältnisse der Alpenseen. Verhandlungen des IX. deutschen Geographentages. Berlin, 1891. S. 189—197.

G. von Boguslawski und O. Krümmel, Handbuch der Oceanographie. Bd. I (von O. Krümmel), S. 1 ff. Stuttgart, 1887. (Die Wellen).

F. A. Forel, Matériaux pour servir à l'étude de la faune profonde du Léman. Bull. soc. vaudoise Sc. nat. 6 Serien, Bde. XII—XVI. Lausanne, 1874—1879.

A. Weismann, Das Tierleben im Bodensee. Lindau, 1877.

P. Pavesi, различные работы о пелагической фаунѣ верхне-итальянскихъ озеръ, въ Rendiconti del R. Istituto Lombardo, 1877—1888.

F. A. Forel, La faune profonde des lacs Suisses. Denkschriften der Schweizerischen naturforschenden Gesellschaft, XXIX, 2. Lieferung. Basel, 1885.

O. Zacharias, Die Tier- und Pflanzenwelt des Süßwassers. 2 Bände. Leipzig, 1891.

P. Regnard, Recherches expérimentales sur les conditions physiques de la vie dans les eaux. Paris, 1891.

O. Zacharias, Forschungsberichte aus der biologischen Station zu Plön. Berlin, 1893 f.

C. Apstein, Das Süßwasserplankton. Kiel und Leipzig, 1896.

Kurt Lampert, Das Leben der Binnengewässer. Leipzig, 1899.

W. Ule, Die Seenkunde und ihre Bedeutung. Zeitschr. f. Gewässerkunde, II. 1899. S. 55—61.

Имѣются въ продажѣ слѣдующія изданія Департамента Земледѣлія по рыбопромышленности и рыбоводству.

Бородинъ, Н. А. Прудовое хозяйство—рыбоводство въ прудахъ и озерахъ. Изд. 3-е. Спб. 1911. Ц. 10 к.

— Краткія объясненія къ стѣннымъ таблицамъ по рыбоводству. Спб. 1912. Ц. (съ 4 таблицами, въ краскахъ) 2 р.

Варпаховскій, Н. А. Рыболовство въ бассейнѣ р. Оби. Часть II. Рыбы бассейна р. Оби. Спб. 1902. Ц. 50 к.

Зешняновъ, В. И. Рыболовство и Законодательство. Спб. 1894. Ц. 4 р.

Гейнemannъ, Б. А. Рыболовство на Балтійскомъ морѣ у русскихъ береговъ. Спб. 1904. Ц. 75 к.

Grebizky, N. A. Commander Islands. St.-Pet. 1902. Ц. 25 к.

Диксонъ, Б. И. Къ развитію спинныхъ бляшекъ и спинного плавника у стерляди. Спб. 1912. Ц. 5 к.

Изъ Никольскаго рыбоводнаго завода (подъ редакціею О. А. Гримма). № 9. Спб. 1904. Ц. 2 р.; № 10. Спб. 1905. Ц. 1 р.; № 12. Спб. 1909. Ц. 75 к. № 13. Спб. 1911. Ц. 50 к.

Карповъ, В. П. Отчетъ о командировкѣ на Черное море для изученія устричнаго дѣла. Спб. 1903. Ц. 40 к.

Кузнецовъ, И. Д. Матеріалы по изученію рыбныхъ промысловъ Азовскаго бассейна. Выпускъ I. Отчетъ о поѣздкѣ въ 1886 г. на Азовское море. Спб. 1903. Ц. 40 к.

Кучинъ, И. В. Рыбоводство и рыбный промыселъ на Зауральскихъ озерахъ. Спб. 1909.

Научно-промысловыя изслѣдованія по сѣверн. части Кавказск. побережья Чернаго моря и въ Керченскомъ проливѣ 1902 г. Выпускъ I. Статьи г.г. Бородина и Лебединцева. Спб. 1906. Ц. 15 к.

О новомъ рыбномъ законѣ (проектъ общаго устава рыболовства). Спб. 1907 (бесплатно).

Пушкаревъ, Н. Н. Рыболовство на Онежскомъ озерѣ. Спб. 1900. Ц. 1 р. 50 к.

Результаты экспедицій, снаряженныхъ Министерствомъ Земледѣлія и Государственныхъ Имуществъ для изслѣдованія Карабугазскаго залива. Спб. 1897 (бесплатно).

См. на оборотѣ.

Рыбные промыслы Дальнего Востока.

Выпуск 3. **Шмидтъ, П. Ю.** Морские промыслы о. Сахалина. Спб. 1905. Ц. 3 р.

Выпуск 4. **Смирновъ, Н. А.** 1) Краткій очеркъ рыболовства на Ныйскомъ заливѣ. 2) Матеріалы къ изученію рыбныхъ промысловъ въ Амахтонскомъ заливѣ. Спб. 1911. Ц. 35 к.

Выпуск 5. **Японскій** рыбный промыселъ въ водахъ Приамурья въ 1909 г. Спб. 1911.

Выпуск 6. **Алексинъ, М.** Трепангъ и его промышленное значеніе. 1912. Ц. 20 к.

Выпуск 7. **Солдатовъ, В. К.** Изслѣдованіе біологіи лососевыхъ Амура. Часть I. Спб. 1912. Ц. 1 р.

Рыболовство въ бассейнѣ р. Волги выше г. Саратова:

Выпуск 1. Рыболовство въ 1-мъ смотрительскомъ районѣ. Отчетъ **П. Александрова**. Спб. 1909. Ц. 50 к.

Выпуск 2. Рыболовство во 2-мъ смотрительскомъ районѣ. Отчетъ **А. Ф. Невраева**. Спб. 1907. Ц. 40 к.

Выпуск 4. Рыболовство въ 4-мъ смотрительскомъ районѣ. Отчетъ **Л. С. Берга**. Спб. 1907. Ц. 40 к.

Выпуск 5. **Покровский, А. С.** Рыболовство въ V-мъ смотрительскомъ районѣ. Спб. 1909. Ц. 50 к.

Выпуск 7. **Баженовъ, А. П.** Рыболовство въ VII-мъ смотрительскомъ районѣ. Спб. 1909. Ц. 30 к.

Выпуск 8. **Диксонъ, Б. И.** Рыболовство въ VIII-мъ смотрительскомъ районѣ. Спб. 1908. Ц. 40 к.

Сборникъ обязательныхъ постановленій и мѣстныхъ правилъ по рыбопромышленности. Спб. 1903. Ц. 50 к.

Смирновъ, Н. А. О зимнемъ тюленьемъ промыслѣ на Каспійскомъ морѣ. Спб. 1907. Ц. 15 к.

Суворовъ, Е. К. Командорскіе острова и пушной промыселъ на нихъ. Спб. 1912. Ц. 1 р.

Тихій, М. I. Бѣлужій промыселъ у юго-западнаго берега Крыма въ сезонъ 1910—1911 г.г. Спб. 1912. Ц. 25 к.

Труды Каспійской экспедиціи. 1904 г. Т. I—1908 г. Ц. 4 руб., т. II—1907 г. Ц. 4 р. Изд. Бюро Промысловой Зоологіи и Рыбоводства Ученаго Комитета Главнаго Управленія Землеустройства и Земледѣлія.

Труды Рыбнаго Комитета. Т. I. Спб. 1909.

Труды 1-го рыбопромышленнаго сѣзда въ Царицынѣ, бывшаго въ февралѣ 1904 года. Саратовъ, 1905.

Труды Балтійской экспедиціи. Вып. I. Спб. 1910 г.

Труды Мурманской научно-промысловой экспедиціи 1905 г. Отчетъ начальника экспедиціи **Л. Л. Брейтфуса**. Спб. 1912. Ц. 2 р.

Цѣна 50 коп.
