

Z serdecznym pozdrowieniem
od autora

Odbitka z *Archiwum Hydrobiologii i Rybactwa*
Extrait des *Archives d'Hydrobiologie et d'Ichtyologie*
T. XI.

ZYGMUNT KOZMIŃSKI

O ROZMIESZCZENIU CHLOROFILU
W NIEKTÓRYCH JEZIORACH STANU WISCONSIN
W AMERYCE PÓLNOCNEJ

ÜBER DIE CHLOROPHYLLVERTEILUNG IN EINIGEN
SEEN VON NORDOST-WISCONSIN (U. S. A.)



S. 495.

SUWAŁKI
1938

S-3920.
B. B. 49
MP

Odbitka z *Archiwum Hydrobiologii i Rybactwa*
Extrait des *Archives d'Hydrobiologie et d'Ichtyologie*
T. XI.

ZYGMUNT KOŹMIŃSKI

O ROZMIESZCZENIU CHLOROFILU
W NIEKTÓRYCH JEZIORACH STANU WISCONSIN
W AMERYCE PÓLNOOCNEJ

ÜBER DIE CHLOROPHYLLVERTEILUNG IN EINIGEN
SEEN VON NORDOST-WISCONSIN (U. S. A.)



S. 495.



S U W A Ł K I
1938

ZYGMUNT KOŹMIŃSKI

O ROZMIESZCZENIU CHLOROFILU
W NIEKTÓRYCH JEZIORACH STANU WISCONSIN
W AMERYCE PÓLNOOCNEJ

Wstęp.

Jedną z poważniejszych przeszkód w badaniach nad produktywnością jezior—tak ważnych zarówno z teoretycznego jak i praktyczno-rybackiego punktu widzenia—stanowi trudność ilościowej oceny tej części biocenozy jeziornej, która zajmuje się produkcją substancji organicznej, t. j. roślin zielonych. Badania ilościowe nad florą jeziorną datują się wprawdzie od dawna i przyniosły one w rezultacie wiele cennego materiału, dotyczącego rozmieszczenia osobników roślinnych różnych gatunków w jeziorach. Nie brak też prób ilościowej oceny masy organicznej, tworzącej zarówno makroflorę jeziorną jak i fitoplankton, w drodze przybliżonej oceny masy osobniczej i jej odpowiedniej multiplikacji. Nie brak wreszcie studiów nad zawartością substancji organicznej w planktonie całkowitym w drodze analizy wagowej jego suchej masy i straty po wyżarzeniu.

Rezultaty tych żmudnych i obarczonych nieraz dość poważnym błędem metodycznym badań, jakkolwiek przynoszą wiele cennego materiału z innych punktów widzenia, z trudnością dają się wyzyskać do oceny intensywności procesu budowy substancji organicznej w jeziorze. Przyczyna tego niepomysłnego stanu rzeczy tkwi przede wszystkim w heterogeniczności uzyskanego materiału. Jak wiadomo glony, składające się na fitoplankton, zdolne są na ogół prowadzić auto- lub heterotroficzny tryb życia w zależności od warunków zewnętrznych,

przede wszystkim od ilości światła; fitoplankton zaś jest w większych i głębszych jeziorach niewątpliwie głównym dostarczycielem substancji organicznej. Tak więc najdokładniejsza analiza systematyczna i obliczenie ilości osobników fitoplanktonu w różnych warstwach jeziora daje w rezultacie często niejednorodny biologicznie materiał: jest rzeczą zupełnie prawdopodobną, że osobniki pewnego gatunku, żyjące w warstwach powierzchniowych jeziora, prowadzą ożywioną działalność fotosyntetyczną, podczas gdy osobniki tego samego gatunku, żyjące głębiej i nie dające się odróżnić morfologicznie, odżywiają się częściowo lub wyłącznie gotową substancją organiczną. Ponadto wydaje się rzeczą niewątpliwą, że wydajność pracy fotosyntetycznej różnych gatunków i różnych populacji tego samego gatunku jest bardzo różna: zależna od czynników wewnętrznych i zewnętrznych, warunkujących ich aktywność życiową i tempo przemiany materii.—Materiał oparty na analizie wagowej części planktonu ulegającej spalaniu jest oczywiście tym bardziej trudny do wykorzystania do naszych celów. Na ogólną masę substancji organicznej składają się tu bowiem prócz auto- i heterotroficznych glonów także organizmy zwierzęce, bakterie i tripton organiczny—w ilości nie dającej się przy pomocy tej metody nawet w przybliżeniu ocenić.

Rozważania powyższe usprawiedliwiają dostatecznie usiłowania znalezienia jakiejś metody, pozwalającej bardziej bezpośrednio wnikać w dynamikę procesu budowy substancji organicznej w jeziorze. Limnologia współczesna znalazła, jak się zdaje, drogę właściwą, prowadzącą do celu powyższego. Polega ona na badaniu eksperymentalnym działalności fotosyntetycznej i respiracyjnej populacji roślinnych i zwierzęcych w zamkniętych naczyniach szklanych, opuszczanych na różne głębokości jeziora (por. np. JENKIN 1930, SCHOMER i JUDAY 1935, WINBERG 1934, MANNING, JUDAY i WOLF 1938). Badania powyższe w połączeniu z postępującą znajomością warunków świetlnych, panujących w wodach, rokują najlepsze nadzieje; zwłaszcza metoda WINBERGa, który badał działalność życiową naturalnych zespołów planktonu, występujących w danym jeziorze, a nie sztucznych kultur, zdaje się wiele obiecywać.

Doceniając w pełni znaczenie badań powyższych, usiłował autor pracy niniejszej podejść do tego samego zagadnienia

z innej strony. Prace eksperymentalne przy wszystkich swych zaletach posiadają tę wadę, że stwarzają mniej lub więcej sztuczne warunki życia, które z pewną ostrożnością trzeba porównywać z warunkami naturalnymi. Wydało się zatem rzeczą celową i interesującą poznać ilość i rozmieszczenie w warunkach naturalnych, w jeziorach, tej substancji, która bierze czynny i bezpośredni udział w procesie fotosyntezy i bez której proces ten jest zapewne wogóle niemożliwy. Substancją tą jest chlorofil.

Badania autora nad ilością i rozmieszczeniem pionowym chlorofilu w fitoplanktonie jezior różnych typów rozpoczęte zostały w r. 1935 na Wigrach i dotyczyły pierwotnie tylko planktonu sieciowego. Gdy w r. 1937 autor uzyskał możliwość pracy na jeziorach północno-wschodniego Wisconsinu, postanowił on kontynuować te badania. Niezwykle interesujące i znakomicie poznane pod względem ogólno-limnologicznym pojezierze to, a także doskonała organizacja pracy i wyposażenie techniczne laboratorium limnologicznego nad Trout Lake pozwoliły autorowi w ciągu krótkiego czasu (lipiec—sierpień 1937) zebrać materiał, omówiony poniżej.

Prof. C. JUDAY'owi, kierownikowi działu limnologicznego *Wisconsin Geological and Natural History Survey*, zawdzięczam możliwość pracy w jego laboratorium w Madison i nad Trout Lake, pozwolenie korzystania z wszystkich potrzebnych mi urządzeń technicznych, znakomitą organizację badań moich w terenie oraz udostępnienie mi wszystkich opublikowanych i nieopublikowanych materiałów limnologicznych, dotyczących badanych jezior i wykorzystanych w pracy niniejszej (p. tab. III). Prowadzone przeze mnie badania cieszyły się żywym zainteresowaniem zarówno ze strony dr C. JUDAY'a jak też i dr E. A. BIRGE'a; zainteresowanie to było dla mnie wielką zachętą do pokonywania nasuwających się trudności. Obu znakomitym limnologom amerykańskim składam na tym miejscu wyrazy gorącej wdzięczności.

W czasie pracy mej w Madison i nad Trout Lake miałem okazję korzystać z koleżeńskiej uczynności całego szeregu limnologów tamtejszych. W pierwszym rzędzie pragnę podziękować gorąco dr W. M. MANNINGOWI który współpracował ze mną w pokonywaniu trudności metodycznych oraz dzielił się cen-

nymi uwagami, płynącymi z jego doświadczenia w badaniach nad fotosyntezą. Zebranie materiału do pracy niniejszej nie byłoby możliwe bez pomocy technicznej w terenie i w laboratorium; pomoc tę zawdzięczam pp. A. E. DIMOND'owi, H. W. KNUDSON'owi, A. A. PAVLIC'owi, R. W. PENNAK'owi oraz E. D. WARNER'owi, którym składam serdeczne podziękowanie.

Korzystam z okazji, żeby wyrazić gorącą wdzięczność dr J. WŁODKOWI, profesorowi Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, który zasugerował mi użycie metody fotometrycznej w moich badaniach i udzielił szeregu cennych wskazówek technicznych.

Możność wyjazdu do Stanów Zjednoczonych A. P. zawdzięczam zasiłkowi, przyznanemu mi przez Fundusz Kultury Narodowej, oraz urlopowi, udzielonemu mi przez Instytut im. Nenckiego.

Metoda.

Pierwsze próby ilościowej oceny chlorofilu, zawartego w planktonie jeziornym, były dokonywane przez autora przy pomocy metody opisanej przez HARVEY'a (1933/34). Barwę wyciągu acetonowego z ilościowo pobranej próbki planktonu sieciowego porównywano z barwną skalą, złożoną z roztworów $KCrO_4$ i $NiSO_4$ o różnej koncentracji. Metoda ta w odniesieniu do ubogiego i stosunkowo jednostajnego fitoplanktonu morskiego dawała, być może, zadawalające rezultaty. W odniesieniu do planktonu słodkowodnego zastosowanie prostej metody tej okazało się wkrótce niewykonalne. Przede wszystkim barwa wyciągu acetonowego okazała się odmienna od barwy standartu; posiadała ona w słabych koncentracjach wyraźny odcień różowy. Próby ulepszenia standartu zawiodły również; okazało się mianowicie, że barwa wyciągu acetonowego z planktonu różnych jezior i różnych warstw jednego jeziora bywa tak różna jakościowo, że nie może być mowy o zastosowaniu jednolitej skali porównawczej. W dalszej praktyce, już w Ameryce, przekonano się, że ekstrakt acetonowy z planktonu warstw powierzchniowych jeziora jest najczęściej żółty lub żółto-pomarańczowy; w miarę posuwania się w głąb jeziora otrzymujemy ekstrakty o odcieniu

żółto-zielonym, zielonym, zielono-brunatnym i wreszcie—w warstwach naddennych—brunatnym. Stosunki takie panują zazwyczaj w jeziorach, odznaczających się obfitym planktonem, jakkolwiek i w ich obrębie zaobserwowano wielką zmienność. Ekstrakty acetonowe z jezior o ubogim ilościowo planktonie są w warstwach powierzchniowych żółte, w warstwach głębszych najczęściej żółtawo-zielonkawe lub żółtawo-brunatne.

Na przeszkodzie zastosowaniu prostej metody kolorymetrycznej stanął oczywiście fakt ekstrakowania przez aceton nie tylko chlorofilu, ale także wielu innych barwników roślinnych i, niekiedy, zwierzęcych. Różne kombinacje tych barwników dawały w efekcie zupełnie różne barwy i jedynie eliminacja poszczególnych barwników mogłaby pozwolić na ich ilościową ocenę.

Metoda chemiczna oddzielania chlorofilu od innych barwników jest żmudna i trudna technicznie. Wykonywanie licznych analiz seriami, jak tego wymaga praktyka limnologiczna, byłoby w warunkach pracy autora bodaj niemożliwe. Wobec tego skorzystano z sugestyj i wskazówek prof. dr J. WŁODKA i opracowano metodę optycznej eliminacji innych barwników z roztworu acetonowego¹⁾. Metoda ta polega na mierzeniu przy pomocy fotometru absorpcji światła przez roztwór, zawierający m. in. chlorofil, w tej części widma, w której absorbuje tylko chlorofil, a więc w czerwonej części widma. Przez zastosowanie odpowiedniego filtru czerwonego eliminujemy wpływ innych barwników poza chlorofilem; jest bowiem rzeczą nieprawdopodobną, by w wyciągu acetonowym z planktonu mogły być obecne inne barwniki o własnościach optycznych podobnych do chlorofilu.—Podaję poniżej opis stosowanej przeze mnie metody w jej formie ostatecznej.

Pobierano próbki wody w ilości 5—15 litrów (wyjątkowo, w przypadkach wielkiego ubóstwa planktonu, do 18 l) z różnych głębokości jeziora przy pomocy zwykłej pompy próżniowej i węża gumowego; wodę z powierzchni czerpano wprost naczyniem. Wodę tę wirowano przy pomocy supercentryfugi

¹⁾ Po zakończeniu badań dowiedziałem się, że podobne metody zostały opisane w ostatnich latach przez paru autorów. Por. np Godnew i Kalischewicz (1936).

SHARPLES'a, dającej około 25000 obrotów na minutę; odwirowanie 10 l trwało około 30 minut. Osad wmywano starannie 98% czystym acetonem do porcelanowej parowniczkę; zawarta w osadzie niewielka ilość wody zmniejszała nieco koncentrację acetonu, na pewno jednak nie poniżej 90%. Dodawano niewielką ilość węgla wapnia celem neutralizacji kwasów organicznych, mogących przyspieszać proces rozkładu chlorofilu. Rozcierano starannie osad w parowniczkę z acetonem przy pomocy moździerzka porcelanowego celem zniszczenia ścianek komórek roślinnych i wylugowania możliwie wszystkich barwników. Sączono następnie płyn przez zwykły sączek z bibuły do kolbki miarowej o pojemności 25 lub 50 ccm, wmywając czystym acetonem kilkakrotnie parowniczkę, moździerzek i osad na sączku, po czym dopełniano kolbkę acetonem do znaku. W tej formie ekstrakt poddawano analizie fotometrycznej. Całą powyższą procedurę wykonywano zawsze w ciągu jednego dnia, chroniąc przy tym otrzymane ekstrakty od światła słonecznego.

Ilość światła absorbowanego przez otrzymany w sposób powyższy ekstrakt acetonowy mierzyłem na Stacji Hydrobiologicznej na Wigrach przy pomocy fotometru PULFRICHA firmy Zeiss z zastosowaniem filtra Nr. 66.6/3.5. W laboratorium limnologicznym nad Trout Lake korzystałem natomiast z usług fotometru firmy Central Scientific Co., Chicago, z komórką fotoniczną i automatycznym transformatorem (por. SANFORD, SHEARD a. OSTERBERG 1933). Celem wyeliminowania wpływu innych barwników używano podwójnego czerwonego filtra monochromatycznego szklanego firmy Corning, Nr. 243, o grubości łącznej 4.75 mm i o zakresie 620—680 m μ widma.

Jako płynu standartowego, służącego do wykreślenia krzywej absorbcji światła przez chlorofil, użyto roztworów krystalicznego chlorofilidu etylowego (firmy R. Sandoz, Bazylea) w tym samym acetonie, którego używano do ekstrahowania próbek planktonu. Oznaczano więc zawartość chlorofilu w próbce badanej w miligramach chlorofilidu etylowego, po czym przeliczano tę zawartość na miligramy tegoż chlorofilidu na 1 m³ wody jeziornej, uzyskując w ten sposób liczby porównywalne bez względu na ilość pobranej i odwirowanej wody. W tabelach dołączonych do pracy niniejszej podano również rezultaty oznaczeń chlorofilu w mg/m³ chlorofilu fitylowego; wartości te otrzy-

mano przez multiplikację miligramów chlorofilidu etylowego przez współczynnik 1.316, opierając się na twierdzeniu WILL-STATTERA i STOLLA (1918), że stosunek intensywności barwnej tych dwu rodzajów chlorofilu ma się jak 50 do 38.

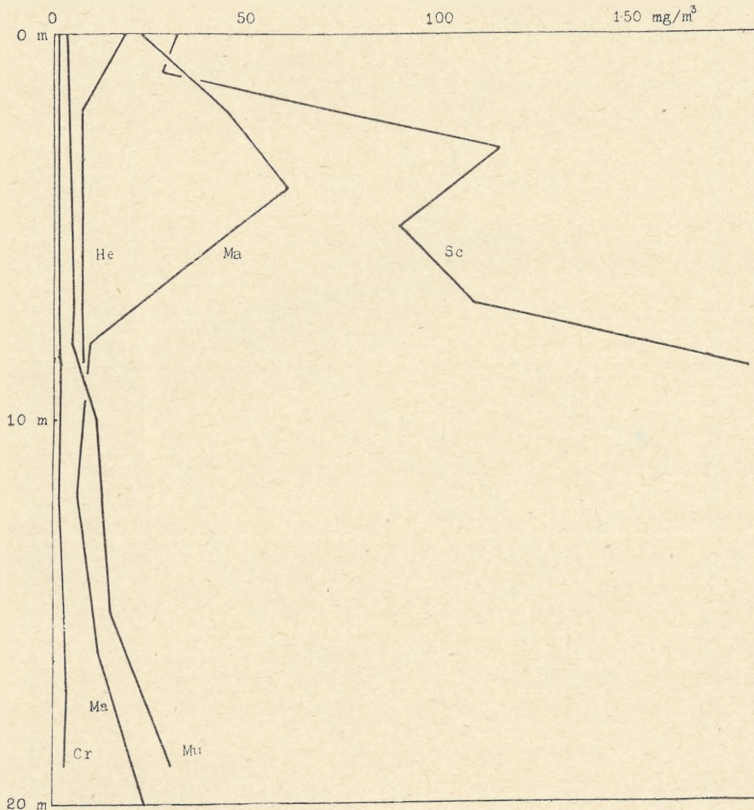
Czułość opisanej metody jest znaczna: można przy jej pomocy oznaczać ilości chlorofilu, wynoszące zaledwie 0.01 mg w próbce, a nawet mniej. Wykonano szereg prób celem przekonania się, jak duży jest błąd metodyczny. Okazało się, że błąd całej procedury wirowania, wymywania, ekstrahowania i filtrowania próbek jest bardzo nieznaczny; wynosi on do 5% przy zawartości chlorofilu w próbce około 0.01 mg, spada zaś do około 1% przy zawartości chlorofilu około 0.10 mg. Stosunkowo większy błąd łatwo popełnić przy samym odczytywaniu wyniku na fotelometrze; błąd ten sięgać może 1 kreski podziałki mikroammetru, można go jednak zredukować przez kilkakrotne powtórzenie oznaczenia i obliczenie średniej.—Łączny błąd całej metody w formie stosowanej przeze mnie może sięgać od 10% (przy ilości chlorofilu około 1 mg/m³) do 4% (przy ilości chlorofilu około 10 mg/m³ i więcej).

Prócz cyfr, określających ilość chlorofilu w różnych warstwach jezior badanych (tab. I), podane są w tabeli II i III dane dotyczące szeregu innych ważnych cech limnologicznych tych jezior. Dane te zebrane zostały przy pomocy zwykłych wypróbowanych metod, których mogę tu nie omawiać. Zaznaczę tylko, że dane dotyczące ilości substancji organicznej w sestonie centryfugowym (tab. I) określają różnicę wagi suchego oraz spalonego osadu, pochodzącego z odwirowania jednego litra wody. Na podstawie tych danych obliczano stosunkową zawartość chlorofilu w sestonie, wyrażając ją w ‰ straty po wyżarzeniu (tab. I). Rzecz prosta, błąd tych danych stosunkowych jest większy niż błąd danych absolutnych, gdyż dołącza się tu błąd metody oznaczania straty po wyżarzeniu, niekiedy jak się zdaje dość znaczny.

Wyniki.

Wyniki badań autora zestawione są w dwóch tabelach (Tab. I i II), zamieszczonych na końcu pracy. Wykonano ogółem w okresie czasu od 19 lipca do 27 sierpnia 1937 r. 19 serii

pionowych i 2 pojedyncze oznaczenia. Badania te były przeprowadzone na 17 różnych jeziorach, położonych w terenie pracy laboratorium limnologicznego nad Trout Lake. Niemal wszystkie serie pobrane były w godzinach rannych w okolicy



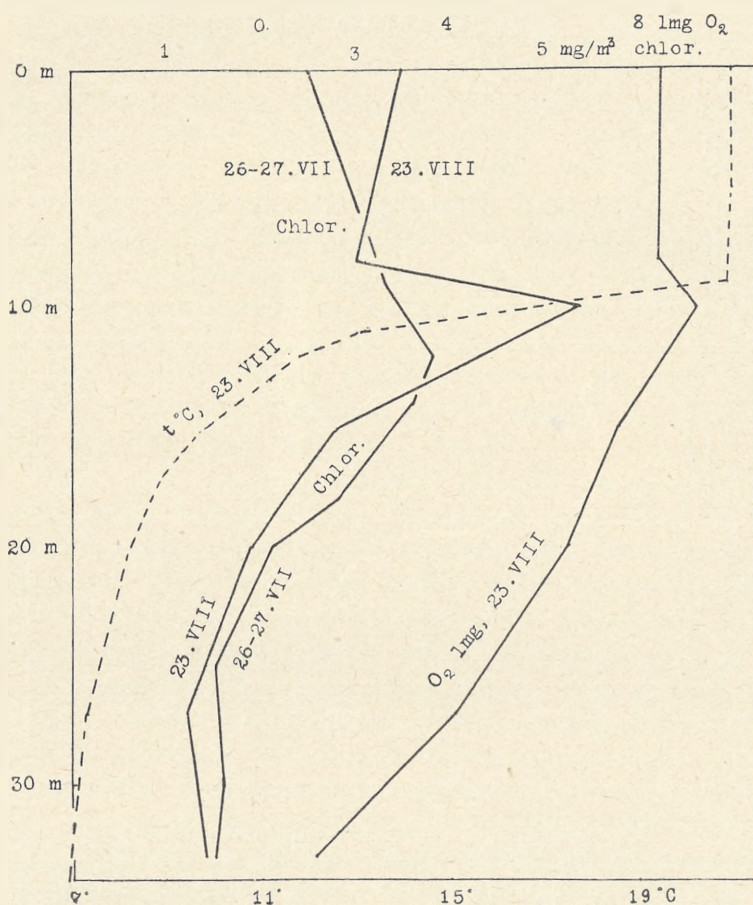
Rys. 1. Przykłady różnych typów uwarstwienia pionowego chlorofilu (Beispiele der verschiedenen Typen der vertikalen Chlorophyllschichtung). Cr—Crystal Lake, 11.VIII; Ma—Mary Lake, 13.VIII; He—Helmet Lake, 5.VIII; Mu—Muskellunge Lake, 3.VIII; Sc—Scaffold Lake, 27, VIII, 1937.

największego zagłębienia danego jeziora; wyjątek stanowią serie 1 i 19 z Trout Lake, pobrane w punkcie, gdzie głębokość jeziora mierzyła około 20 m.

We wszystkich badanych jeziorach i we wszystkich badanych punktach znaleziono chlorofil w ilości, dającej się zmie-

rzyć przy pomocy opisanej powyżej metody. Najniższa stwierdzona ilość absolutna wynosiła 1.0 mg/m^3 (Trout Lake, 1 m, 21.VII), najwyższa— 386.2 mg/m^3 (Cardinal Bog, 4 m, 4.VIII).

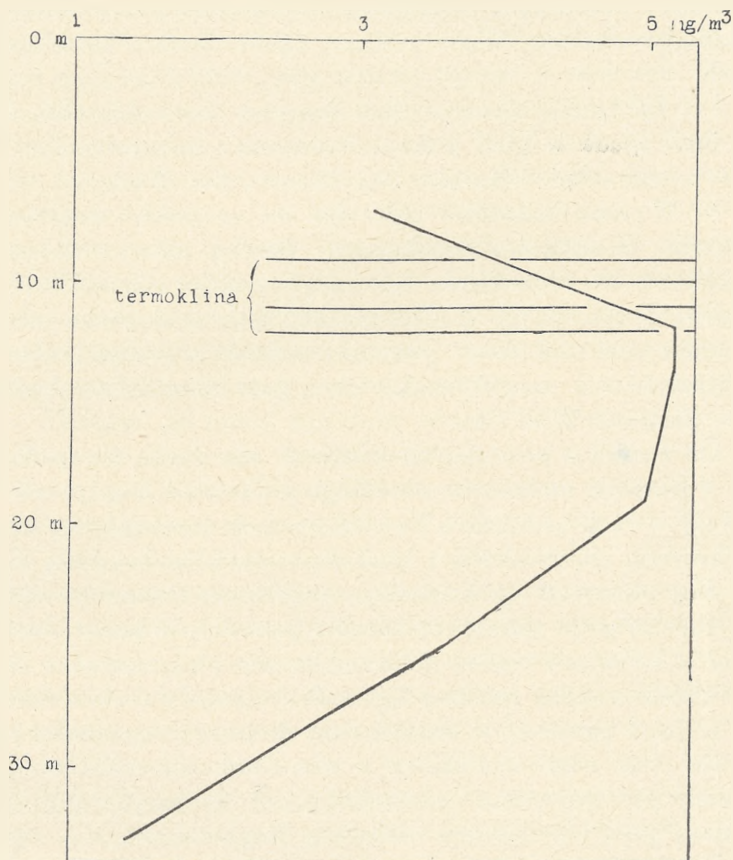
Zgodnie z przewidywaniami stwierdzono w znacznej większości przypadków wybitne zróżnicowanie w występowaniu



Rys. 2. Uwarstwienie pionowe chlorofilu (Chlor.), temperatury ($t^{\circ}\text{C}$) i tlenu (O_2) w Trout Lake. [Vertikale Chlorophyll- (Chlor.), Temperatur- ($t^{\circ}\text{C}$) und Sauerstoffsichtung (O_2) im Trout Lake].

pionowym chlorofilu. W materiale będącym do dyspozycji można wyróżnić następujące typy stratyfikacji chlorofilowej (p. rys. 1):

I. Ilość chlorofilu we wszystkich warstwach bardzo niska, zwłaszcza epilimnion skrajnie ubogi. Nieznaczny wzrost zawartości chlorofilu w hypolimnionie, brak jednak wyraźnego maksimum.—Crystal Lake.



Rys. 3. Zawartość chlorofilu w naddennej (1 m nad dnem) warstwie wody w różnych punktach Trout Lake, 23—25.VIII.1937. Położenie termokliny zaznaczono poziomymi liniami. [Chlorophyllgehalt der bodennahen (1 m über dem Boden) Wasserschicht in verschiedenen Stellen des Trout Lake, 23—25. VIII. 1937. Die Lage der Sprungschicht ist durch die horizontalen Linien markiert].

II. Ilość chlorofilu we wszystkich warstwach nieco wyższa, jednak na ogół niska. W termoklinie wyraźne, choć niezbyt silne maksimum. Epilimnion bogatszy w chlorofil niż hypolimnion,

w którym daje się zauważyć stopniowy spadek ilości chlorofilu w głąb.—Trout Lake (p. rys. 2).

III. Epilimnion dość ubogi w chlorofil, którego ilość wzrasta nieznacznie w termoklinie. Dalszy wzrost w hypolimnionie, zakończony wyraźnym maksimum chlorofilowym w warstwie naddennej.—Jeziora: Weber, Silver, Little Rock, Muskellunge, Nebish.

IV. Epilimnion zawiera dość znaczne ilości chlorofilu, którego ilość spada w głąb jeziora. Maksimum na powierzchni lub blisko powierzchni.—Jeziora: Big, Helmet, Ike Walton.

V. Wysoka zawartość chlorofilu we wszystkich warstwach, epilimnion stosunkowo najuboższy. Bardzo silne maksimum chlorofilowe w termoklinie lub nieco poniżej termokliny; po wyraźnie zaznaczonym spadku poniżej tego maksimum następuje zazwyczaj nad dnem ponowny wzrost zawartości chlorofilu. Stratyfikacja naogół bardzo silna, duże kontrasty.—Jeziora: Mary, Scaffold, Wild Cat.

Do żadnej z powyższych kategorii nie dadzą się zaliczyć serie z jeziorok torfowcowych Midge i Cardinal Bog (p. tab. I). Pierwszy z tych „sucharów” wykazuje dość nieregularny przebieg krzywej chlorofilowej i brak wyraźnych maksimumów. Cardinal Bog odznacza się kolosalną zawartością chlorofilu, wybiegając daleko poza zakres zmienności pozostałych jezior. Jest to jedyne z badanych jezior, które zdaje się otrzymywać z zewnątrz świeże resztki roślinne (głównie fragmenty mchów *Sphagnum*) w ilości znacznej w stosunku do drobnych rozmiarów tego jeziora. Tak więc znaleziona w nim ilość chlorofilu nie jest zapewne porównywalna ze znalezionymi w innych jeziorach ilościami, gdyż nie dotyczy właściwie fitoplanktonu.

Nie brak oczywiście pewnych przejść między wyróżnionymi powyżej typami stratyfikacji chlorofilowej. Tak np. Weber Lake nawiązuje między I i III kategorią; Nebish i Wild Cat można by zaliczyć do III lub V kategorii. Jest to nieuniknione następstwo systematyzowania zjawisk natury, które nie zaciemnia jednak ogólnego nakreślonego powyżej, tak urozmaiconego obrazu.

Wszystkie serie zebrane zostały w ciągu kilku tygodni pełnego lata, przy pogodzie na ogół jednostajnej, słonecznej i upalnej. Rozwój fitoplanktonu może jednak następować nie-

kiedy szybko, w ciągu kilku dni osiągać maksimum, może on również szybko zanikać. Nie jest więc niemożliwe, że w pewnych przypadkach natrafiono na niedość typowy dla danego jeziora letni obraz stratyfikacji chlorofilowej. Autor nie miał możliwości zebrać liczniejszych danych, dotyczących zmienności uwarstwienia chlorofilowego w czasie, jedynie z Trout Lake pobrano parę serii, które dają pewne pojęcie o zmianach badanego uwarstwienia w tym jeziorze w ciągu lata 1937 r.

Jak wynika z porównania serii 1 i 2 (tab. I) ilość chlorofilu na powierzchni wzrosła w ciągu kilku dni lipca przeszło dwukrotnie. Dalszy, już nie tak znaczny, wzrost zaobserwowano w miesiąc później (seria 19, tab. I, rys. 2). Natomiast ilość chlorofilu w hypolimnionie w ciągu tego miesiąca uległa bardzo nieznacznej zmianie (seria 2 i 19; rys. 2); utrzymał się również ogólny charakter krzywej, nacechowany obecnością maksimum chlorofilowego w termoklinie.

Materiał do pracy niniejszej nie jest wystarczający do dokładnego zilustrowania zróżnicowania poziomego ilości chlorofilu w jeziorach badanych. Pewne światło na tę kwestię rzuciło jednak porównanie serii 19 i 20 z Trout Lake (tab. I), z których pierwsza pobrana została w punkcie, gdzie głębokość jeziora wynosiła 34 m, druga—pobrana nazajutrz—z punktu o głębokości zaledwie 20 m. Zgodność przebiegu obu krzywych jest dość znaczna z wyjątkiem warstwy naddennej serii 20, w której stwierdzono 5.0 mg/m^3 , podczas gdy na tej samej głębokości ale w punkcie, gdzie jezioro jest głębsze, było około 2 mg/m^3 (ser. 19); naddenna warstwa wody w serii 19 zawierała tylko 1.4 mg/m^3 chlorofilu. Nasunęło to podejrzenie, że warstwa naddenna jest silnie zróżnicowana pod względem zawartości chlorofilu. 25.VIII pobrano więc próbki z paru innych punktów jeziora, wszystkie z głębokości 1 m nad dnem.

Wyniki przedstawione są w załączonej tabelce i na rys. 3. Ilość chlorofilu w warstwie naddennej w miejscach płytkich, w obrębie epilimnionu, jest niska i odpowiada tejże ilości w całym epilimnionie; jest to zrozumiałe, jeśli zważyć, że woda epilimnionu ulega częstemu mieszaniu przez wiatr. W obrębie termokliny (9—12 m) i poniżej niej zaznacza się wyraźny wzrost zawartości chlorofilu w warstwie naddennej, który utrzymuje się do głębokości około 20 m; ilość jego jest tam większa niż

na tej samej głębokości, ale z dala od dna. Poniżej 20 m głębokości występuje jednak ponowny stopniowy spadek ilości chlorofilu w warstwie naddennej; minimum jego znajdujemy w największym zagłębieniu jeziora.

Trout Lake, 23—25.VIII.1937.

Zawartość chlorofilu w warstwie wody położonej 1 m nad dnem w różnych punktach jeziora. (Chlorophyllgehalt der bodennahen Wasserschicht in verschiedenen Stellen des Sees).

Głębokość (Tiefe) m	Chlorofil (Chlorophyll) mg/m ³	Data (Datum)
7	3.1	25.VIII.1937
10	4.4	" " "
12	5.2	" " "
14	5.2	" " "
19	5.0	24 " "
25	3.6	25 " "
33	1.4	23 " "

O ile wolno sądzić na podstawie danych powyższych, zróżnicowanie poziome zawartości chlorofilu w jeziorach jest nieznaczne z wyjątkiem warstwy naddennej. Ta ostatnia zdaje się być jednak terenem bardzo znamiennego zróżnicowania: w głębinach Trout Lake występuje prawdopodobnie dość szeroki pas nad dnem jeziora, szczególnie obfitujący w chlorofil; górna granica tego pasa zależy zapewne od położenia termokliny, dolna przebiega na głębokości około 20 m. Powyżej i poniżej tego pasa woda naddenna jest znacznie uboższa w chlorofil.

W tab. I prócz zawartości absolutnych chlorofilu podane też są wartości względne, obliczone w ‰ zawartości substancji organicznej w sestonie. Zakres wahań tych wartości względnych jest, jak to należało oczekiwać, znacznie mniejszy na badanym terenie niż zakres wahań wartości absolutnych. Wynosi on od 0.8‰ (Trout, 1 m, 21.VII) do 38.5‰ (Mary, 4 m, 13.VIII). Przebieg krzywych, ilustrujących uwarstwienie pionowe wartości względnych, jest jednak na ogół podobny do przebiegu krzywych absolutnych i nie nasuwa żadnych interesujących wniosków. Spotykają się tu częściej nieprawidłowości w przebiegu krzywych, wywołane być może częściowo większym błędem metodycznym (p. wyżej str. 126).

Wnioski.

Zadaniem pracy niniejszej, jako pierwszego przyczynku do znajomości występowania i pionowego rozmieszczenia chlorofilu w jeziorach, było głównie określenie ogólnego zakresu wahań tego zjawiska i stworzenie podstawy do dalszych bardziej szczegółowych i bardziej przyczynowych studiów. Materiał zebrany z jezior o możliwie różnym charakterze limnologicznym nasuwa jednak już teraz pewne myśli, które warto poddać krytycznemu rozważeniu.

Pojezierze północno-wschodniego Wisconsinu, będące od szeregu lat przedmiotem intensywnych i wszechstronnych studiów limnologicznych, należy zapewne do najlepiej poznanych terenów jeziornych na świecie. Z wyjątkiem jezior bardzo głębokich i jezior o wysokiej zawartości wapnia napotykamy tu wiele kombinacji czynników zewnętrznych w szerokiej skali ich możliwości (p. tab. III). Wydaje się rzeczą interesującą porównać występowanie chlorofilu w tych jeziorach z niektórymi innymi ich cechami limnologicznymi.

Należało z góry oczekiwać, że decydującym czynnikiem w rozmieszczeniu pionowym chlorofilu w jeziorach są warunki świetlne. Dzięki znakomitym badaniom BIRGE'a i JUDAY'a (1929—1932) oraz WHITNEY'a (1938) jesteśmy stosunkowo bardzo dobrze poinformowani o régime'ie świetlnym tych jezior. Zanim jednak zestawimy te dane fizykalne z zaobserwowaną stratyfikacją chlorofilu, zastanówmy się, jak powinny wyglądać teoretycznie ta stratyfikacja z punktu widzenia biologicznego.

Badania nad warunkami fotosyntezy w wodach wskazują zgodnie na to, że największe jej nasilenie występuje—przynajmniej w godzinach pełnej insolacji—nie na powierzchni wód, lecz na pewnej głębokości, różnej w różnych wodach i zależnej niewątpliwie od ich przenikalności dla promieniowania słonecznego. Z drugiej strony znany jest z fizjologii roślin fakt, że rośliny żyjące w cieniu produkują z reguły więcej chlorofilu niż rośliny żyjące w pełnym blasku słońca. Na podstawie obu tych faktów można było przewidywać, że maksimum chlorofilowe powinno wystąpić nie na powierzchni, lecz na pewnej głębokości, niekiedy być może aż w okolicy punktu kompensacji.

cyjnego, określającego granicę między warstwą trofogeniczną i trofalityczną w jeziorze. Byłaby to warstwa „minimum świetlnego”, w której organizmy mogą jeszcze prowadzić działalność fotosyntetyczną, muszą jednak w tym celu wyprodukować jak największy zasób chlorofilu. Poniżej tej warstwy należało oczekiwać wyraźnego spadku zawartości chlorofilu aż do jego zaniku, o ile jezioro jest dość głębokie.—Te proste „idealne” stosunki mogłyby być oczywiście zakłócane w różny sposób przez warunki zewnętrzne (przede wszystkim ciepłne i pokarmowe) i wewnętrzne (różne wymagania ekologiczne populacji glonów, stanowiących fitoplankton danego jeziora).

Zaobserwowane w badanych jeziorach uwarstwienie chlorofilowe tylko częściowo potwierdziło teoretyczne przewidywania. Uderzający jest przede wszystkim fakt występowania stosunkowo znacznych ilości chlorofilu w warstwach najgłębszych, zwłaszcza w wyróżnionych powyżej (str. 130) typach III i V stratyfikacji chlorofilowej. Położenie punktu kompensacyjnego nie da się wprawdzie w tych jeziorach dokładnie oznaczyć, gdyż opublikowane dotychczas odpowiednie dane (SCHOMER i JUDAY 1935, CURTIS i JUDAY 1937) oparte są nie na naturalnych zespołach planktonu, występujących w danym jeziorze na danej głębokości, lecz na wprowadzonych tam kulturach sztucznych; ponadto większość tych doświadczeń była wykonana w godzinach najsilniejszej insolacji, a nie w okresie 24-godzinny. Jeśli przyjmiemy jednak, że znalezione przez autorów powyższych położenia punktów kompensacyjnych odpowiadają mniej więcej stosunkom naturalnym, wówczas okaże się, że we wszystkich jeziorach (z wyjątkiem czterech bardzo płytkich: Little Rock, Mann, Starrett i Cardinal Bog) punkt kompensacyjny leży powyżej, zwykle znacznie powyżej głębokości maksymalnej. Wynika z tego, że dość znaczne ilości chlorofilu występują poniżej punktu kompensacyjnego, że—co więcej—w najgłębszych tych warstwach napotykamy niekiedy wyraźne maksimum chlorofilowe. Nawet najgłębsze z badanych jezior, Trout Lake, wykazuje na głębokości 33 m, a więc zapewne co najmniej 20 m poniżej punktu kompensacyjnego (por. SCHOMER i JUDAY 1935, str. 183), pewną wykrywalną ilość chlorofilu. Jak wytłómaczyć obecność chlorofilu w tych głębokich warstwach?

Nasuwa się przede wszystkim przypuszczenie, że ów „głę-

binowy” chlorofil został wyprodukowany w górnych warstwach jeziora i że obecność jego w głębinach, gdzie brak dostatecznej ilości światła dla prowadzenia działalności fotosyntetycznej, przypisać należy opadającym w głąb jeziora martwym, starzejącym się, zabłąkanym lub będącym w stadium spoczynkowym komórkom roślinnym; byłby to więc chlorofil nieczynny biologicznie. Wprawdzie chlorofil taki powinienby ulec szybkiemu rozkładowi, z drugiej strony jednak niska temperatura i mała zawartość tlenu, panujące z reguły w tych warstwach, sprzyjają niewątpliwie jego konserwacji. Tak więc można sobie wyobrazić stan pewnej równowagi między przybywaniem chlorofilu z warstw górnych i jego rozkładem w głębinach.

W interpretacji tego zjawiska spotykamy zbyt wielką ilość niewiadomych, by można było już dziś kusić się o odpowiedź zadawalającą. Ile komórek roślinnych opada w jednostce czasu na dno jeziora? Jaki był ich pierwotny zasób chlorofilu, ile utraciły one w drodze, ile „doniosły” do dna? Jaka jest szybkość rozkładu chlorofilu w danych warunkach cieplnych, świetlnych, tlenowych i przy określonym ciśnieniu? Jaki jest wpływ fauny, żywiącej się opadającym planktonem, oraz flory bakteryjnej, atakującej starzejące się i martwe komórki roślinne, na proces zanikania chlorofilu w głębinach jeziornych?—Wszystkie te pytania domagają się odpowiedzi w drodze specjalnych studiów. Sam fakt występowania w głębinach niektórych jezior takiego nieczynnego biologicznie chlorofilu zdaje się być jednak prawie pewny. Dotyczy on mianowicie następujących spośród zbadanych jezior: Trout, Helmet, Big, Ike Walton, Midge, Mary, zapewne też Wild Cat i Scaffold (II, IV i V kategoria, p. wyżej str. 129—130).

Pierwsze z tych jezior jest mimo dość znacznej przezroczystości zapewne zbyt głębokie na to, by w warstwie przydennej mogła być dostateczna ilość światła dla procesu fotosyntezy. Już w 26 m głębokości WHITNEY (1938) znalazł mniej niż 0.001% światła obecnego na powierzchni; w 33 m przy niezmięnionej przenikalności warstw głębszych ilość światła mogłaby wynosić nie więcej niż parę milionowych części procentu. Ogólny charakter stratyfikacji chlorofilowej (p. tab. I i rys. 2), mianowicie stopniowy spadek w głąb i niewielka zawartość chlorofilu przy dnie, czynią prawdopodobnym przypuszczenie,

że pochodzi on w Trout Lake z opadającego wciąż „deszczu” komórek roślinnych.

W pozostałych jeziorach wymienionych ilości chlorofilu na powierzchni lub w jednej z warstw pośrednich są tak znaczne, że akumulacja starzejących się komórek nad dnem wydaje się prawdopodobna. Z drugiej strony ilość światła w warstwach naddennych tych jezior jest niewątpliwie bardzo mała. Przezroczystość ich, jak wynik z tab. II, wahała się w okresie badań od 0.75 m do 3.8 m. W najprzezroczystszym z tych jezior, t. j. w Midge, BIRGE i JUDAY (1932, str. 550) stwierdzili w głębokości 9 m zaledwie 0.0035% światła obecnego na powierzchni. W Mary Lake na głębokości 5 m było już tylko 0.035%, a w Helmet na głębokości 3 m—0.045% przy słońcu w zenicie (l. c., str. 545); przy dnie tych jezior, położonym znacznie niżej (p. tab. I i III), panować musi głęboki mrok.

Pewne światło na aktywność fotosyntetyczną fitoplanktonu tych głębokich warstw wody mógł rzucić eksperyment, wykonany przez autora wspólnie z dr W. M. MANNINGiem. Eksperyment ten polegał na porównaniu działalności fotosyntetycznej i respiracyjnej planktonu, zawartego w próbkach wody z powierzchni i z warstwy maksimum chlorofilowego dwóch jezior o bardzo ostrej stratyfikacji: Wild Cat i Scaffold (por. tab. I). Próbkę te eksponowano na różnych głębokościach Trout Lake w przezroczystych i czarnych flaszkiach (uwagi metodyczne p. MANNING etc. 1938). Wynik nie był jednoznaczny: woda powierzchniowa z Wild Cat wykazała większy efekt działalności fotosyntetycznej niż woda z 7 m głębokości, choć ta ostatnia zawierała 10-krotnie większą ilość chlorofilu. Wskazywałoby to na przynajmniej częściową utratę zdolności fotosyntetycznych przez ów fitoplankton warstw głębszych. Drugi eksperyment z wodą ze Scaffold Lake wykazał jednak dwukrotnie większy efekt fotosyntezy w próbkach, pochodzących z 8.7 m głębokości, gdzie ilość światła była niewątpliwie subminimalna (przezroczystość jeziora: 75 cm), niż w próbkach powierzchniowych. Należy zaznaczyć, że zawartość chlorofilu w wodzie z głębokości 8.7 m była około 6 razy większa niż w wodzie powierzchniowej. Tak więc jeżeli fitoplankton w głębokości 8.7 m nie był nawet czynny w akcji fotosyntetycznej, to jednak nie stracił on jeszcze swych zdolności w tym kierunku.

Pozostały do omówienia jeziora o stratyfikacji chlorofilowej typu I i III (p. wyżej str. 129). Są to jeziora o dość znacznej przezroczystości i klarownej wodzie epilimnionu. Poza płytkim Little Rock o przezroczystości 4.0—4.1 m, przezroczystość innych jezior tych kategorii wynosiła od 5.2 do 9.5 m. Zawierają one niewielkie ilości chlorofilu w warstwach powierzchniowych, niektóre z nich jednak wykazują wyraźny wzrost jego w warstwach naddennych. Wobec braku źródła, skąd warstwy przydenne mogłyby czerpać te znaczne ilości chlorofilu, a także w związku z pomyślniejszymi warunkami świetlnymi w głębinach tych jezior, skłonny jestem przypuszczać, że chlorofil ten jest przynajmniej w znacznej części „autochtoniczny” i że pewną ograniczoną działalność fotosyntetyczną prowadzi w tych jeziorach fitoplankton aż do największych ich głębin¹⁾.

Z wyjątkiem jeziora Little Rock, które jest bardzo płytkie, pozostałe zbiorniki mają wprawdzie zapewne punkt kompensacyjny, położony powyżej dna; w Crystal Lake leży on według SCHOMERA i JUDAY'a (1935, str. 179) na głębokości 17 m, w pozostałych, mniej przezroczystych jeziorach napewno wyżej. Należy zdać sobie jednak sprawę, że punkt kompensacyjny określa tylko granicę, poniżej której procesy respiracji i dekompozycji zaczynają przeważać nad procesem fotosyntezy, poniżej której zatem organizmy roślinne nie mogą żyć wyłącznie autotroficznie, muszą natomiast (przynajmniej dodatkowo) pobierać gotowy pokarm organiczny. Nie dowodzi to jednak bynajmniej, by poniżej punktu kompensacyjnego nie odbywała się pewna niezbyt wydajna działalność fotosyntetyczna, ograniczona do paru godzin dziennie i to zapewne tylko w dni słoneczne. Ilość światła w największych zagłębieniach jezior Crystal i Weber przekracza niekiedy 1% światła obecnego na powierzchni (BIRGE i JUDAY 1932, str. 539 i 545); jest to ilość stosunkowo znaczna. W obu tych jeziorach rosła obficie na dnie, nie wyłączając największych głębokości, trzy gatunki mszaków (JUDAY 1934). Wydaje się zatem zupełnie prawdopodobne, że i fitoplankton, wyposażony w stosunkowo znaczną ilość chlorofilu, może tam prowadzić pewną działalność fotosyntetyczną.

¹⁾ Zapewne z wyjątkiem Nebish Lake (p. niżej).

Nebish Lake posiada epilimnion o bardzo czystej i klarownej wodzie, jak tego dowodzi m. in. wysoka przezroczystość, stwierdzona w dniu pobrania próbek chlorofilowych (6.2 m). Poczawszy od termokliny w głąb (t. j. od 6—7 m) przenikalność wody zmniejsza się znacznie ze względu na silny wzrost zmutowania i barwy wody (WHITNEY 1938a). Ale też w jeziorze tym maksimum chlorofilowe wypada nie w najgłębszym miejscu, lecz już w głębokości 10 m (p. tab. I); jest to prawdopodobnie warstwa minimum świetlnego, poniżej której występuje tylko ów nieczynny biologicznie chlorofil. Z tego względu zaliczyłem Nebish (p. wyżej str. 130) do jezior o charakterze pośrednim między III i V typem stratyfikacji chlorofilowej.

Muskellunge i Silver są to jeziora o głębokości, dochodzącej do około 20 m. Warunki świetlne w warstwie naddennej w największych głębokościach nie są w nich zapewne zbyt pomysne, na pewno jednak znacznie pomyslniejsze niż w głębinach jezior o stratyfikacji chlorofilowej typu II i V. W Muskellunge WHITNEY (1938) stwierdził w 17.5 m głębokości jeszcze 0.01% światła obecnego na powierzchni; w Silver (BIRGE i JUDAY 1932, str. 547) w 15 m było 0.02% promieniowania obliczonego dla słońca w zenicie. Nie są to oczywiście liczby wielkie, nie są jednak tak małe, jak by to się mogło wydawać. W naszym doświadczeniu codziennym stykamy się często z ilościami tego samego rzędu; tak np. rośliny hodowane w pokojach, żyjące w gęstych lasach (mchy, paprocie) lub w grotach umieją wykorzystać podobnie skąpe ilości światła, co więcej—niektóre z nich zapewne w tych warunkach świetlnych najlepiej się darzą. Niektórzy badacze (por. SPOEHR, SMITH; DUGGAR 1936, str. 1037—1038) stwierdzili zresztą fotosyntezę przy ilościach światła jeszcze niższych niż podane wyżej dla głębin jezior Muskellunge i Silver.

Nasuwa się pytanie, dlaczego w jeziorach badanych maksimum chlorofilowe przypadają jednak tak często w warstwie naddennej, a nie nieco wyżej, gdzie warunki świetlne są lepsze. Wydaje mi się, że odpowiedzialność za to (obok procesu opadania komórek roślinnych na dno) ponosić mogą lepsze warunki pokarmowe w warstwie naddennej, i to zarówno odnośnie rozpuszczonych soli mineralnych i CO₂, jak też i związków organicznych. Takie nagromadzenie ciał rozpuszczonych w wodzie

warstw najgłębszych było* wszak nieraz obserwowane przez limnologów.

Przypomnę tu uwarstwowanie poziome w warstwie naddennej Trout Lake (p. wyżej str. 131 i rys. 3). W jeziorze tym w miejscach o głębokości od około 10 do 20 m występuje pewne maksimum chlorofilowe nad dnem, podobnie jak to obserwujemy w jeziorach o stratyfikacji chlorofilowej typu III. Wydaje się wysoce prawdopodobne, że jest to we wszystkich tych jeziorach warstwa minimum świetlnego i optimum pokarmowego. Jeziora typu III są płytsze, brak im więc warstw głębokich, w których warunki świetlne spadłyby poniżej minimum. Warstwa taka istnieje w Trout Lake począwszy od około 20 m w głąb i dlatego też obserwujemy w niej stopniowy spadek ilości chlorofilu, mimo że warunki pokarmowe są tam zapewne nadal pomysłne.

Gdy mowa o Trout Lake, wypada zwrócić uwagę na równoczesne występowanie maksimum chlorofilowego i maksimum tlenowego (p. rys. 2) w termoklinie tego jeziora. Koincydencja ta jest zdaje się w jeziorze tym zjawiskiem stałym i nie przypadkowym, mimo że w innych jeziorach, wykazujących maksimum tlenowe w termoklinie (np. Silver, p. tab. II), koincydencji tak wyraźnej nie zaobserwowano.

Wniosek natury ogólnej, który można wyciągnąć z dotychczasowych rozważań, jest dość interesujący. Działalność fotosyntetyczna fitoplanktonu zdaje się sięgać o wiele głębszych warstw jeziora, niż to sobie dotychczas na ogół wyobrażano. granica między warstwą trofogeniczną i trofolityczną jest wysoce zatarta i nieostra. Procesy budowy substancji organicznej odbywają się również w obrębie warstwy trofolitycznej w rozmiarach, których niepodobna na razie określić ilościowo, których nie należy jednak zapewne lekceważyć.

Stwierdzenie obecności nieczynnego biologicznie chlorofilu w niektórych jeziorach badanych poucza nas jednak, że ilość chlorofilu znaleziona w danej warstwie wody nietylko nie może być miarą masy fitoplanktonu, ale również nie stoi w stosunku proporcjonalnym do intensywności procesów fotosyntezy, odbywających się w tej warstwie. Zmniejsza to nieoczekiwanie wartość pojedynczych oznaczeń chlorofilowych w jeziorze.

Uwaga powyższa nie obciąża jednak, jak sądzę, w tym

stopniu wartości średnich chlorofilu, wyprodukowanego przez dane jezioro. Poucza nas o tym poniższe zestawienie, ilustrujące średnie zawartości chlorofilu w słupie wody od powierzchni do dna w okolicy największego zagłębienia jeziora, wyrażone w mg/m^3 i w ‰. Średnie te zostały obliczone dla poszczególnych jezior na podstawie danych z poszczególnych warstw z uwzględnieniem miąższości tych ostatnich.

Średnie zawartości chlorofilu w słupie wody od powierzchni do dna w okolicy najgłębszych punktów jezior badanych.

(Mittlerer Chlorophyllgehalt der Wassersäule von der Oberfläche bis zum Grund in der Gegend der tiefsten Stelle der untersuchten Seen).

Jezioro (See)	Data (Datum)	Chlorofil (Chlorophyll)	
		mg/m^3	‰
Crystal	11.VIII.1937	1.78	2.05
Trout	23. " "	2.58	2.38
Weber	29—30.VII. "	3.43	—
Silver	7.VIII. "	4.84	—
Ike Walton	18 " "	4.87	3.33
Big	20 " "	6.66	5.09
Midge	21 " "	8.25	5.84
Helmet	5 " "	8.54	4.76
Little Rock	6 " "	8.76	—
Muskellunge	3 " "	10.82	5.56
Nebish	31.VII. "	11.34	7.19
Mary	13.VIII. "	22.46	14.25
Wild Cat	16 " "	29.97	15.86
Scaffold	27 " "	95.30	9.50
Cardinal Bog	4 " "	165.54	27.26

Wzrost średnich zawartości chlorofilu w jeziorach powyższych zdaje się przebiegać równoległe do wzrostu ich ogólnej produktywności. Pierwsze z wymienionych jezior, Crystal, znane jest jako zbiornik skrajnie oligotroficzny (por. dane tab. III); odzwierciedla się to bardzo wyraźnie w minimalnej zawartości średniej chlorofilu. Trout Lake stoi na pograniczu jezior oligotroficznych i eutroficznych (JUDAY i BIRGE 1932, str. 449), stosunkowo znaczna głębokość czyni duże części jego hypolim-

nionu nie nadającymi się do produkcji substancji organicznej, co odbija się na względnie niskiej średniej chlorofilowej. Weber Lake jeszcze przed kilku laty przypominał pod względem stopnia oligotrofizmu Crystal; po przeprowadzonym ostatnio przez dr C. JUDAY'a sztucznym użyznieniu jezioro to wykazuje znaczny wzrost produkcji planktonu, a nawet większy przyrost ryb. Dlatego też zapewne średnia chlorofilowa w Weber jest obecnie blisko dwukrotnie wyższa niż w Crystal.

W dalszym ciągu następują jeziora o stopniowo wzrastającej średniej chlorofilowej. Najwyższą średnią wykazuje Cardinal Bog, który jednak, jak wspomniano wyżej, zdaje się otrzymywać z zewnątrz stosunkowo znaczne ilości świeżych resztek roślinnych. Następne jest jezioro Scaffold, jedyne dość głębokie jezioro terenu, w którym wystąpił wyraźny i silny zakwit fitoplanktonu.

Zapewne bardziej wartościowe i bardziej porównywalne średnie zawartości chlorofilu otrzymalibyśmy, uwzględniając jedynie chlorofil czynny w procesie fotosyntezy w jeziorze. Szybkość zanikania (rozkładu) głębinowego, nieczynnego biologicznie chlorofilu jest bowiem zapewne bardzo różna w różnych jeziorach; jest ona zależna od wielu zewnętrznych i wewnętrznych czynników, których efekt trudno ocenić ilościowo. Dlatego też zawartość owego nieczynnego biologicznie chlorofilu może nie być porównywalna w różnych jeziorach. Z drugiej strony postępy w naszej znajomości warunków świetlnych, panujących w wodach, czynią prawdopodobnym, że już wkrótce będziemy mogli—przynajmniej w przybliżeniu—oceniać bez trudności głębokość, do której sięga w danym jeziorze fitoplankton, prowadzący działalność fotosyntetyczną.

Średnia ilość chlorofilu, występująca powyżej owej granicy fotosyntezy w jeziorze, będzie zapewne bardziej charakterystycznym wskaźnikiem produktywności jeziora niż jakikolwiek inny, dotychczas używany; zwłaszcza gdy badania chlorofilowe zostaną rozciągnięte na okres całoroczny i gdy można będzie określić produkcję chlorofilu w jeziorze nie tylko na jednostkę objętości, ale też i w jednostce czasu.

SPIS LITERATURY CYTOWANEJ.

Birge, E. A. and C. Juday. 1929—32. Transmission of solar radiation by the waters of inland lakes. *Trans. Wis. Acad. Sci., Arts & Let.* 24: 509—580. Second report. 1930. *Ibid.* 25: 285—335. Third report. 1931. *Ibid.* 26: 383—425. Fourth report. 1932. *Ibid.* 27: 523—562.—Curtis, J. T. and C. Juday. 1937. Photosynthesis of algae in Wisconsin lakes. III. Observations of 1935. *Internat. Revue ges. Hydrobiol. u. Hydrog.* 35: 122-135.—Duggar, B. M. 1936. Biological effects of radiation. Vol. II. Mc Graw-Hill, New York.—Godnew, T. N. and S. W. Kalischewicz. 1936. Die quantitative Bestimmung des Chlorophylls vermittels des lichtelektrischen Kolorimeters von Lange. *Planta* 25: 194-196.—Harvey, H. W. 1933/34. Measurement of phytoplankton population. *Jour. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom* 19: 761-773.—Jenkin, P. M. 1930. A preliminary limnological survey of Loch Awe (Argyllshire). *Intern. Revue d. ges. Hydr. u. Hydr.* 24: 24-46.—Juday, C. and E. A. Birge. 1932. Dissolved oxygen and oxygen consumed in the lake waters of northeastern Wisconsin. *Trans. Wis. Acad. Sci., Arts & Let.* 27: 415-486.—Juday, C. 1934. The depth distribution of some aquatic plants. *Ecology* 15: 325.—Manning, W. M., C. Juday, and M. Wolf. 1938. Photosynthesis of aquatic plants at different depths in Trout Lake, Wisconsin. *Trans. Wis. Acad. Sci., Arts & Let.* 31.—Sanford, A. H., C. Sheard and A. E. Osterberg 1933. The photometer and its use in the clinical laboratory. *Amer. Jour. Clin. Pathol.* 3: 405-420.—Schomer, H. A. and C. Juday. 1935. Photosynthesis of algae at different depths in some lakes of northeastern Wisconsin. I. Observations of 1933. *Trans. Wis. Acad. Sci., Arts & Let.* 29: 173-193.—Whitney, L. V. 1938. Transmission of solar energy and the scattering produced by suspensoids in lake waters. *Trans. Wis. Acad. Sci., Arts & Let.* 31.—Whitney, L. V. 1938a. Microstratification of inland lakes. *Trans. Wis. Acad. Sci., Arts & Let.* 31.—Willstätter, R. und A. Stoll. 1918. Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure. Berlin.—Winberg, G. G. 1934. Versuch zum Studium der Photosynthese und der Atmung des Seewassers. Zur Frage über Bilanz des organischen Stoffes. *Arb. Limnol. Stat. Kossino* 18: 5—24.

Zusammenfassung

ZYG MUNT KOŹMIŃSKI

ÜBER DIE CHLOROPHYLLVERTEILUNG IN EINIGEN SEEN
VON NORDOST-WISCONSIN (U. S. A.)

Einleitung. Es wurde bis jetzt in der Limnologie das Auftreten und die Verteilung mehrerer Stoffe in Seen untersucht, die im biologischen Kreislauf der Gewässer teilnehmen und eine grössere oder kleinere produktionsbiologische Bedeutung haben. Umsomehr schien es zweckmässig und interessant der Verteilung desjenigen Stoffes nachzufolgen, der im grossen Prozess des Aufbaues der organischen Substanz eine grundlegende Rolle spielt, über dessen räumliches und zeitliches Auftreten in Seen wir aber bis jetzt nur indirekt und sehr unvollständig unterrichtet sind. Es handelt sich um Chlorophyll.

Die Untersuchungen des Verf. über die Quantität und vertikale Schichtung des Chlorophylls in Seen verschiedener Typen wurden im J. 1935 auf dem Wigryseengebiet (Polen) unternommen. Als im J. 1937 dem Verf. seine Untersuchungen auf nordamerikanische Seen von Nordost-Wisconsin auszudehnen ermöglicht wurde, beschloss er die Forschungen in derselben Richtung fortzuführen, indem er die Kenntnis der allgemein-limnologischen Züge und insbesondere der Lichtverhältnisse in diesen Seen als eine Unterlage für seine Studien hielt. Dem Entgegenkommen der Verwaltung des *Wisconsin Geological and Natural History Survey* und besonders des Herrn Dr. C. JUDAY einerseits sowie der vorzüglichen Arbeitsorganisation und Ausrüstung des Limnologischen Laboratoriums am Trout Lake andererseits verdankt der Verf., dass er das Material zur vorliegenden Arbeit während einer Sommerperiode einzusammeln imstande war.

Method e. Die Versuche des Verf. den Gehalt des Chlorophylls im Phytoplankton nach der von HARVEY (1933/34) beschriebenen Methode zu bestimmen ergaben ein negatives Resultat. Die Färbung der Acetonauszüge aus dem Plankton

verschiedener Seen, oder sogar verschiedener Tiefen eines und desselben Sees ist nämlich qualitativ oft so verschieden, dass die Anwendung einer einfachen Vergleichsskala überhaupt unmöglich erscheint. Diese Färbung wechselt von Strohgelb oder Orange gelb durch Grüngelb und intensives Grün bis Grünbraun und endlich Tiefbraun. Es handelt sich selbstverständlich um qualitativ und quantitativ verschiedene Kombinationen der Farbstoffe, die aus dem Plankton extrahiert werden und deren quantitative Ermittlung ohne Elimination einzelner Stoffe kaum durchführbar ist.

Da die analytisch-chemische Methode der Aussonderung des Chlorophylls aus dem Gemisch verschiedener organischer Farbstoffe recht umständlich ist, wurde eine Methode der optischen Elimination des Chlorophylls ausgearbeitet¹⁾. Die Methode beruht auf dem photometrischen Messen der Lichtabsorption durch Lösung, die u. a. auch Chlorophyll enthält, in dem Spektrumteil, wo nur Chlorophyll das Licht absorbiert. Durch Einschalten eines entsprechenden roten Filters wird der Einfluss aller in der Lösung sich befindenden Farbstoffe mit Ausnahme des Chlorophylls eliminiert, indem es unwahrscheinlich erscheint, dass im Acetonauszug aus dem Plankton irgendwelche andere Stoffe vorhanden sein könnten, die in optischer Hinsicht dem Chlorophyll ähnlich sein würden.

Es wurden Wasserproben von 5—15 l (ausnahmsweise bis 18 l) aus verschiedenen Tiefen des Sees mittels einer Pumpe entnommen und mit der Sharples Superzentrifuge, die etwa 25000 Umdrehungen in einer Minute liefert, zentrifugiert. Der Rückstand wurde mit dem 98% Aceton vorsichtig ausgewaschen und dann ein wenig CaCO_3 zugegeben, damit die evtl. vorhandenen organischen Säure zu neutralisieren. Nachdem der Rückstand im kleinen Porzellanmörser sorgfältig im Aceton gestampft worden war, wurde der gefärbte Auszug in eine Messkolbe von 25 oder 50 cc Inhalt durch das Filtrierpapier filtriert und die Messkolbe bis zur Marke mit reinem Aceton gefüllt. Nun wurde die Lichtabsorption des Extrakts mit einem

¹⁾ Nachdem die Arbeit abgeschlossen worden war, erfuhr der Verf., dass ähnliche Methoden in den letzten Jahren bereits von einigen Autoren beschrieben worden sind. Vgl. z. B. Godnew und Kalischewicz (1936).

Photometer bestimmt. Das ganze Verfahren mit einer jeden Probenreihe wurde immer im Laufe eines und desselben Tages ausgeführt.

Die Lichtabsorption des Acetonextraktes wurde an der Hydrobiologischen Wigystation mit dem Zeiss'schen Pulfrich-photometer bei Anwendung des roten Filters Nr. S 66.6/3.5 bestimmt. Im Limnologischen Laboratorium am Trout Lake benutzte man dagegen einen Cenco-Photometer mit der photronischen Zelle und dem automatischen Transformator (vgl. SANFORD, SHEARD u. OSTERBERG 1933). Als Filter diente ein Doppelglasfilter Nr. 243 der Firma Corning, dessen Lichtdurchlässigkeit in den Grenzen 620—680 $m\mu$ der Wellenlänge liegt.

Als Standart wurden die acetonischen Lösungen des Aethylchlorophyllids der Firma R. Sandoz, Basel, benutzt. Es wurde also der Chlorophyllgehalt der untersuchten Probe zuerst in mg des Aethylchlorophyllids ausgedrückt und dann in mg desselben Chlorophyllids pro 1 m^3 des Seewassers umgerechnet. Die letzteren Ziffern wurden endlich in mg/m^3 des Phytchlorophyllids umgerechnet, indem sie durch den Koeffizient 1.316 (vgl. WILLSTÄTTER und STOLL 1918) multipliziert wurden.

Die beschriebene Methode ist recht empfindlich: ihre Anwendung ermöglicht die Chlorophyllmenge von nur 0.01 mg und sogar weniger in einer Probe zu bestimmen. Der methodische Fehler des ganzen Verfahrens schwankt zwischen 10% (bei der Chlorophyllmenge von etwa 1 mg pro 1 m^3 des Seewassers) und 4% (bei Chlorophyllmenge von 10 mg/m^3 und mehr).

Ausser den Chlorophyllangaben sind in den beigegeführten Tabellen (I—III) manche andere limnologische Daten, die die untersuchten Seen charakterisieren, angegeben. Diese Daten wurden unter Anwendung der gewöhnlichen allgemein bekannten Methoden gesammelt. Dem Glühverlust des Sestons (Tab. I) entspricht die Gewichts-differenz zwischen dem trockenen und dem geglühten Rückstand, welcher durch das Zentrifugieren eines Liters des Seewassers erhalten und auf 1 m^3 des Seewassers umgerechnet wurde. Auf Grund der Werte des Glühverlustes, der als Mass der Menge der organischen Substanz im Seston angenommen wurde, wurde der relative Chloro-

phyllgehalt im Seston ermittelt, indem dieser Gehalt in ‰ des Glühverlustes ausgedrückt worden ist (Tab. I). Der methodische Fehler dieser relativen Werte ist selbstverständlich grösser, als derjenige der absoluten Chlorophyllwerte.

Ergebnisse. Die Resultate der Untersuchungen des Verf. sind in den beigefügten Tabellen I und II (s. unten S. 156 und 160) zusammengestellt. Es wurden 19 vertikalen Chlorophyllprofile und zwei einzelne Bestimmungen an 17 verschiedenen Seen ausgeführt. Mit Ausnahme der Serien 1 und 19 (Tab. I) wurden alle Probenserien aus der Gegend der tiefsten Stelle des Sees entnommen.

Es wurde in allen untersuchten Seen und in allen Tiefen die Anwesenheit des Chlorophylls festgestellt. Seine Menge variiert in weiten Grenzen, und zwar von 1.0 mg/m³ bis 386.2 mg/m³.

Mann kann folgende Typen der vertikalen Chlorophyllschichtung in dem zur Verfügung stehenden Material unterscheiden (vgl. Abb. 1, S. 127):

I. Die Chlorophyllmenge ist in allen Tiefen sehr klein, besonders chlorophyllarm ist das Epilimnion. Es fehlen irgendwelche deutliche Chlorophyllmaxima.—Crystal Lake.

II. Die Chlorophyllmenge ist in allen Tiefen etwas grösser, doch aber verhältnismässig klein. In der Sprungschicht tritt ein deutliches obschon nicht hohes Chlorophyllmaximum auf. Das Epilimnion ist chlorophyllreicher als das Hypolimnion, in welchem eine allmähliche Chlorophyllabnahme mit der Tiefe hinab beobachtet wird.—Trout Lake (vgl. Abb. 2, S. 128).

III. Das Epilimnion ist ziemlich chlorophyllarm, die Chlorophyllmenge wächst ein wenig in der Sprungschicht. Im Hypolimnion tritt ein weiterer allmählicher Zuwachs auf; das Chlorophyllmaximum liegt in der Wasserschicht, die unmittelbar über dem Boden gelegen ist.—Seen: Weber, Silver, Little Rock, Muskellunge, Nebish.

IV. Das Epilimnion ist ziemlich chlorophyllreich, mit der Tiefe des Sees nimmt die Chlorophyllmenge ab. Die Maximumschicht ist an, oder nahe der Oberfläche gelegen.—Seen: Big, Helmet, Ike Walton.

V. Die Chlorophyllmenge ist in allen Wasserschichten gross, das Epilimnion ist verhältnismässig das ärmste. Ein sehr

starkes Chlorophyllmaximum tritt in der Sprungschicht oder etwas darunter auf; weiter mit der Tiefe nimmt die Chlorophyllmenge deutlich ab, über dem Boden tritt aber meistens wieder ein zweites Chlorophyllmaximum auf. — Seen: Mary, Scaffold, Wild Cat.

Die Serien aus den kleinen Moorseen, Midge und Cardinal Bog (s. Tab. I), lassen sich nicht in die oben beschriebenen Schichtungstypen einrechnen. Cardinal Bog scheint von aussen frische Pflanzenreste (*Sphagnum*-Fragmente) zu erhalten und deswegen ist wahrscheinlich sein enormer Chlorophyllgehalt mit den in anderen Seen beobachteten Verhältnissen nicht direkt vergleichbar. Es gibt auch einige Seen, die einen Übergangstypus der Chlorophyllschichtung aufzuweisen scheinen; so könnte z. B. Weber Lake zum I oder III, Nebish und Wild Cat — zum III oder V Typus eingezählt werden. Diese Erscheinung verdunkelt jedoch die beschriebene Differenzierung der vertikalen Chlorophyllverteilung kaum.

Die Untersuchungen des Verf. wurden im Laufe einiger Wochen des Hochsommers beim sonnigen und heissen Wetter ausgeführt. Es konnten nur aus einem See, und zwar aus dem Trout Lake, einige Serien entnommen werden, die die Verteilungsveränderungen des Chlorophylls im Laufe des Sommers 1937 in diesem See einigermaßen illustrieren (vgl. Serien 1, 2 und 19, Tab. I, und Abb. 2, S. 128). Es wurde eine bedeutende Chlorophyllzunahme im Epilimnion im Laufe einiger Tage im Juli festgestellt, während die Chlorophyllmenge im Hypolimnion im Laufe der ganzen Untersuchungsperiode sich nur unbedeutend verändert hat; es hat sich auch das Chlorophyllmaximum in der Sprungschicht behalten.

Die horizontale Chlorophyllverteilung konnte auch nur im Trout Lake studiert werden. Die Serien 19 und 20 (Tab. I), die in zwei nacheinander folgenden Tagen in verschiedenen Stellen des Sees entnommen wurden, stimmen in ihrem Verlauf ziemlich gut überein mit Ausnahme der bodennahen Probe der Serie 20, die viel mehr Chlorophyll enthält, als die aus derselben Tiefe entnommene Probe der Serie 19 und auch als die bodennahe Probe der letzteren Serie. Diese Beobachtung schien darauf hinzuweisen, dass die bodennahe Schicht des Trout Lake eine bedeutende Differenzierung betreffs ihres

Chlorophyllgehaltes aufweist. Es wurden sonach manche weitere Wasserproben auf ihr Chlorophyllgehalt studiert, alle aus der 1 m über dem Boden gelegenen Schicht, aber in verschiedenen tiefen Stellen des Sees entnommen (vgl. Tabelle S. 132 und Abb. 3, S. 129). Soweit man auf Grund der erhaltenen Resultate schliessen darf, tritt in den Tiefen des Trout Lake ein Gürtel des bodennahen Wassers auf, der besonders chlorophyllreich ist; die obere Grenze dieses Gürtels hängt von der Lage der Sprungschicht (9—12 m) ab, die untere läuft in der Tiefe von etwa 20 m. Das bodennahe Wasser, das darüber und darunter dieses Gürtels gelegen ist, ist viel chlorophyllärmer. Die horizontale Verteilung des Chlorophylls im Bereiche des Limneticus scheint dagegen ziemlich gleichmässig zu sein.

In der Tab. I sind auch die relativen Werte des Chlorophylls angegeben, die in ‰ des Glühverlustes des Sestons ausgedrückt worden sind. Ihre Schwankungsamplitude ist kleiner als die der absoluten Chlorophyllwerte und beträgt von 0.8‰ bis 38.5‰. Der Schichtungsverlauf dieser relativen Werten ähnelt jedoch im allgemeinen dem Schichtungsverlauf der absoluten Werte und bietet somit keine interessanten Schlussfolgerungen.

Schlussfolgerungen. Die Hauptaufgabe der vorliegenden Arbeit, die die erste Mitteilung über das Auftreten und die Verteilung des Chlorophylls in Seen zu bilden scheint, lag in der Bestimmung der allgemeinen Schwankungsamplitude dieser Erscheinung und im Schaffen einer Unterlage für weitere mehr eingehende und mehr kausale Studien. Da die untersuchten Seen jedoch recht verschiedene limnologische Eigenschaften aufweisen (vgl. Tab. III), die dank den mehrjährigen Untersuchungen von E. A. BIRGE und C. JUDAY sowie ihrer Mitarbeiter verhältnismässig sehr gut bekannt sind, scheint es zweckmässig zu sein, das Auftreten und die Verteilung des Chlorophylls in diesen Seen mit einigen anderen ihren Eigenschaften zu vergleichen.

Die bisherigen Untersuchungen über die Assimilations-tätigkeit des Phytoplanktons in Seen weisen nachdrücklich darauf hin, dass die Photosynthese meistens nicht im Oberflächenwasser sondern in gewisser Tiefe am ergiebigsten vor sich geht. Es ist auch andererseits aus der Pflanzenphysiologie

die Tatsache bekannt, dass die im Schatten lebenden Pflanzen mehr Chlorophyll produzieren als diejenigen, die die sonnigen Milieus bewohnen. Auf Grund dieser beiden Feststellungen konnte man voraussehen, dass das Chlorophyllmaximum nicht an der Oberfläche, sondern in gewisser, manchmal sogar in bedeutender Tiefe des Sees, auftreten soll. Dies Chlorophyllmaximum könnte selbst in der Schicht der minimalen Lichtintensität vorkommen, in welcher die Pflanzen zwar noch assimilieren können, aber dazu einen entsprechend grossen Chlorophyllvorrat besitzen müssen. Man konnte ferner erwarten, dass die Chlorophyllmenge weiter in die Tiefe des Sees rasch abnehmen wird bis zum völligen Schwund, falls der See genügend tief ist. Diese einfachen „idealen“ Schichtungsverhältnisse könnten selbstverständlich durch äussere (vor allem thermische und Ernährungsbedingungen) und innere (verschiedene ökologische Forderungen der Algenpopulation, die den gegebenen See bewohnt) Bedingungen in verschiedener Weise modifiziert werden.

Die in untersuchten Seen beobachtete vertikale Chlorophyllschichtung bestätigte die angeführten theoretischen Erwartungen nur teilweise. Auffallend ist vor allem die Tatsache, dass bedeutende Chlorophyllmengen in den tiefsten Seeschichten, namentlich in den Seen des Typus III und V (s. oben S. 146), auftreten. Die Lage des Kompensationspunktes, also auch die Lage der Schicht der minimalen Lichtbedingungen, lässt sich zwar in diesen Seen nicht genau bestimmen, da die entsprechenden bis jetzt publizierten Angaben (SCHOMER u. JUDAY 1935, CURTIS u. JUDAY 1937) sich nicht auf die Pflanzenassoziationen beziehen, die tatsächlich in gegebener Tiefe auftreten, sondern auf Grund der photosynthetischen Leistung der dort künstlich eingeführten Kulturen ermittelt worden sind. Wenn wir trotzdem annehmen werden, dass die in zitierten Arbeiten angegebenen Lagen des Kompensationspunktes mehr oder weniger den natürlichen Verhältnissen entsprechen, so wird es sich zeigen, dass in allen untersuchten Seen (mit Ausnahme der vier seichten Gewässer: Little Rock, Mann, Starrett und Cardinal Bog) der Kompensationspunkt oberhalb, meistens weit oberhalb der maximalen Tiefe des Sees gelegen ist. Es folgt daraus, dass nicht selten bedeutende Chlorophyllmengen

in der tropholytischen Schicht des Sees vorkommen und dass sogar in dieser Schicht manchmal Chlorophyllmaxima auftreten. Selbst der tiefste der untersuchten Seen, Trout Lake, enthält in der Tiefe von 33 m, also vielleicht 20 m unterhalb des Kompensationspunktes (vgl. SCHOMER u. JUDAY 1935, S. 183), eine nachweisbare Chlorophyllmenge. — Wie kann das Chlorophyllvorkommen in diesen finsternen Tiefen erklärt werden?

Es liegt die Vermutung nahe, dass dieses „Tiefenchlorophyll“ aus höheren Wasserschichten stammt und das sein Auftreten in der Tiefe dem Prozess des Absinkens der toten, senilen, verirrten oder in Ruhestadien sich befindenden Pflanzenzellen zugeschrieben werden soll; es würde somit ein Chlorophyll sein, das photosynthetisch inaktiv ist. Es sollte zwar ein solches Chlorophyll ziemlich rasch zerlegt werden, man darf aber auch nicht ausser Acht lassen, dass niedrige Temperatur und niedriger Sauerstoffgehalt, die in den Seentiefen in der Regel herrschen, als wichtige Konservierungsfaktoren wirken können. Man könnte sich somit einen Gleichgewichtszustand zwischen dem Ankommen des Chlorophylls aus den oberen Wasserschichten des Sees einerseits und seiner Zerlegung in der Tiefe andererseits vorstellen.

Die angeführte Erklärung der besprochenen Erscheinung knüpft sich mit einer ganzen Reihe von Fragen an, die beim jetzigen Stand der Limnologie keine befriedigende Antwort finden können. Wieviel Pflanzenzellen sinkt in der gegebenen Zeiteinheit auf das Seeboden? Wieviel Chlorophyll haben diese Zellen ursprünglich gehabt und wieviel haben sie während des Weges verloren? Wie schnell wird Chlorophyll in den gegebenen Wärme-, Licht-, Sauerstoff- und Druckbedingungen zerlegt? Wie gross ist der Einfluss der Fauna, die sich mit dem absinkenden Plankton ernährt, und der Bakterienflora, die die senilen und toten Pflanzenzellen angreift, auf den Verschwindensprozess des Chlorophylls in der Seetiefe?—Alle diese Anfragen können nur durch spezielle Studien beantwortet werden. Nichtsdestoweniger lässt sich der Ansicht des Verf. nach das Auftreten eines photosynthetisch inaktiven Chlorophylls in der Tiefe mancher untersuchter Seen nicht leugnen; es sind nämlich die Seen, die die Chlorophyllschichtung des Typus II, IV und V (s. oben S. 146) aufweisen sowie der Midge Lake.

Es sind vor allem die Lichtbedingungen in der Tiefe dieser Seen, die dank den ausgezeichneten Studien von BIRGE und JUDAY (1929—32) und neulich auch von WHITNEY (1938) verhältnismässig gut bekannt sind und die diese Behauptung zu berechtigen scheinen.

Im Trout Lake hat WHITNEY (1938) in der Tiefe von 26 m nur 0.001% der Lichtintensität gefunden, die an der Oberfläche festgestellt worden ist. In der Tiefe von 33 m konnte die Lichtintensität nur verschwindend klein sein. Der allgemeine Schichtungsverlauf des Chlorophylls (vgl. Abb. 2, S. 128), namentlich die allmähliche Abnahme mit der Tiefe hinab und die geringe Chlorophyllmenge über dem Boden, macht die Vermutung wahrscheinlich, dass dies Chlorophyll vom absinkenden „Regen“ der Pflanzenzellen stammt.

Die übrigen Seen (Typus IV und V sowie der Midge Lake) zeichnen sich durch ungünstigere Lichtverhältnisse als Trout Lake aus. Ihre Sichttiefe schwankt zwischen 0.75 und 3.8 m (s. Tab. II). Im durchsichtigsten See dieser Gruppe, Midge Lake, haben BIRGE und JUDAY (1932, S. 550) in der Tiefe von 9 m nur 0.0035% der Lichtintensität gefunden, die an der Oberfläche beobachtet worden ist. Für Mary Lake wurde in der Tiefe von nur 5 m 0.035%, für Helmet Lake in der Tiefe von nur 3 m—0.045% der Lichtintensität bei der Zenitstellung der Sonne ermittelt (l. c., S. 545); über dem Boden dieser Seen, das viel tiefer gelegen ist (s. Tab. I und III), können nur Lichtspuren vorhanden sein. Die Chlorophyllschichtung der Seen der besprochenen Gruppe, und zwar das Auftreten einer beträchtlichen Chlorophyllmenge in einer der oberen Wasserschichten, macht auch die Vermutung wahrscheinlich, dass eine Akkumulation der von oben absinkenden Zellen in der Überdembodenschicht dieser Seen stattfinden kann.

Eine andere Deutung schreibt der Verf. dem „Tiefenchlorophyll“ der Seen zu, die die Schichtungstypen I und III aufweisen (s. oben S. 146). Es handelt sich nämlich um Seen, die sich durch recht grosse Sichttiefe und klares Epilimnionwasser auszeichnen und nicht so tief wie Trout Lake sind. Ausser dem ganz seichten Little Rock, dessen Sichttiefe ca. 4 m betrug, schwankte sie in anderen Seen dieser Gruppe zwischen 5.2 und 9.5 m. Die Chlorophyllmenge in den oberen Wasser-

schichten dieser Seen ist nicht gross, sie wächst aber beträchtlich in der Überdemobodenschicht mancher Seen dieser Gruppe (Typus III). Da es keine Quelle in den oberen Wasserschichten gibt, von welcher dieses Tiefenchlorophyll stammen könnte, und im Zusammenhang mit den günstigeren Lichtverhältnissen in der Tiefe scheint es wahrscheinlich zu sein, dass dies Tiefenchlorophyll, wenigstens zum Teil, autochthon ist und dass das Phytoplankton bis zur grössten Tiefe dieser Seen¹⁾ eine gewisse photosynthetische Tätigkeit aufweist.

Mit Ausnahme des seichten Little Rock Lake liegt zwar der Kompensationspunkt dieser Seen wahrscheinlich oberhalb ihrer grössten Tiefen; im Crystal Lake soll er in der Tiefe von 17 m liegen (SCHOMER u. JUDAY 1935, S. 179), in den übrigen Seen, die weniger durchsichtig sind, ist er ohne Zweifel noch höher gelegen. Man darf jedoch nicht ausser Acht lassen, dass der Kompensationspunkt nur einen Horizont bestimmt, unterhalb welchem die Respirations- und Zersetzungsprozesse über die Assimilationsprozesse zu überwiegen beginnen, unterhalb welchem somit die Pflanzenorganismen sich nicht ausschliesslich autotroph ernähren können, sondern auch—wenigstens zusätzlich—fertige organische Nahrung aufnehmen müssen. Gewisse photosynthetische Leistung findet jedoch ohne Zweifel auch unterhalb des Kompensationspunktes statt, obwohl diese Tätigkeit wahrscheinlich wenig ergiebig ist und nur während einiger Mittagsstunden der sonnigen Tage vor sich geht.

In den grössten Tiefen des Crystal- und Weber-Seen übersteigt die Lichtintensität mitunter 1% der an der Oberfläche gefundenen Lichtmenge (BIRGE u. JUDAY 1932, S. 539 und 545), auf dem Boden beider Seen (ihre grösste Tiefe nicht ausgenommen) gedeihen drei Bryophytenarten (JUDAY 1934). Es scheint somit sehr wahrscheinlich zu sein, dass das Phytoplankton dieser Seen bis zu ihrer grössten Tiefen assimilieren kann.

Nebish Lake besitzt ein klares Epilimnionwasser (vgl. Tab. II), von der Sprungschicht ab tritt dagegen eine bedeutende Trübung auf und das Wasser wird auch intensiver gefärbt (WHITNEY 1938a). In dem See kommt indessen das Chlorophyllmaximum nicht in der grössten Tiefe vor, sondern in der Tiefe

¹⁾ Vielleicht mit Ausnahme des Nebish Lake (s. weiter unten).

von 10 m (s. Tab. I). Es ist nämlich wahrscheinlich die Schicht des Lichtminimums, unterhalb welcher nur das photosynthetisch inaktive Chlorophyll auftritt. Deshalb wurde Nebish zu den Übergangseen zwischen dem Schichtungstypus III und V eingerechnet (s. oben S. 147).

Muskellunge- und Silver-Seen sind ungefähr 20 m tief und die Lichtbedingungen in ihren grössten Tiefen sind wohl nicht sehr günstig, obschon sie zweifellos günstiger sind, als die Lichtbedingungen in den Seen des Typus II und V. Im Muskellunge Lake hat WHITNEY (1938) in der Tiefe von 17.5 m noch 0.01%, im Silver Lake haben BIRGE und JUDAY (1932, S. 547) in der Tiefe von 15 m noch 0.02% der Lichtintensität für Zenitstellung der Sonne ermittelt. Es sind zwar nicht grosse Lichtintensitäten, man hat jedoch die photosynthetische Leistung der Pflanzen bei noch kleineren Lichtintensitäten beobachtet (vgl. SPOEHR, SMITH in: DUGGAR 1936, S. 1037—1038). Die Pflanzen, die im Zimmer gezüchtet werden, oder in dichten Wäldern und in Grotten wachsen, sind imstande die Lichtintensitäten derselben Ordnung für assimilatorische Tätigkeit auszunutzen.

Es drängt sich doch die Frage auf, warum in den untersuchten Seen die Chlorophyllmaxima so oft in der Überdembodenschicht auftreten und nicht höher vorkommen, wo die Lichtbedingungen günstiger sind? Es scheint, dass in vielen Fällen günstigere Ernährungsbedingungen der Pflanzenorganismen (neben dem Absinkenprozess der Pflanzenzellen) in den tiefsten Wasserschichten für diese Erscheinung verantwortlich sind. Es wurde ja nicht selten eine verhältnismässig starke Konzentration der im Wasser gelösten Mineralsalze, organischen Verbindungen und CO₂ unmittelbar über dem Boden der Gewässer beobachtet.

Es sei hier die Differenzierung des Chlorophyllauftretens in der Überdembodenschicht des Trout Lake (s. oben S. 148 und Abb. 3, S. 129) erinnert. In diesem See in den Stellen, wo die Tiefe 10 bis 20 m beträgt, kommt ein Chlorophyllmaximum über dem Boden vor, ähnlich wie in den Seen des Typus III. Es scheint wahrscheinlich zu sein, dass in allen diesen Seen die Chlorophyllmaximumschicht die minimalen Licht- und die optimalen Ernährungsbedingungen bietet. Die Seen

des Typus III sind seichter als der Trout Lake, es fehlt ihnen deswegen eine tiefere Schicht, in welcher subminimale Lichtintensität vorherrschen würde. Solche Schicht existiert aber im Trout Lake, und zwar unterhalb der Tiefe von 20 m, wo wir auch eine allmähliche Chlorophyllabnahme beobachten, obschon dort die Ernährungsbedingungen wahrscheinlich weiter günstig sind.

Ein allgemeiner Schluss, der sich aus den obigen Betrachtungen ziehen lässt, ist ziemlich interessant. Die photosynthetische Leistung des Phytoplanktons scheint sich weiter in die Tiefe der Seen hinab zu erstrecken, als man bis jetzt anzunehmen pflegte. Die Grenze zwischen der trophogenen und tropholytischen Schicht ist sehr verwischt und nicht scharf.

Die Feststellung, dass ein photosynthetisch inaktives Chlorophyll in manchen Seen auftreten kann, weist jedoch nachdrücklich darauf hin, dass die Chlorophyllmenge, die in der gegebenen Seeschicht gefunden wird, nicht nur als Mass der Phytoplanktonmasse kaum gewertet werden darf, aber vor allem, dass diese Menge in keiner proportionalen Beziehung zur Intensität der Photosynthese steht, die in der gegebenen Schicht vor sich geht. Das vermindert selbstverständlich den limnologischen Wert einzelner Chlorophyllbestimmungen in Seen.

Dieser Vorbehalt belastet jedoch der Ansicht des Verf. nach den mittleren Chlorophyllgehalt eines Sees als Mass seiner Produktivität nicht so stark. Die auf S. 140 zusammengestellten mittleren Chlorophyllgehalte der Wassersäule, die von der Oberfläche bis zum Grund in der Gegend der grössten Tiefe der untersuchten Seen sich erstreckt, scheinen den allgemeinen Produktivitätsgrad dieser Seen ziemlich treu zu charakterisieren. Diese Mittelwerte wurden für einzelne Seen auf Grund der Angaben aus einzelnen Tiefen (Tab. I) berechnet, indem die Mächtigkeit einzelner Schichten berücksichtigt wurde.

Den niedrigsten mittleren Chlorophyllgehalt weist der Crystal Lake auf, der oligotrophste See des Gebietes (vgl. Angaben der Tab. III). Trout Lake steht an der Grenze der oligo- und eutrophen Seen (JUDAY u. BIRGE 1932, S. 449), seine beträchtliche Tiefe macht jedoch einen bedeutenden Teil des Hypolimnions für die Assimilation der Pflanzen unzugänglich,

was sich im niedrigen mittleren Chlorophyllgehalt abspiegelt. Weber Lake war noch vor einigen Jahren eben so oligotroph wie Crystal; nach der von Dr. C. JUDAY vorgenommenen künstlichen Düngung weist der See eine bedeutende Zunahme der Planktonproduktion und sogar einen grösseren Fischzuwachs auf. Deswegen ist wahrscheinlich sein mittlerer Chlorophyllgehalt fast doppelt so gross, als derjenige des Crystal Lake.

Es folgen weitere Seen mit allmählich zunehmendem mittleren Chlorophyllgehalt. Den maximalen Wert weist der Cardinal Bog auf, welcher aber—wie erwähnt—von aussen her bedeutende Mengen der Pflanzenreste zu erhalten scheint. Der nächste ist der Scaffold Lake, der einzige ziemlich tiefe See des Gebietes, in welchem eine starke Wasserblüte beobachtet worden ist.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass mehr wertvolle und mehr vergleichbare mittlere Chlorophyllwerte erhalten würden, falls hier lediglich das photosynthetisch aktive Chlorophyll mitgerechnet sein würde, denn die Menge des inaktiven Tiefenchlorophylls in Seen kann oft nicht direkt vergleichbar sein. Sie hängt u. a. von der Geschwindigkeit des Zersetzungsprozesses dieses Chlorophylls ab, die in verschiedenen Seen sehr verschieden sein kann. Andererseits hat die Kenntnis der Assimilationsbedingungen in Binnengewässern so grosse Fortschritte im letzten Dezennium gemacht, dass wir vielleicht schon bald ohne Schwierigkeit imstande sein werden die Tiefe des gegebenen Sees—wenigstens annäherungsweise—zu bestimmen, bis zur welchen das photosynthetisch aktive Phytoplankton auftritt.

Die mittlere Chlorophyllmenge, die oberhalb dieser Photosynthesegrenze in einem See vorhanden ist, wird vielleicht einen mehr charakteristischen Produktivitätsindex dieses Sees bilden, als irgendwelcher anderer bis jetzt benutzter Index; besonders, wenn die Chlorophylluntersuchungen im Laufe der ganzen Jahresperiode geführt werden und wir imstande sein werden, die Chlorophyllproduktion eines Sees nicht nur pro Raum- aber auch pro Zeiteinheit zu bestimmen.

TAB. I.

Ilość i rozmieszczenie pionowe chlorofilu w wodzie wszystkich jezior badanych.

Ostatnia próbka każdej serii była pobrana z głębokości położonej 1 m nad dnem, wyjąwszy serie 1, 4 i 5. Wartości absolutne chlorofilu fitylowego zostały obliczone z wartości chlorofilidu etylowego w drodze multiplikacji tych ostatnich przez współczynnik 1.316 (p. str. 126). Stosunkowe wartości chlorofilu fitylowego zostały wyrażone w ‰ zawartości substancji organicznej w sestonie tej samej warstwy wody w jeziorze.

Chlorophyllgehalt und vertikale Verteilung in allen untersuchten Seen.

Die letzte Probe einer jeden Serie wurde 1 m über dem Boden entnommen mit Ausnahme der Serien 1, 4 und 5. Die absoluten Werte des Phytylchlorophylls wurden aus den entsprechenden Werten des Aethylchlorophyllides berechnet, indem die letzteren durch den Koeffizient 1.316 multipliziert wurden. Die relativen Werte sind in ‰ des Glühverlustes des Sestons derselben Wasserschicht ausgedrückt.

Jezioro (See)	Data (Datum)	Głębokość (Tiefe) m	Chlorofil (Chlorophyll)			Zawartość substancji organicznej w sestonie (Glühverlust des Sestons) mg/m ³	
			etyl. mg/m ³	fityl.			
				mg/m ³	‰		
1. Trout	20.VII.1937	0	0.8	1.1	1.3	880	
		21	0.8	1.0	0.8	1370	
		19	2	1.0	1.3	910	
			4	1.0	1.3	1.6	830
		20	5	1.0	1.3	1.4	950
			6	1.0	1.4	1.5	900
		21	6.5	1.2	1.6	0.9	1760
		20	7	1.6	2.1	2.0	1037
		21	7.5	1.7	2.3	1.8	1290
			8	2.1	2.7	2.8	980
		22	9	2.3	3.1	3.9	790
			10	2.3	3.1	4.3	710
			11	2.2	2.9	3.4	860
			12	2.0	2.6	2.3	1150
	2. Trout	26	24	13	2.6	3.5	3.4
			14	2.7	3.5	3.5	1020
			15	2.5	3.3	—	—
			16	2.0	2.6	2.6	980
			0	1.9	2.5	1.5	1640
			9	2.5	3.3	3.2	1030
			12	2.9	3.8	4.5	860
			14	2.7	3.6	—	—
	18	2.1	2.8	3.2	870		
	27	20	1.6	2.1	3.0	680	

Jezioro (See)	Data (Datum)	Głębokość (Tiefe) m	Chlorofil (Chlorophyll)			Zawartość substancji organicznej w sestonie (Glühverlust des Sestons) mg/m ³	
			etyl. mg/m ³	fityl.			
				mg/m ³	‰		
Trout	27.VII.37	25	1.1	1.5	2.6	580	
		30	1.2	1.6	2.8	580	
		33	1.1	1.5	1.7	840	
3. Little Rock	28	0	2.6	3.4	2.7	1260	
		5	17.1	22.5	15.7	1430	
4. Mann	28	2	15.7	20.6	6.3	3250	
5. Starrett	28	3	9.0	11.8	3.5	3330	
6. Weber	30	0	1.4	1.9	1.1	1760	
		3	1.6	2.1	1.4	1480	
7. Nebish	29	7	1.7	2.3	2.7	850	
		8	2.3	3.1	2.9	1080	
		30	10	2.6	3.5	3.6	960
		29	12	10.3	13.6	28.3(?)	480(?)
		31	0	2.1	2.8	1.8	1530
			3	2.0	2.7	1.7	1590
			5	1.5	1.9	1.3	1540
8. Muskellunge	3.VIII.37	6.5	4.0	5.2	8.5	610	
		8	11.1	14.6	10.6	1380	
		10	15.8	20.8	15.9	1310	
		12	14.2	18.7	8.9	2110	
		14	15.3	20.2	10.5	1920	
		0	2.3	3.1	2.4	1290	
		7	4.0	5.2	4.2	1240	
9. Cardinal Bog	4	8	3.7	4.8	2.3	2090	
		10	8.5	11.2	4.8	2320	
		12	9.6	12.7	5.3	2400	
		15	11.3	14.8	7.6	1940	
		19	23.1	30.4	13.8	2210	
		0	10.4	13.7	6.1	2250	
		2.5	135.0	177.7	36.6	4850	
10. Helmet	5	4	293.5	386.2	37.6	10280	
		0	13.9	18.4	11.6	1590	
		2	5.4	7.1	7.3	970	
		5	5.5	7.2	2.4	2990	
		7	5.5	7.2	2.1	3400	
11. Little Rock	6	8.5	5.9	7.8	1.2	6620	
		0	2.9	3.9	—	—	
		4	8.0	10.5	—	—	
12. Silver	7	5	14.8	19.5	—	—	
		0	0.8	1.1	—	—	
		6	0.9	1.1	—	—	

Jezioro (See)	Data (Datum)	Głębokość (Tiefe) m	Chlorofil (Chlorophyll)			Zawartość substancji organicznej w sestonie (Glühverlust des Sestons) mg/m ³
			etyl. mg/m ³	fityl.		
				mg/m ³	‰	
Silver	7.VIII.37	7	1.4	1.8	1.9	970
		8	1.5	2.0	1.4	1420
		9	1.6	2.1	1.6	1280
		13	3.7	4.8	4.4	1090
		18	14.9	19.7	15.0	1310
13. Crystal	11	0	0.8	1.1	0.9	1260
		7	1.0	1.3	1.1	1200
		9	1.2	1.6	2.0	800
		12	1.0	1.3	1.1	1230
		15	2.1	2.8	3.1	900
		17	2.3	3.1	5.4	570
		19	2.2	2.9	4.2	690
14. Mary (Adel.)	13	0	17.4	22.8	6.3	3630
		2	34.2	44.9	17.1	2630
		4	46.0	60.5	38.5	1570
		8	7.4	9.8	11.1	880
		12	4.7	6.1	5.2	1180
		16	8.5	11.1	7.2	1540
15. Wild Cat	16	20	18.0	23.6	17.5	1350
		0	5.6	7.4	5.3	1400
		2	5.0	6.6	4.6	1430
		4	8.5	11.2	5.2	2170
		5	16.7	21.9	14.8	1480
		7	53.1	69.9	33.0	2120
16. Ike Walton	18	9	45.4	59.7	32.2	1850
		0	4.6	6.1	5.1	1190
		4	5.2	6.8	4.1	1650
		6	4.2	5.5	2.1	2580
		8	2.8	3.7	3.6	1010
		10	3.5	4.6	3.3	1400
17. Big	20	13	2.7	3.6	2.1	1750
		16	2.3	3.1	3.2	940
		0	9.3	12.2	8.3	1470
		4	8.0	10.5	6.6	1600
		6	8.5	11.2	7.3	1530
		8	4.3	5.7	4.5	1270
		10	2.4	3.1	3.4	930
		12	1.5	2.0	3.7	550
14	1.6	2.1	2.2	980		
		16	1.8	2.4	2.8	850

Jezioro (See)	Data (Datum)	Głębokość (Tiefe) m	Chlorofil (Chlorophyll)			Zawartość substancji organicznej w sestonie (Glühverlust des Sestons) mg/m ³
			etyl mg/m ³	fityl.		
				mg/m ³	‰	
18. Midge	21.VIII.37	0	4.9	6.5	4.2	1540
		2	6.0	7.8	3.7	2140
		3	5.6	7.4	4.2	1770
		4	7.5	9.9	7.3	1350
		6	7.5	9.9	7.7	1280
		8	4.6	6.1	4.5	1340
		9,5	7.5	9.9	9.7	1020
		19. Trout	23	0	2.7	3.5
8	2.3			3.0	1.6	1840
10	4.1			5.4	4.2	1290
15	2.1			2.8	5.8	480
20	1.4			1.9	1.0	1830
27	0.9			1.2	1.5	840
33	1.1			1.4	1.2	1180
20. Trout	24	0	2.5	3.3	—	—
		9	2.3	3.1	—	—
		10	3.6	4.7	—	—
		11	2.7	3.6	—	—
		12	3.6	4.7	—	—
		16	2.3	3.0	—	—
		19	3.8	5.0	—	—
21. Scaffold	27	0	24.0	31.7	7.2	4430
		1	21.4	28.2	4.1	6910
		3	88.6	116.6	10.5	11050
		5	68.4	90.0	13.6	6600
		7	83.4	109.8	8.5	12890
		8,7	138.2	181.9	10.6	17210

T A B. II.

Niektóre dane limnologiczne, zebrane na jeziorach badanych równocześnie z danymi tabeli I. [Przezroczystość określano przy pomocy krążka Secchi'ego. Barwa wody jest wyrażona w jednostkach skali platynowo-kobaltowej i dotyczy wody odwirowanej (pozbawionej sestonu)].

Einige limnologische Angaben, die an den untersuchten Seen gleichzeitig mit den Angaben der Tab. I gesammelt wurden. [Die Sichttiefe wurde mit der Secchi-Scheibe bestimmt. Die Wasserfarbe ist in den Einheiten der Platinum-Kobalt-Skala ausgedrückt und wurde an zentrifugiertem (sestonfreiem) Wasser bestimmt].

Jezioro (See) Data (Datum) Przezroczystość (Sichttiefe)	Głębokość (Tiefe) m	t° C	O ₂ mg/l	Barwa wody (Wasserfarbe)
Trout 23.VII.1937 5.0 m.	0	23.2	8.32	—
	7.5	22.5	8.56	—
	8	20.6	8.48	—
	9	15.1	10.32	—
	10	13.3	11.07	—
	11	12.4	11.05	—
	12	11.8	10.62	—
	14	10.6	9.92	—
	15	10.0	9.22	—
	18	8.5	8.53	—
	20	8.0	8.44	—
	25	7.4	7.06	—
Little Rock 28.VII.37 4.1 m.	0	21.6	—	10
	4	21.6	—	—
	5	20.0	—	12
	6	14.8	—	—
Mann 28.VII.37	0	20.7	—	—
	2.5	20.7	—	—
Starrett 28.VII.37	0	21.2	—	—
	3.5	21.1	—	—
Weber 30.VII.37 7.3 m.	0	21.5	8.29	—
	6	21.3	8.34	—
	7	19.9	8.30	—
	8	15.4	9.95	—
	10	11.5	9.62	—
	11.5	—	8.42	—
	12.5	9.4	—	—
Nebish 31.VII.37 6.2 m.	0	22.1	8.08	—
	5	21.8	8.06	—
	7	20.1	—	—

Jezioro (See) Data (Datum) Przezroczystość (Sichttiefe)	Głębokość (Tiefe) m	t° C	O ₂ mg/l	Barwa wody (Wasserfarbe)
Nebish 31.VII.1937 6.2 m.	8	15.4	4.75	—
	10	10.3	1.29	—
	12	8.5	0.62	—
	14	—	0.34	—
	14.5	8.1	—	—
Muskellunge 3.VIII.37 5.2 m.	0	22.1	8.52	—
	7	21.1	8.74	—
	9	15.0	10.09	—
	10	14.0	10.28	—
	12	12.4	6.56	—
	15	—	1.30	—
	19	—	0.53	—
20	9.7	—	—	
Cardinal Bog 4.VIII.37 2.0 m.	0	22.0	—	—
	2	18.6	—	—
	3	11.6	—	—
	5	6.2	—	—
Helmet 5.VIII.37 0.8 m.	0	22.6	—	256
	2	17.8	—	256
	5	7.0	—	272
	7	6.35	—	320
	8.5	—	—	344
	10	6.2	—	—
Little Rock 6.VIII.37 4.0 m.	0	26.3	—	—
	4	22.8	—	—
	6	16.2	—	—
Silver 7.VIII.37 6.5 m.	0	23.7	8.39	6
	7	19.9	9.11	14
	8	15.1	12.80	—
	9	11.7	13.72	14
	10	9.9	13.76	—
	13	7.1	9.26	14
	18	—	2.10	196
	19	5.9	—	—
Crystal 11.VIII.37 ca. 9.5 m.	0	23.2	8.08	—
	7	21.5	8.60	—
	9	19.1	9.14	—
	12	13.1	11.61	—
	15	10.3	11.65	—
	17	—	10.70	—

Jezioro (See) Data (Datum) Przezroczystość (Sichttiefe)	Głębokość (Tiefe) m	t° C	O ₂ mg/l	Barwa wody (Wasserfarbe)
Crystal 11 VIII.1937 ca. 9.5 m.	19	—	10.45	—
	19.5	9.3	—	—
Mary (Adel.) 13.VIII.37 1.6 m.	0	22.5	7.61	106
	2	17.8	5.91	106
	4	6.1	1.25	—
	8	4.1	—	136
	10	4.0	0.00	—
	12	—	—	160
	16	4.3	0.00	220
	20	—	0.00	280
Wild Cat 16.VIII.37 2.7 m.	0	23.5	7.68	10
	4	23.0	7.48	12
	5	20.0	5.66	—
	7	14.7	2.44	65
	9	12.4	0.00	230
	10.5	12.0	—	—
Ike Walton 18.VIII.37 3.7 m.	0	22.6	7.43	20
	6	21.7	7.28	22
	8	19.3	3.98	26
	10	16.6	2.19	49
	13	12.6	0.16	76
	16	12.0	0.00	126
Big 20.VIII.37 2.9 m.	0	22.4	7.91	18
	4	22.4	7.62	18
	6	20.9	6.90	20
	8	16.8	1.59	22
	10	12.1	0.28	32
	12	9.5	0.18	40
	14	7.6	0.00	68
	16	6.9	0.00	83
Midge 21.VIII.37 3.8 m.	0	21.8	7.44	32
	3	21.0	7.13	—
	4	14.8	—	32
	5	10.0	2.61	—
	6	7.9	—	32
	8	5.3	0.90	118
	9	5.1	—	186
	10.5	5.1	0.00	—

Jezioro (See) Data (Datum) Przezroczystość (Sichttiefe)	Głębokość (Tiefe) m	t° C	O ₂ mg/l	Barwa wody (Wasserfarbe)
Trout 23.VIII.1937 4.4 m.	0	21.0	8.46	6
	8	20.9	8.44	—
	10	16.8	9.22	6
	15	9.8	7.60	8
	20	8.2	6.48	8
	27	7.3	4.15	8
	33	—	1.10	8
	34	6.9	—	—
Scaffold 27.VIII.37 0.75 m.	0	23.5	9.94	26
	1	23.2	—	26
	2	21.7	10.15	—
	3	15.9	12.60	28
	5	8.3	0.00	50
	7	6.4	0.00	212
	8	6.0	—	—
	8.7	—	—	332
	9.5	6.2	0.00	—





TAB. III.

Niektóre cechy morfometryczne i fizyko-chemiczne 17 jezior badanych.

Gdy dwie cyfry są podane, określają one zakres wahań danej cechy, zaobserwowany na różnych głębokościach jeziora lub w różnym czasie.

Einige morphometrische und physikalisch-chemische Eigenschaften der 17 untersuchten Seen.

Wenn zwei Ziffer angegeben sind, bestimmen sie die Schwankungsamplitude der gegebenen Eigenschaft, die in verschiedener Tiefe des Sees oder in verschiedener Zeit beobachtet wurde.

Jezioro (See)	Powierzchnia (Areal) ha	Głęb. maks. (Maximale Tiefe) m	Głęb. średnia (Mittlere Tiefe) m	Przezroczystość (Sichttiefe) m	Barwa wody (Wasserfarbe)		Odplywowe (D) Bezodplywowe (S) Abflussbar (D) Abflusslos (S)	CO ₂ związany (gebunden) mg/l	pH	Przewodnictwo elektr. (Elektrolyt. Leitvermögen) recip. megohm	Sucha pozostałość (Trockenrückstand) mg/l
					powierzchnia (Oberfläche)	dno (Boden)					
Crystal	30.2	21.0	9.7	6.0—14.0	0	0—6	S	0.3—2.5	5.0—6.9	9—12	9—17
Trout	1556.0	35.0	14.0	3.2—6.5	0—6	8—22	D	13.4—21.7	6.5—8.2	68—88	51—75
Weber	15.6	13.5	7.2	4.0—10.1	0—8	0—45	S	0.5—4.5	5.1—6.9	8—19	10—22
Silver	87.3	19.5	11.3	2.6—8.1	0—22	8—196	D	13.9—24.5	6.4—8.4	55—73	46—64
Muskellunge	372.3	20.7	7.0	3.2—6.1	0—14	8—32	D	8.6—17.5	6.1—8.4	34—55	31—56
Nebish	38.5	15.8	5.2	3.6—8.7	0—16	14—97	S	2.8—13.4	5.9—7.5	17—43	18—39
Little Rock	15.8	6.0	—	2.8—4.2	8—10	12	S	0.7—1.8	5.7—6.0	11	15
Big	382.4	18.5	—	1.9—3.1	8—26	46—182	D	19.0—24.7	6.6—9.0	92—125	70—100
Ike Walton	553.6	18.5	—	1.8—3.7	14—22	58—126	S	0.5—4.6	5.0—6.5	14—28	18—29
Helmet	3.0	10.4	4.1	0.4—1.5	168—364	218—388	S	1.5—3.5	4.7—6.2	19—23	71—95
Wild Cat	130.0	12.0	—	1.7—2.8	10—22	26—312	D	26.8—42.0	6.8—8.4	115—179	88—144
Mary	1.2	22.0	7.7	1.2—2.1	100—122	200—280	D	1.3—13.7	5.4—6.2	19—64	51—89
Scaffold	12.0	10.0	—	0.75	26—78	332	S	5.0—6.7	6.6	23—27	89
Midge	3.4	10.0	4.4	2.0—3.8	14—58	110—186	S	2.5	5.4—5.9	12—15	17—29
Cardinal Bog	0.04	5.0	—	1.9—2.5	32—49	225	S	0.6—3.7	5.0—5.5	6—17	18—39
Mann	97.1	2.5	—	0.7—2.0	20—34	—	D	11.9—42.5	7.1—9.2	94—105	79—99
Starrett	44.1	4.5	—	1.8—3.2	6—14	—	S	1.0—2.0	6.3—6.6	14—15	18—26



