ACTA SOCIETATIS
BOTANICORUM POLONIAE
Vol. XXVIII — Nr 3
1959

Pierwotna produkcja jezior Rajgrodzkich
Cz. I. Jezioro Rajgrodzkie, J. Białe i J. Krzywe

The primary production of the Rajgród Lakes
Part I. Lake Rajgrodzkie, Lake Białe and Lake Krzywe

B. CZECZUGA

WSTĘP

Jednym z najważniejszych zagadnień współczesnej hydrobiologii jest ilościowe określenie produkowanej materii organicznej w zbiornikach wodnych, a w szczególności ujęcie ilościowe pierwszego ogniwa troficznego, tj. powstającej materii organicznej w wyniku procesu asymilacji.

W ostatnim dziesięcioleciu klasyfikacja jezior wg Thienemanna, oparta na krzywej pionowej tlenu oraz gatunkowym składzie bentosu jako indykatorów poszczególnych typów jezior, została poddana krytyce. Znani hydrobiolodzy (Elster 1955, Ohle 1955, Rodhe 1956, Winberg 1957) uważają, że podstawą do klasyfikacji zbiorników wodnych jest wielkość produkcji pierwotnej planktonu oznaczona metodą tlenową, lub C^{14} — modyfikacją metody zaciemnionych i nie zaciemnionych buteleczek.

Metodę oznaczania produkcji pierwotnej przy pomocy zaciemnionych i nie zaciemnionych butelek wprowadził do hydrobiologii Winberg (1934). Od tego czasu podczas badań pierwotnej produkcji zbiorników wodnych wymieniona metoda jest stosowana w postaci różnych modyfikacji. Schomer i in. (1935, cyt. Koźmiński 1938) badając intensywność asymilacji planktonu w jeziorach stanu Wisconsin (USA), uzależnionej od intensywności światła, niezależnie od Winberga zastosował metodę buteleczek. Manning i in. (1938), badając również intensywność asymilacji w zależności od głębokości w jeziorze Trout, posługiwali się tą samą metodą. Prace szkoły Wisconsin (Juday 1940, Manning i in. 1938, Koźmiński 1938) były skierowane ku wyjaśnieniu intensywności asymilacji uzależnionej od przenikania w głąb promieni słonecznych i przezroczystości wód. Natomiast prace rosyjskiego badacza Winberga (1934, 1936, 1939, 1948, 1956, 1958, 1959) od początku były skierowane do obliczenia bilansu produkcji pierwotnej planktonu poszczególnych jezior.

Pierwotną produkcję morza metodą zaciemnionych i nie zaciemnionych buteleczek oznaczał Riley (1939, 1941, 1941a). Nad wielkością produkcji pierwotnej jeziora Erie (stan Ohio, USA) pracował Verduin (1954, 1956, 1956a). W ostatniej pracy stwierdza on, że maksymalna intensywność asymilacji planktonu w j. Erie przypada na lipiec.

Dynamikę produkcji pierwotnej morskiego planktonu uzależnionej od intensywności przenikających promieni słonecznych zajmowali się: Ryther (1956); Ryther i Yentsch (1957), Yentsch i Ryther (1957). Ryther (1956a) stwierdził zależność pomiędzy ilością chlorofilu a ilością wydzielonego tlenu podczas procesu asymilacji w piętnastu gatunkach glonów morskich.

Metodą zaciemnionych i nie zaciemnionych buteleczek pracował Mc Quate (1956) badając intensywność asymilacji i oddychania fitoplanktonu Sanduskiego zalewu jeziora Erie (stan Ohio, USA).

Nelson (1958) badał zależność tempa wzrostu młodzieży *Oncorhynchus nerka* od wielkości produkcji pierwotnej jeziora Bare (Alaska, USA).

O intensywności asymilacji uzależnionej od czynników środowiska j. Erie donosi Verduin (1952). Asymilacją i oddychaniem *Dunaliella euchlora* (gr. *Flagellate*) zajmował się Ryther (1956), natomiast nad gatunkami grupy *Diatomea* pracował Talling (1955, 1957, 1957a).

Ciekawe wyniki dotyczące dynamiki produkcji pierwotnej otrzymali Manning i Juday (1941), Gessner (1949, 1953); Jackson i Mc Fadden (1954), oraz Wood (1956).

Zastosowaniem C^{14} w badaniach asymilacji w oceanie zajmował się Steemann-Nielsen (1952, 1954, 1955). Doty i Oguri (1956) wskazują na zwiększanie się produkcji pierwotnej w oceanie w miarę przybliżenia się do brzegu wysp (przy brzegu 4,2, a w odległości 24 km od brzegu produkcja węgla wynosi 0,096 mg /m^3/ godz.).

Sorokin (1956) zastosował metodę mianowanego węgla w badaniach produkcji pierwotnej słodkowodnych zbiorników ZSRR.

O produkcji materii organicznej i udziale asymilacji w bilansie tlenowym w jeziorze Bajkalskim — donosi Wotincew (1952, 1953, 1957).

Wpływ światła księżycowego na asymilację glonów niektórych jezior badali Iwlew i Mucharewskaja (1940).

Szczerbakow (1953) podaje dane dotyczące znaczenia objętości buteleczek stosowanych w badaniach metodą zaciemnionych i nie zaciemnionych butelek na ilość produkowanej materii i oddychanie planktonu.

Edmondson (1956) stwierdza istnienie zależności między ilością produkowanej materii organicznej w różnych głębokościach a ilością przechodzącego światła w poszczególnych jeziorach.

O wykorzystaniu energii słonecznej przez fitoplankton i rośliny wyższe donosi Steemann-Nielsen (1957).

Pierwotną produkcją zajmowali się : Blinks (1955), Levring i Fish (1956),

Ichimura (1956a, 1956b), Marshall (1956) Cushing (1957) oraz Koblenc-Miszkie (1957).

Zależność między przeciętną głębokością, a ilością produkowanego węgla, jak i szereg innych ciekawych zagadnień związanych z pierwotną produkcją jezior, znajdujemy w pracach Ohle (1955, 1956).

O produkcji pierwotnej wód bieżących (rzeki) donosi Odum (1956).

Nad asymilacją niektórych okrzemek Morza Czarnego pracowała Biessiemianowa (1957).

Wpływ pokrywy lodowej i śnieżnej na intensywność asymilacji fitoplanktonu w Storkower See, Küchensee oraz Chossewitzer See badał Müller (1957). Nad produkcją pierwotną dwóch jezior Kanady różniących się pod względem morfometrycznym stosując zaciemnione i nie zaciemnione buteleczki pracowali Frey i Stahl (1958).

W powstawaniu materii organicznej wielkie znaczenie mają promienie słoneczne, jednak wykorzystanie ich przez poszczególne zbiorniki wodne, raczej przez plankton tych zbiorników jest różne. Różnice te są uzależnione od wielu czynników. Jedne z nich dotyczą właściwości warunków ekologicznych danego zbiornika, inne dotyczą położenia geograficznego.

Duże znaczenie posiada ilość przenikania w głąb jeziora promieni słonecznych, co uzależnione jest od przezroczystości danego zbiornika. Większa lub mniejsza zawartość związków humusowych w wodzie nie tylko wpływa ujemnie na dynamikę planktonu (Charkiewicz z 1953; Czeczuga 1957), lecz w dużym stopniu i na wykorzystanie energii słonecznej przez plankton.

Podsumowanie wyników wieloletniej pracy nad produkcją pierwotną zbiorników wodnych i stopnia wykorzystania energii słonecznej przez plankton w poszczególnych jeziorach zawarte jest w monografii Winberga (1959).

Praca niniejsza ma na celu podanie wstępnych wiadomości dotyczących wielkości produkcji pierwotnej trzech różniących się pod względem troficzności jezior Rajgrodzkich.

METODA I MATERIAŁ

Badałem intensywność powstawania produkcji pierwotnej 3 jezior Rajgrodzkich: Rajgrodzkiego, Białego i Krzywego. Badania przeprowadzałem w sierpniu 1957 roku, oraz w maju i w drugiej połowie sierpnia 1958 roku. Zastosowałem metodę zaciemnionych i nie zaciemnionych buteleczek stosowaną przez Winberga (1934). Brane do badań buteleczki posiadały objętość 300 ml. Część buteleczek zaciemniano przez umieszczenie ich w dętce motocyklowej, co gwarantowało całkowite zaciemnienie i wykluczało asymilację.

Jednocześnie batometrem Ruthnera pobierano wodę do oznaczania ilości chlorofilu z tej głębokości z której pobierano wodę do buteleczek. Wodę sączono przez sączki membranowe Nr 0. Ilość chlorofilu oznaczano metodą Winberga i Siwko

(1953) stosując fotometr elektryczny typu Lumetron Mod-400 z filtrem czerwonym o długości fali 650 mμ.

Oznaczenie ilości chlorofilu pozwoliło sądzić o dynamice fitoplanktonu na odpowiedniej głębokości danego jeziora, oraz obliczyć liczbę asymilacyjną, (przyjmując, że 1 mg O_2 wydzielonego w procesie asymilacji odpowiada 1,375 mg pobranego CO_2 (Winberg, 1959) do wytwarzania materii organicznej). Zakładając że asymilacja zachodzi przeciętnie przez 13 godzin w ciągu doby, obliczono szybkość odnowy suchej masy fitoplanktonu przyjmując, że ilość chlorofilu stanowi przeciętnie 3% suchej masy fitoplanktonu.

Czerpakiem systemu Bernatowicza pobierano jednocześnie próbki zooplanktonu z tych samych miejsc i głębokości, z których pobierano wodę do napełniania buteleczek i oznaczania chlorofilu. W pracowni oznaczono gatunki i podliczano ilość poszczególnych gatunków w litrze wody.

Jak stwierdził Suszczenia (1958) obecność zooplanktonu może wpływać dodatnio na asymilację fitoplanktonu. Toteż przyjmuje on, że produkcja materii organicznej jest funkcją nie tylko fitoplanktonu, lecz planktonu w całości.

Ponieważ na 1 mg tlenu wyzwolonego w procesie asymilacji fitoplanktonu potrzeba 3,51 kalorii energii słonecznej, obliczyłem % wykorzystania energii słonecznej przez fitoplankton poszczególnych jezior.

Jednocześnie pobrałem próbki wody batometrem Ruthnera w celu określenia składu gatunkowego fitoplanktonu.

OGÓLNE WIADOMOŚCI DOTYCZĄCE BADANYCH JEZIOR

Szybkość z jaką powstaje nowa materia organiczna jest wypadkową warunków historycznie ukształtowanych w danych zbiorniku, zmian zachodzących w ciągu roku w jeziorze, układu morfometrycznego misy jeziorowej itp. Nie mniejsze znaczenie posiada kształt niecki jeziorowej, spadek dna przybrzeżnego, który ma duży wpływ na ukształtowanie się stratyfikacji termicznej. W jeziorze Narocz mającym mniej więcej okrągły kształt (8 000 ha), kąt spadku dna litoralu jest bardzo mały, to też znaczna część powierzchni jego jest zajęta przez małe głębokości. Taki układ morfometryczny pociąga za sobą prawie całkowite mieszanie się wody jeziora w letnich miesiącach i temperatura dennych warstw (na głęb. 23,8 m t = 19,0°) nie różni się od t° warstw powierzchniowych (21,5°) (Winberg, 1953). O powyższym wspomina również Stangenberg i in. (1953). W zależności od miąższości słupa wody w danym jeziorze biorącego udział w letnim mieszaniu się wody znajduje się zawartość i szybkość obrotu soli mineralnych.

Jeziora badane należą do typu jezior rynnowych polodowcowych do typu 40 wg Hutchinsona (1957) o różnym troficznym potencjonale.

Dane dotyczące powierzchni i głębokości badanych jezior przedstawia tabela 1.

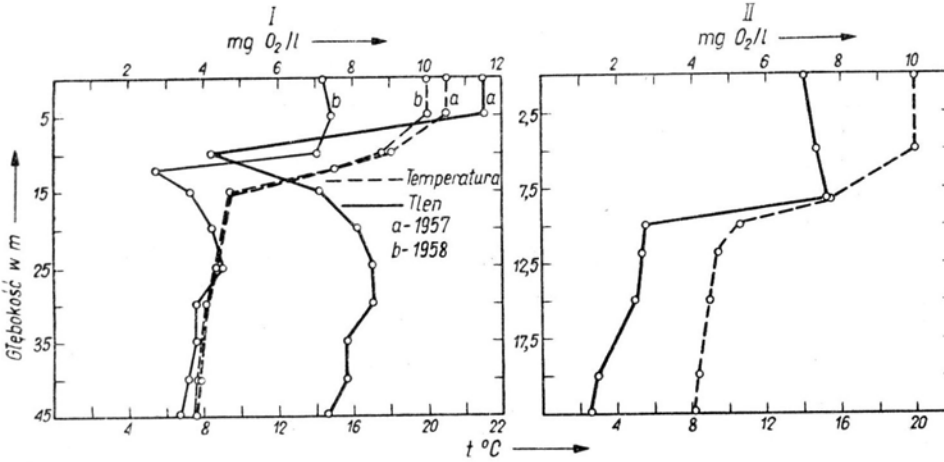
Jezioro Rajgrodzkie składa się z 4 odnóg mających kształt wydłużony. Brzegi są niskie otoczone przeważnie przez pola uprawne.

Tabela 1

Jezioro	Pow. w ha	Głębokość w m		Uwagi
		maks.	średn.	
Rajgrodzkie	1 919,15	51	14	przepływowe jezioro
Białe	146,37	35	15	
Krzywe	88,00	8	5	

Odnogi Stacka i Czarna Wieś — otoczone są lasami przeważnie sosnowymi. Pas oczeretów przybrzeżnych nie jest wszędzie dobrze rozwinięty. Grubość osadu dennego w odległości 300 metrów od brzegu na głębokości 6 m wynosi 1 m. Barwa osadu dennego niebieskoszara, ciemniejąca podczas przechowywania i zawartość materii organicznej w osadzie dennym waha się w granicach od 2,5% do 20% (Czeczuga 1958c).

Stosunki termiczno-tlenowe w Jeziorze Rajgrodzkim w lipcu i sierpniu 1957 i 1958 roku uwidacznia ryc. 1. Z rysunku widzimy, że epilimnion sięga przeciętnie



Ryc. 1. Stosunki termiczno-tlenowe na różnych głębokościach Jeziora Rajgrodzkiego (*I*) i Białego (*II*)
Thermal-oxygen relation in different depths of the Lakes Rajgrodzkie (I) and Białe (II)

do 10 m, metalimnion — 5 m, pozostałą część wypełnia hypolimnion. Charakterystyczna krzywa rozpuszczonego tlenu wykazuje, że minimum tlenowe znajduje się w metalimnionie. Ilość tlenu na głębokości 10 m w sierpniu 1957 r. wynosiła 4,5 mg/l, minimum tlenowe w sierpniu 1958 r. znajdowało się na głębokości 12 m, ilość tlenu na tej głębokości nie przekraczała 2,72 mg/l.

Jezioro Białe ma kształt jajowaty. Brzeg wschodni i zachodni są wysokie, południowy otoczony lasem we wschodniej części olszowym, w zachodniej — sosnowym. Dno w strefie przybrzeżnej opada gwałtownie i w odległości 10 m od brzegu głębo-

kość sięga do 12 m. Pas oczeretów jest wąski. Według analiz 1958 r. (Czeczuga 1959) miąższość osadu dennego wspomnianego jeziora wynosi 1,7 m (na głęb. 6 m). Barwa osadu przeważnie brązowa, tylko 30 cm warstwa zalegająca na dnie pierwotnym posiada barwę niebieskoszarą. Zawartość materii organicznej w osadzie dennym jeziora waha się w granicach od 3,9% w pobliżu właściwego dna, do 21% na głębokości 1,2 m od dna obecnego. Osad denny z powierzchni dna obecnego zawiera 19,4% materii organicznej, co jest związane z procesami zachodzącymi w jeziorze w wyniku powtórnej oligotrofii. W wyniku tych procesów powstały dogodne warunki dla niektórych przedstawicieli fauny reliktowej (Czeczuga 1959). Stosunki termiczno-tlenowe podczas letniej stratyfikacji termicznej uwidacznia ryc. 1. Krzywe termiczne wskazują na małą warstwę epilimnionu (5 m) oraz zarysowujące się maksimum tlenowe w metalimnione. Zawartość tlenu w hypolimnionie gwałtownie spada i przydenne warstwy wody tego jeziora zawierają 1,51 mg O_2/l.

Tabela 2

Przeciętna ilość chlorofilu, skorupiaków i wrotków w warstwie trofogennej badanych jezior

	Jezioro Rajgrodzkie	Jezioro Białe	Jezioro Krzywe
Ilość chlorofilu w mg/l	0,015	0,009	0,177
Ilość skorupiaków w tys./m³	68,350	50,100	91,000
Ilość wrotków w tys./m³	7,800	3,100	23,000

Jezioro Krzywe ma kształt wydłużony, brzegi są niskie, otoczone wysoką i gęstą trzciną. Grubość osadu dennego wynosi 2,8 m. (na głęb. 6 m). Ilość materii organicznej w osadzie dennym waha się od 7,5% do 30%. Latem nie obserwowano termicznej stratyfikacji. Jest to jezioro typu eutroficznego o rozwiniętym fitoplanktonie.

Przeciętną ilość zooplanktonu i chlorofilu badanych jezior ilustruje tabl. 2, a skład gatunkowy fitoplanktonu w okresie badań uwidacznia tabl. 3.

PRODUKCJA PIERWOTNA

Jezioro Rajgrodzkie

O intensywności produkcji pierwotnej w Jeziorze Rajgrodzkim w sierpniu 1957 r. referowałem na IV Zjeździe Hydrobiologów w Krakowie (Czeczuga 1958). Ilość chlorofilu w tym okresie w epilimnionie wahała się w granicach 0,020 mg/l (Czeczuga 1958a). Intensywność asymilacji, głębokość zalegania punktu kompensacyjnego, ilość zużywanego tlenu podczas destrukcji uwidacznia ryc. 2. Z powierzchni jeziora w ciągu doby w sierpniu wyzwala się przeciętnie 0,68 mg O_2/l, co w prze-

Tabela 3

Skład gatunkowy fitoplaktonu warstwy trofogennej badanych jezior

Gatunek	Jezioro Białe	Jezioro Rajgrodzkie	Jezioro Krzywe
Chrysomonadineae			
1. *Dinobryon cylindrica* (Imh.)		×	
Euglenineae			
1. *Euglena* sp.	×		
2. *Phacus longicauda* Ehr.	×		
Cyanophyceae			
1. *Microcystis* sp.	×××		
2. *Chroococcus minutus* Kütz.	×××		
3. *Gleocapsa conglomerata* Kütz.	×	×	
4. *Merismopedis glauca* (Ehr.)	×		
5. *Anabaena spiroides* Klebs.	×		
6. *Oscylatoria planktonica* (Wołosz).			×××
Peridineae			
1. *Peridinium tabulatum* (Ehr.)	×	×××	
2. *Ceratium hirundinella* Schrank	××	×××	××
Diatomaceae			
1. *Fragillaria crotonensis* Ehr.	×	××	
2. *Asterionella formosa* Hass.	××		
3. *Asterionella gracilima* (Hanth.)		×	
4. *Synedra ulna v. donica* Kütz.			×××
5. *Synedra capitata* Ehr.			×
6. *Gyrosigma acuminatum* (Kütz.)	×	×	
7. *Navicula* sp.	×		
8. *Pinnularia gracillima* Greg.	×		
9. *Amphora ovalis* Kütz.	×		
10. *Cymbella affinis* Kütz.		×	×
11. *Cymbella lanceolata* (Ehr.)		×	
12. *Cymbella helvetica* Kütz.	×		×
13. *Cymbella tumida* Breb.			×
14. *Gomphonema constrictum* Ehr.			×
15. *Gomophonema acuminatum* Ehr.			×
16. *Epithemia zebra* (Ehr.)	×		×
17. *Cymatopleura solea* Breb.			×
18. *Surirella elegans* Ehr.	×		
19. *Surirella* sp.			×
20. *Centronella Reicheltii* Voigt			××
Conjugatae			
1. *Staurastrum pseudotetracerum* (Nordst.)	×	×	
2. *Staurastrum tetracerum* Ralfs.			×
3. *Staurastrum polimorphum* Breb.	×		

(d.c. tabl. 3)

Gatunek	Jezioro białe	Jezioro Rajgrodzkie	Jezioro krzywe
Chlorophyceae			
1. *Pediastrum duplex* Meyen		×	
2. *Pediastrum duplex var. reticulatum* Lag.		×	×
3. *Pediastrum duplex var. clathratum* Al. Br.			×
4. *Pediastrum Boryanum* (Turp.)		×	
5. *Tetraedron longispinum* (Perty).			×
6. *Tetraedron hastatum* (Rab.)		×	
7. *Scenedesmus* sp.	×		
8. *Actinastrum Hantzschii* Lag.			×
9. *Selenastrum gracile* Rein.		×	

× — ponad 100 w litrze.
×× — ponad 1000 w litrze.
××× — ponad 10000 w litrze.

liczeniu na ilość zasymilowanej glikozy odpowiada 0,637 mg. Trofogenna warstwa sięgała do 3 m głębokości epilimnionu.

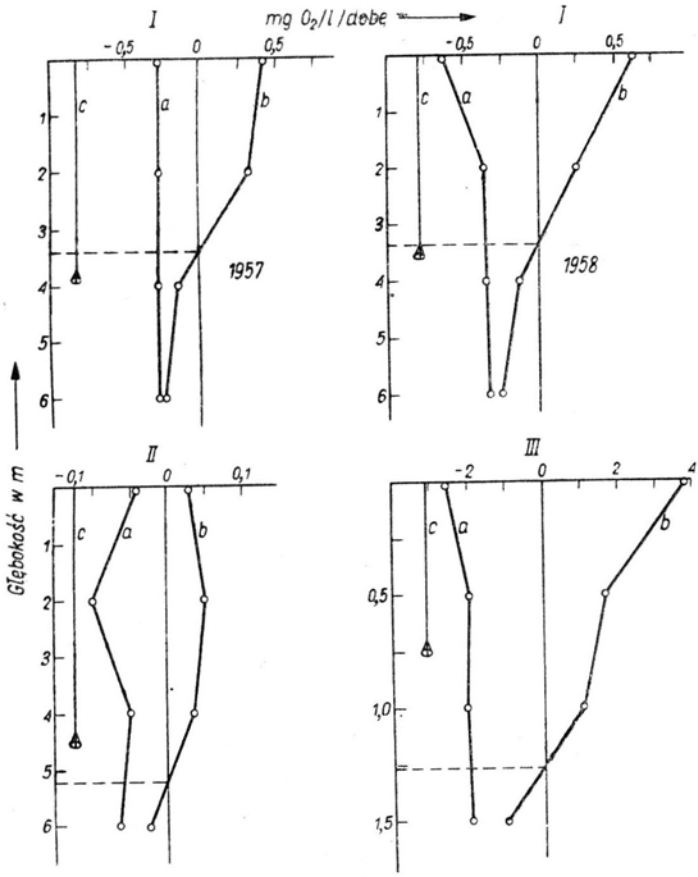
W roku 1958 badano intensywność asymilacji w maju i sierpniu. Ilość chlorofilu w maju wahała się w granicach od 0,018 do 0,023 mg/l co stanowi przeciętnie 0,0205 mg/l. Buteleczki były ustawiane na głębokości 0,5 m i na powierzchni. Wyniki obserwacji są przedstawione w tabeli 4.

Na podstawie przeciętnych danych dotyczących wydzielonego tlenu można obliczyć ilość wytwarzanej glikozy w litrze wody w ciągu doby. W maju ilość wytwarzanej glikozy wynosi: na powierzchni 0,400 mg, na głębokości 0,5 m — 0,391 mg glikozy litr/dobę.

W sierpniu buteleczki były ustawiane na głębokościach: 0 (pow.), 2 m, 4 m, 6 m.

Intensywność asymilacji, destrukcji, oraz właściwą produkcję pierwotną w sierpniu uwidacznia tabela 5. Przeciętne maksymalne wielkości oraz przezroczystość J. Rajgrodzkiego uwidacznia ryc. 2.

Zużycie tlenu na destrukcję na powierzchni waha się od 0,58 do 0,30 mg O_2/l w ciągu doby. Właściwa produkcja w sierpniu wynosiła przeciętnie na powierzchni 0,58, na głębokości 2 m — 0,24, na głębokości 4 m — minus 0,17, oraz na głębokości 6 m — minus 0,24 mg O_2/l/dobę. W dni optymalnej asymilacji wielkości te wynoszą na powierzchni — 0,98, na głębokości 2 m — 0,52, na głębokości 4 m — 0,02 oraz na głębokości 6 m — minus 0,13 mg O_2/l/dobę. Jak wykazano na ryc. 2, trofogenna warstwa wynosi przeciętnie 3,2 m, w warunkach optymalnych powiększa się do 4,3 m.



Ryc. 2. Właściwa produkcja, destrukcja i przezroczystość jeziora Rajgrodzkiego (*I*), Białego (*II*) i Krzywego (*III*)

Pionowa linia oznacza głębokość w metrach, pozioma — różnicę między zawartością tlenu w wodzie buteleczek zaciemnionych (*a*) i nie zaciemnionych (*b*) a początkową ilością tlenu. Za zero (pionowa linia 0) dla każdej głębokości wzięto początkową ilość tlenu. Przestrzeń zawarta między krzywą *a* i krzywą *b* oznacza ogólną fotosyntezę. Linia przerywana (pozioma) oznacza grubość warstwy trofogennej; c — przeciętna przezroczystość krążka Secchi w metrach

Actual production, destruction, and transparency of the Lakes Rajgrodzkie (*I*), Białe (*II*), and Krzywe (*III*).

The vertical line denotes the depth in metres, the horizontal one the difference in the oxygen content in the water in darkened bottles (*a*) and not darkened (*b*), and the original quantity of oxygen. As zero (vertical line 0) for each depth was taken the initial quantity of oxygen. The space contained between curve *a* and curve *b* denotes general photosynthesis. The broken line (horizontal) denotes the thickness of the peat formation layer. c — average transparency of Secchi disc in metres

Jezioro Białe

W jeziorze tym buteleczki ustawiane były na głębokości 10 m w następujących odstępach: na powierzchni, na głębokości 2 m, 4 m i 6 m. Dwudziestoczterogodzinne umieszczenie buteleczek w Jeziorze Białym nie dawało pozytywnych wyników. Proces asymilacji i destrukcji w danym jeziorze przebiega wolno i nie był łatwy do

uchwycenia. W związku z tym buteleczki były ustawiane na okres 48 godz. Otrzymane wyniki dzielono przez 2, by otrzymać natężenie procesów w okresie doby. Powyższy sposób stosuje się we wszystkich jeziorach zbliżonych do typu jezior oligotroficznych.

Tabela 4

Intensywność asymilacji, destrukcji oraz właściwa produkcja w ciągu doby Jeziora Rajgrodzkiego (podane są przeciętne z trzech punktów dla poszczególych dni) (w mg O_2/l)

Data	t^0 wody	Powierzchniae jeziora			Na głębokości 0,5 m			Uwagi
		Ogólna asymilacja	destrukcja	właściwa produkcja	ogólna asymilacja	destrukcja	właściwa produkcja	
16.V.58	10,1	0,81	0,34	0,47	0,83	0,38	0,45	słoneczna pogoda
17.V.58	9,6	0,84	0,59	0,25	0,70	0,42	0,28	pogoda słoneczna lekki wiatr
18.V.58	9,0	0,76	0,21	0,55	0,72	0,25	0,47	,, ,,
20.V.58	9,2	0,84	0,38	0,46	0,69	0,20	0,49	,, ,,
Średnia		0,81	0,38	0,43	0,74	0,31	0,42	

Intensywność asymilacji (asymilacja bezwzględna) uwidacznia tabl. 6. Przezroczystość określaną przy pomocy krążka Secchi ilustruje rycina 2.

Jak wynika z tabeli 6 na powierzchni jeziora ogólna asymilacja wynosi przeciętnie 0,07 mg O_2/l/dobę, destrukcja — 0,04 mg O_2/l/dobę, właściwa produkcja zaś — 0,03 mg O_2/l/dobę. Na głębokości 2 m wielkości te zwiększają się, tj. natężenie asymilacji i destrukcji jest większe w porównaniu do warstwy powierzchniowej. Asymilacja ogólna wynosi przeciętnie 0,15 mg O_2/l/dobę, destrukcja — 0,10 mg O_2/l/dobę, właściwa produkcja — 0,05 mg O_2/l/dobę.

Na głębokości 6 m destrukcja wynosi 0,08 mg O_2/l/dobę, asymilacja ogólna stanowi zaledwie 0,01 mg O_2/l/dobę, przeciętnie bilans właściwej produkcji ujemny —— 0,07 mg O_2/l/dobę.

Jak wykazuje ryc. 2 grubość warstwy trofogennej wynosi przeciętnie 5,5 m.

Jezioro Krzywe

Buteleczki były ustawiane co 0,5 m w następujących głębokościach: na powierzchni 0,5 m, 1 m, 1,5 m.

Jak wynika z tabeli 2 Jezioro Krzywe charakteryzuje się dużą ilością chlorofilu w jednostce objętości wody. Wyniki analiz chlorofilu w 1958 r. są nieco mniejsze od wyników w 1957 r. Ilość chlorofilu w miesiącach letnich 1957 roku wahała się w granicach od 0,154 do 0,430 mg/l (Czeczuga 1958 a).

Intensywność asymilacji, destrukcji oraz właściwą produkcję fitoplanktonu Jeziora Krzywego przedstawia tabela 7.

Tabela 5

Intensywność asymilacji, destrukcji oraz właściwa produkcja w ciągu doby na poszczególnych głębokościach Jeziora Rajgrodzkiego (podane są przeciętne z trzech punktów dla poszczególnych dni) (w mg O_2/l)

Data	Powierzchnia			2 m			4 m			6 m		
	ogólna asymilacja	destrukcja	właściwa produkcja	ogólna asymilacja	destrukcja	właściwa produkcja	ogólna asymilacja	destrukcja	właściwa produkcja	ogólna asymilacja	destrukcja	właściwa produkcja
12.VIII.58	1,36	0,46	0,90	0,62	0,30	0,32	0,06	0,34	—0,28	0,00	0,18	—0,18
13.VIII.58	0,92	0,51	0,41	0,54	0,33	0,21	0,18	0,29	—0,11	0,13	0,37	—0,24
14.VIII.58	0,84	0,52	0,32	0,58	0,46	0,12	0,23	0,46	—0,23			
16.VIII.58	1,28	0,99	0,29	0,09	0,04	0,05	0,05	0,29	—0,24	0,03	0,44	—0,41
18.VIII.58	1,42	0,44	0,98	0,90	0,38	0,52	0,26	0,24	0,02	0,12	0,25	—0,13
	1,164	0,584	0,58	0,546	0,302	0,244	0,156	0,324	—0,17	0,07	0,31	—0,24

Tabela 6

Intensywność asymilacji, destrukcji oraz właściwa produkcja w ciągu doby na poszczególnych głębokościach Jeziora Białego (podane są przeciętne z trzech punktów dla poszczególnych dni) (w mg O_2/l)

Data	Powierzchnia			2 m			4 m			6 m		
	ogólna asymilacja	destrukcja	właściwa produkcja	ogólna asymilacja	destrukcja	właściwa produkcja	ogólna asymilacja	destrukcja	właściwa produkcja	ogólna asymilacja	destrukcja	właściwa produkcja
17.VIII.58	0,10	0,06	0,04	0,08	0,05	0,03	0,06	0,03	0,03	0,01	0,09	—0,08
19.VIII.58	0,08	0,02	0,06	0,23	0,11	0,12	0,14	0,05	0,09	0,00	0,07	—0,07
21.VIII.58	0,04	0,04	0,00	0,15	0,15	0,00	0,06	0,08	0,02	0,02	0,07	—0,05
	0,07	0,04	0,03	0,15	0,10	0,05	0,09	0,05	0,035	0,01	0,08	—0,07

Tabela 7

Intensywność asymilacji, destrukcji oraz właściwa produkcja w przeciągu doby na poszczególnych głębokościach Jeziora Krzywego (podane są przeciętne z trzech punktów dla poszczególnych dni)
(w mg O_2/l)

Data	Powierzchnia			0,5 m			1 m			1,5 m		
	ogólna asymilacja	destrukcja	właściwa produkcja	ogólna asymilacja	destrukcja	właściwa produkcja	ogólna asymilacja	destrukcja	właściwa produkcja	ogólna asymilacja	destrukcja	właściwa produkcja
15.VIII.58	5,23	3,00	2,23	3,10	1,93	1,17	3,25	2,00	1,25	0,99	1,52	—0,53
18.VIII.58	7,10	2,18	4,92	4,08	2,35	1,73	2,70	1,75	0,95	0,90	2,10	—1,20
20.VIII.58	6,89	2,43	4,46	3,57	1,48	2,09	3,35	2,25	1,10	1,18	2,30	—1,12
	6,41	2,54	3,87	3,58	1,92	1,66	3,10	2,00	1,10	1,02	1,97	—0,95

Z tabeli 7 wynika, że intensywność asymilacji fitoplanktonu w Jeziorze Krzywym w porównaniu do zachodzącej w Jeziorze Rajgrodzkim i J. Białym jest największa. Na powierzchni jeziora asymilacja ogólna wynosi przeciętnie 6,41 mg O_2/l/dobę, destrukcja — 2,54 mg O_2/l/dobę, właściwa produkcja 3,87 mg O_2/l/dobę. Na głębokości 0,5 od powierzchni ogólna i właściwa produkcja są prawie o połowę mniejsze niż na powierzchni tego jeziora, na głębokości 1,5 m asymilacja ogólna stanowi 1,02 mg O_2/l/dobę, zaś bilans właściwej produkcji jest ujemny (—0,95 mg O_2/l/dobę).

Przeciętną szybkość asymilacji, destrukcji oraz przezroczystość jeziora Krzywego uwidacznia wykres na ryc. 2.

Przezroczystość mierzona przy pomocy krążka Secchi w okresie badań wynosiła zaledwie 0,75 m, to też i grubość warstwy trofogennej przekracza 1 m.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Produkcja pierwotna, tj. ilość powstającej substancji organicznej w wyniku asymilacji jest uzależniona od czynników ekologicznych środowiska wodnego, które ukształtowało się w procesie historycznym danego jeziora. Ilość produkcji pierwotnej jest jak gdyby wypadkową szeregu czynników o różnym natężeniu, wpływających na asymilację fitoplanktonu.

Intensywność asymilacji fitoplanktonu nie może być uzależniona od jednego czynnika i nie ma podstaw do twierdzenia, że ten lub inny czynnik może posiadać większe lub decydujące znaczenie. Decydujące czynniki są różne dla poszczególnych jezior, a nawet dla tegoż samego jeziora w różnych porach roku, to też uzasadnione są próby niektórych hydrobiologów (Ohle 1955, 1956, Elster 1955, Winberg 1957, 1959) oparcia podstaw klasyfikacji jezior na ilości i szybkości produkowania materii organicznej. Nie zawsze krzywa pionowa tlenu lub indykatory fito - lub zooplanktonu mogą wskazywać na zasoby troficzne danego jeziora. Z podobnymi trudnościami spotkali się Ruttner (1931) i Thienemann (1931) pracując nad hydrobiologią jeziora Tobo (Sumatra), należącego wg klasyfikacji Hutchinsona (1957) do typu 16 jezior powstałych w wyniku wulkano-tektonicznych ruchów skorupy ziemskiej. Na podstawie analiz hydrologicznych Ruttner zaliczył jezioro Tobo do typu jezior oligotroficznych, natomiast Thienemann biorąc pod uwagę wskaźniki biologiczne — do typu jezior eutroficznych. O podobnych trudnościach pisze Greze (1958) badając produkcję jeziora Tajmyr. Na przykładzie Jezior Rajgrodzkich również można zauważyć w.w. sprzeczności.

Ryc. 1 ilustruje przeciętne zawartości tlenu w poszczególnych warstwach Jeziora Rajgrodzkiego i Białego w sierpniu 1958 r.

Na podstawie krzywej zawartości tlenu w wodzie (ryc. 1) Jezioro Białe zaliczyć należy do jezior typu eutroficznego, ponieważ w hypolimnionie istnieje znaczny deficyt tlenowy. W rzeczywistości jednak Jezioro Białe, wg produktywności materii organicznej, przezroczystości, barwy wody, bardzo małej pierwotnej produkcji oraz występowania przedstawicieli fauny reliktowej, zbliżone jest do typu jezior

eligotroficznych. Jezioro Rajgrodzkie mimo znacznej ilości tlenu w hypolimnionie zbliżającego je do typu oligotroficznego jest jeziorem o większej produktywności, a ilość chlorofili w jednostce objętości jest dwa razy większa niż w Jez. Białym Czeczuga 1958a). Jezioro Białe jest zasilane przez wody gruntowe i może tym tłumaczy się, że hypolimnion jego jest ubogi w tlen.

Porównując przeciętną zawartość chlorofilu z maksymalną intensywnością asymilacji widzimy, że Jezioro Krzywe przeciętnie zawiera dziesięciokrotnie większą lość chlorofilu w jednostce objętości wody niż Jez. Rajgrodzkie. Wydawałoby się, że intensywność asymilacji powinna być dziesięciokrotnie większa, tj. wynosić mniej więcej 15 mg O_2/l/dobę. W rzeczywistości ogólna asymilacja Jeziora Krzywego wynosi zaledwie (maksymalna) 7,10 mg O_2/l/dobę. Z powyższego wynika, że nie ma ścisłej zależności między ilością chlorofilu a intensywnością asymilacji.

Tabela 8

Ogólna asymilacja fitoplanktonu badanych jezior w ciągu doby wyrażona w g glikozy, węgla, lub kg kalorii na m² lustra wody

Lp.	Jezioro	Przezroczystość w m.	Ogólna asymilacja fitoplanktonu w g O_2/m^2 dobę	Produkcja glikozy w g/m²/dobę	Produkcja węgla w g/m²/dobę	Kg Kal. energii na m²/dobę	Grubość trofogennej warstwy (maksym.)
1	Białe	4,5	0,64	0,60	0,24	2,25	6
2	Rajgrodzkie	3,5	3,75	3,52	1,41	13,16	4
3	Krzywe	0,75	14,11	13,23	5,29	49,53	1,5

Tabela 8 przedstawia ogólną syntezę materii organicznej przez fitoplankton w m² słupa wody w przeliczeniu na ilość glikozy, węgla oraz kg kalorii. W przeliczeniach korzystałem z współczynników zamieszczonych w pracy Winberga (1959), w której autor przyjmuje, że 1 mg O_2 odpowiada 0,937 mg glikozy, a 1 mg glikozy odpowiada 0,4 mg C. Jak widać z tej tabeli ogólna asymilacja (bez uwzględnienia destrukcji) najmniejsza jest w Jeziorze Białym (0,64), największa w J. Krzywym (14,11 g O_2/m^2/dobę). Produkcja glikozy w Jeziorze Białym wynosi 0,60, w Rajgrodzkim — 3,52 i w Krzywym — 13,23 g/m²/dobę. W przeliczeniu na węgiel przedstawia się następująco: Jezioro Białe — 0,24, Rajgrodzkie — 1,41 oraz Krzywe — 5,29 g C/m²/dobę. Otrzymane wyniki można porównać z danymi Rodhe (cyt. Winberg 1959) dla niektórych jezior Szwecji. W jeziorze Erken 7.VI.1955 roku produkcja C na m²/dobę wynosiła 0,172 g w warunkach miąższości warstwy trofogennej równej 10 m, w jeziorze Gerweln 1.VI.1955 r. produkcja C sięgała 0,926 g/m²/dobę — trofogenna warstwa 6 m.

W innych warunkach nad produkcją pierwotną pracowali Comita i Edmondson (1953). W niedużym jeziorze Imikauk (Alaska), o maksymalnej głębokości 2,7 m i przezroczystości 2—2.5 m, wymienieni autorzy otrzymali przeciętnie w okresie

sierpień — wrzesień 1952 — 0,154 mg O_2/l/dobę, lub 0,75 g O_2/m^2/dobę. Natomiast asymilacja ogólna (maksymalna) oligotroficznego jeziora Bare (Alaska) wg danych Nelson i Edmondson (1955, cyt. Nelson 1958) wahała się w granicach od 0,39 do 0,74 mg O_2/l/dobę.

Steemann-Nielsen (1955 cyt. Winberg, 1958) badał metodą zaciemnionych i nie zaciemnionych buteleczek produkcję pierwotną jeziora Søllerød o powierzchni 15 ha, maksymalnej głębokości 7 m, termoklina zalegała na głębokości 3—4 m. Obserwacje były prowadzone w latach 1943—44, buteleczki były napełniane wodą z powierzchni jeziora i ustawiane w odpowiednich głębokościach. Maksymalna wielkość asymilacji ogólnej odpowiadała 10 g glikozy, tj. 10,7 g O_2/m^2/dobę. W jeziorze Białym (ZSRR) wg Winberga (1934) asymilacja ogólna w sierpniu wynosiła 4,73, destrukcja 3,50, właściwa produkcja — 1,83 g O_2/m^2/dobę. Szyrszow (1938) stwierdza, że w Morzu Karskim w drugiej połowie sierpnia ogólna asymilacja wynosiła 0,018 ml O_2/l/godzinę, zaś w Morzu Syberyjskim w pierwszej połowie września 0,053 ml O_2/l/godzinę. Dobrzanskaja (1954) badając pierwotną produkcję Morza Czarnego metodą zaciemnionych i nie zaciemnionych buteleczek wykazała, że w kwietniu w powierzchniowych warstwach asymilacja ogólna wynosi 0,85, w maju 1,30 i w czerwcu 1,38 ml O_2/l/dobę. Prowse i Talling (1958) badając dynamikę fitoplanktonu Białego Nilu, w którym dominowała *Melosira granulata* i *Anabaena flos-aquae* var. *intermedia* f. *spiroides*, stwierdzili, że w okresie maksymalnego występowania tych glonów (w przybliżeniu 1 mg suchej masy) przeciętna intensywność asymilacji wynosiła 2,2 g węgla /m^2/dobę.

Tabela 9

Stosunek ogólnej asymilacji fitoplanktonu do destrukcji badanych jezior

Lp.	Jezioro	Ogólna asymilacja / /Destrukcja
1	Krzywe	2,52
2	Rajgrodzkie	2,00
3	Białe	1,50

Hogetsu i Ichimura (1954) donoszą, że w eutroficznym jeziorze Suwa (Japonia) o maksymalnej głębokości 6,5 m asymilacja ogólna w ciągu 1949 roku wynosiła 608 g O_2/m^2/rok.

Stosunek ogólnej syntezy masy organicznej do destrukcji jej na powierzchni jezior przedstawia tabela 9. Stosunek ten daje ogólną orientację, jak wielkie są różnice pomiędzy asymilacją a destrukcją. Wskaźnik ten dla Jeziora Krzywego wynosi 2,5, dla Rajgrodzkiego 2,0, dla Białego 1,5, dla Jeziora Narocz 1,6 (wg Winberga 1959). Należy mniemać, pisze Winberg, że głównym producentem materii organicznej w jeziorach o podobnym wskaźniku są prawdopodobnie makrofity, a nie fitoplankton.

Ważnym wskaźnikiem dotyczącym produkcji materii organicznej jest tzw. liczba asymilacyjna wskazująca ilość jednostek wagowych CO_2 pobranego w procesie asymilacji przypadających na jednostkę chlorofilu w ciągu godziny. W 3 rubryce tabeli 10 są podane przeciętne ilości chlorofilu w mg w litrze wody warstwy trofogennej. Jak wynika z 4 rubryki tabl. 10 największą liczbę asymilacyjną ma fitoplankton Jeziora Rajgrodzkiego (10,03), najmniejszą — fitoplankton Jeziora Białego (2,7), J. Krzywego natomiast — 4,99. Przeciętna liczba asymilacyjna dla badanych jezior wynosi 5,9. Podobne wskaźniki otrzymali Manning i Juday (1941) badając intensywność asymilacji i zawartość chlorofilu w fitoplanktonie różniących się pod względem troficzności jezior stanu Wisconsin. Obliczyli oni ilość wytwarzanego tlenu na jednostkę chlorofilu w ciągu godziny. Wskaźnik ten wahał się w granicach od 3,1—13,7 (przeciętnie przyjęto 7). Jeżeli przeciętny wskaźnik 7 pomnożyć przez 1,375 (Winberg 1959), to otrzymamy przeciętną liczbę asymilacyjną dla jezior stanu Wisconsin 9,6. Gessner (1943) podaje, że dla jezior Bawarii liczba asymilacyjna waha się w granicach od 2,6 do 9,0 i wynosi przeciętnie 5,85. Jak widzimy przeciętna liczba asymilacyjna jezior rajgrodzkich jest zbliżona do liczby asymilacyjnej jezior bawarskich.

Tabela 10

Liczby asymilacyjne oraz przyrost suchej masy fitoplanktonu badanych jezior

Lp.	Jezioro	Przeciętna zawartość chlorofilu w mg/l.	$\frac{\text{mg } CO_2}{\text{mg chlor.}}$/godz. (liczba asymilacyjna)	$\frac{\text{mg } CO_2}{\text{mg chlor.}}$/dobę (LAD)	Przyrost suchej masy fitoplanktonu
1	Rajgrodzkie	0,015	10,03	130,39	2,84
2	Krzywe	0,177	4,99	64,87	1,42
3	Białe	0,009	2,70	28,60	0,62
	Średnia	0,068	5,90	74,62	1,63

Interesujące jest porównanie otrzymanego wskaźnika w stosunku do roślinności lądowej, który wg Rabinowitcha (1951) waha się w granicach od 6 do 14. Natomiast dla *Chlorella* wyhodowanej w optymalnych warunkach liczba asymilacyjna sięga nawet do 40 (Tamiya 1957).

Winberg (1959) podaje liczby asymilacyjne dla szeregu jezior, które wynoszą od 2,8 (Miadzioł) do 13,5 (Drywiaty), przeciętnie wskaźnik ten wynosi 7.

Mając liczby asymilacyjne (w ciągu godziny) można obliczyć liczbę asymilacyjną za okres doby (LAD), co pozwoli przy stosowaniu wzoru Winberga (1959)

$$(\text{LAD} \cdot 0{,}7273) \cdot 0{,}03$$

obliczyć w przybliżeniu przyrost suchej masy fitoplanktonu w ciągu doby.

Zakładając, że ilość chlorofilu stanowi 3% suchej masy fitoplanktonu i że asymilacja w ciągu doby w okresie moich badań (sierpień) odbywała się przeciętnie 13 godz. — LAD dla Jezior Rajgrodzkich przedstawione są w 5 rubryce tabeli 10.

LAD (liczba asymilacyjna doby) dla Jeziora Rajgrodzkiego wynosi 130,39, dla Krzywego — 64,87, oraz dla Jeziora Białego — 28,60.

Rubryka 6 tabeli 10 przedstawia przyrost suchej masy w okresie doby w warstwach powierzchniowych poszczególnych jezior (wskaźniki te dla warstwy trofogennej będą nieco mniejsze).

Największy przyrost suchej masy fitoplanktonu odbywa się w Jeziorze Rajgrodzkim. W ciągu doby w sierpniu 2,84 razy zwiększa się produkcja suchej masy fitoplanktonu, czyli produkcja suchej masy w ciągu doby wynosi 284% obecnej w jeziorze suchej masy fitoplanktonu. Dla Jeziora Krzywego wskaźnik ten wynosi 1,42, czyli — 142%, dla Jeziora Białego — 0,62, tj. 62%. W Jeziorze Białym w ciągu doby w wyniku procesu asymilacji przyrasta tylko połowa suchej masy fitoplanktonu obecnego w danej chwili w tym jeziorze.

Tabela 11

Procent wykorzystania energii słonecznej przez fitoplankton jezior w ciągu doby

Lp.	Jezioro	Data obserwacji	Maksymalna produkcja za dobę k. kal./m²	% wykorzystania energii	Autor
1	Białe k. Rajgrodu	15—21.VIII.1958	2,25*	0,09	Czeczuga
2	Rajgrodzkie k. Rajgrodu	15—21.VIII.1958	13,16*	0,46	,,
3	Krzywe k. Rajgrodu	15—21.VIII.1958	49,53*	1,74	,,
4	Czarne (ZSRR)	VI.1937	31,5	0,77	Winberg, 1948
5	Białe (ZSRR)	VIII.1933	16,6	0,55	,,
6	Szczytowo (ZSRR)	7—10.VIII.1937	6,3	0,32	,,
7	Kołomno (ZSRR)	23—27.VIII.1937	4,9	0,17	,,
8	Białe II (ZSRR)	3—6.VIII.1937	1,3	0,04	,,

* Przeciętne wielkości

Między ilością wydzielonego tlenu w procesie asymilacji a ilością związanej energii słonecznej jest ścisła zależność, to też można obliczyć procent wykorzystania energii słonecznej przez fitoplankton w poszczególnych jeziorach. Procent ten w jeziorach rajgrodzkich oraz innych ilustruje tabela 11. W obliczeniach moich przyjąłem wg Kalitina (1935, 1938), że przeciętnie w ciągu doby w sierpniu ogólne nasłonecznienie wynosi 285 g kal/cm² powierzchni. Wykorzystanie energii słonecznej przez fitoplankton Jeziora Krzywego jest przeszło dwukrotnie większe od wskaźników dodanych przez Winberga. Należy zaznaczyć, że w warunkach laboratoryjnych Wassink i in. (1953) hodując kulturę *Chlorella* otrzymali maksymalne wykorzystanie energii świetlnej równe — 23,5% (sztuczne oświetlenie o intensywności 1500—3000 luks.). Natomiast trawa wysiana jednocześnie z założeniem kultury *Chlorella*, na glebie nawożonej, wg obliczeń autorów, dała wskaźnik wykorzystania energii świetlnej równy tylko 2,6%.

Tabela 12

Procent wykorzystania energii słonecznej przez fitoplankton poszczególnych jezior w ciągu roku

Lp.	Zbiornik wodny	Przeciętne nasłonecznienie (roczne) wg kal. cm² powierzchni	% wykorzyst. energii słonecznej w ciągu roku	Autor	Uwagi
1	Jezioro Białe k. Rajgrodu	77 000	0,03	Czeczuga, 1959	
2	Jezioro Rajgrodzkie k. Rajgrodu	77 000	0,18	,,	
3	Jezioro Krzywe k. Rajgrodu	77 000	0,64	,,	
4	Morze Bałtyckie (Helsinger)	70 000	0,065	Nielsen, 1937	wg Winberga, 1958a
5	Morze Bałtyckie (Kattegat)	70 000	0,60	,,	
6	Morze Syberyjskie i Karskie	56 000	0,29—0,35	Szirszow, 1938	
7	Jeziora stanu Wisconsin (USA)	?	0,043—0,38	Manning, 1937	wg Winberga, 1948
8	Jezioro Linsley (USA)	216 000	0,056	Riley, 1940	,,
9	Jezioro Mendota (USA)	119 000	0,27	Juday, 1940	
10	Ocean Atlantycki (zalew Long-Island)	130 000	0,58—0,82	Riley, 1941	
11	Ocean Atlantycki	120 000	0,25—0,38	,,	
12	Jezioro Cedar-Big (USA)	?	0,10	Lindeman, 1942	
13	Jezioro Czarne (ZSRR)	77 000	0,40	Winberg, 1948	
14	Jezioro Białe I (ZSRR)	77 000	0,24	,,	
15	Jezioro Szczytowo (ZSRR)	77 000	0,12	,,	
16	Jezioro Kołomno (ZSRR)	77 000	0,06	,,	
17	Jezioro Białe II (ZSRR)	77 000	0,02	,,	
18	Jezioro w Danii (nawożone cieczą kolektora)	70 000(?)	0,70	Nielsen-Steemann, 1955	wg Winberga, 1958a
19	Jezioro Mendota	?	0,27	Lindeman, 1942	
20	Jezioro Suwa (Japonia)	0,210*	0,22	Hogetsu k.a. Ichimura, 1954	

* h. kal./cm²/min.

Tabela 12 ilustruje procent wykorzystania energii słonecznej przez fitoplankton w okresie rocznym. Za sumę roczną nasłonecznienia przyjąłem wg Kalitina (1935) 77 000 g/kal/cm² powierzchni. Ponieważ maksymalna produkcja tlenu w ciągu doby (lipiec-sierpień) stanowi około 1% ogólnej produkcji rocznej (Winberg 1948, 1959), obliczyłem ilość pochłanianej energii słonecznej w okresie rocznym oraz procent rocznego nasłonecznienia. Z obliczeń tych wynika, że fitoplankton J. Białego wykorzystuje w ciągu roku około 0,03% energii słonecznej, fitoplankton Jeziora Rajgrodzkiego — 0,18%, oraz fitoplankton Jeziora Krzywego — 0,64%. Wykorzystanie energii słonecznej w % przez fitoplankton innych zbiorników wodnych podane jest w tabeli 12, z której też wynika, że wykorzystanie energii słonecznej w ciągu roku waha się w granicach od 0,02% (Jezioro Białe II, ZSRR, Winberg

1948), do 0,82% (Zalew Long Island oceanu Atlantyckiego, Riley 1941). Dane zawarte w tabeli 12 wskazują, że wykorzystanie energii słonecznej w ciągu roku nie przekracza jednego procenta sumy nasłonecznienia przypadającego na jednostkę powierzchni lustra wody.

Na podstawie produkcji pierwotnej jeziora rajgrodzkie zaliczyć można wg Winberga (1959) do następujących grup: Jezioro Krzywe do grupy pierwszej jezior, których asymilacja ogólna w połowie lata waha się w granicach od 5 do 10 mg O_2/l/dobę. Są to wysoko eutrofne jeziora i najwięcej produktywne.

Jezioro Rajgrodzkie zaliczyć można do drugiej grupy jezior, których ogólna asymilacja wynosi przeciętnie w połowie lata 1—5 mg O_2/l/dobę.

Według Winberga są to jeziora stosunkowo płytkie w zasadzie homotermiczne, których charakterystyczną cechą jest gwałtowny spadek asymilacji wraz z głębokością. Natomiast Jezioro Rajgrodzkie jest jeziorem głębokim (51 m) o wyraźnym uwarstwieniu termicznym. Ogólna asymilacja na powierzchni jeziora przeciętnie wynosi 1,164 mg O_2/l/dobę (maksymalna 1,42). Jezioro Białe natomiast należy zaliczyć do grupy trzeciej odnoszącej się do jezior mezotroficznych i „wtórnie oligotroficznych" z dużą przezroczystością (3—6 m i więcej). Ogólna asymilacja w rzeczywistości mniejsza od 0,5 w niektórych wypadkach sięga 1,0 mg O_2/l/dobę.

Natomiast wg tempa procesów produkcji pierwotnej (Primäraufbau) i destrukcji (Mineralisation), jak to uważa Ohle (1955), Jezioro Białe zalicza się do typu o małej (schwach) intensywności produkcji i destrukcji (I grupa — jeziora oligotroficzne).

Jezioro Rajgrodzkie — produkcja pierwotna zachodzi w szybkim tempie (stark), a destrukcja w powolnym tempie (schwach). Wg Ohle są to jeziora przejściowe między oligotroficznym typem a eutroficznym (III grupa). Do tejże grupy trzeba byłoby według Ohle zaliczyć i Jez. Krzywe. Porównując jednak ogólną asymilację, destrukcję oraz stosunek ogólnej asymilacji do destrukcji, widzimy, że Jez. Krzywe nie układa się w typologię jezior wg Ohle. W tym wypadku lepiej odpowiada klasyfikacja wg Winberga opierająca się na wielkości ogólnej asymilacji. Tylko na podstawie wielkości produkcji pierwotnej można rozpracować klasyfikację jezior. Znając intensywność zachodzących procesów, w wyniku których powstaje materia organiczna, można sądzić o warunkach panujących w danym zbiorniku i o produktywności danego jeziora.

WNIOSKI

1. Jezioro Rajgrodzkie należące do typu jezior mezotroficznych charakteryzuje się małą produkcją pierwotną. W maju na powierzchni jeziora produkcja pierwotna wynosiła 0,84 mg O_2/l/dobę, w sierpniu 1,42 mg O_2/l/dobę. Warstwa trofogenna nie przekracza 4 m.

2. Jezioro Białe zbliżone jest do typu jezior oligotroficznych. Produkcja pierwotna waha się w granicach 0,23—0,10 mg O_2/l/dobę. Warstwa trofogenna wynosi w sierpniu 6 m.

3. W eutroficznym jeziorze Krzywym produkcja pierwotna sięga 7,10 mg O_2/l/dobę, warstwa trofogenna 1 m.

4. W słupie wody o powierzchni m^2 w miesiącach letnich produkcja węgla w ciągu doby wynosi: dla Jeziora Białego — 0,24, Rajgrodzkiego — 1,41 i dla Jeziora Krzywego — 5,29 mg.

5. W ciągu doby w sierpniu w Jeziorze Rajgrodzkim przyrost suchej masy fitoplanktonu stanowi 284%, w Krzywym 142% i w Jeziorze Białym — 62%.

6. Najwięcej energii słonecznej w ciągu roku wykorzystuje fitoplankton Jeziora Krzywego — 0,64%, najmniej J. Białego 0,03%. Fitoplankton Jeziora Rajgrodzkiego wykorzystuje 0,18% energii słonecznej.

Zakład Biologii Akademii Medycznej
w Białymstoku

SUMMARY

The primary production of the Rajgród Lakes, Rajgrodzkie, Białe and Krzywe was investigated using the method of darkened and not darkened bottles (Winberg 1934). The investigation was carried out August 1957, and in May and August 1958.

It can be seen from the included tables and graphs that the Rajgród Lakes differ in primary production:

1. The Białe Lake with an area of 164.37 ha, maximum depth 35 m, is similar to the oligotrophic type of lake. The transparency measured with the Secchi disc was in August. 4.5 m. In the phytoplankton of this lake during the investigation the following species predominated: *Chroococcus minutus* (Kütz), *Microcystis* sp., *Asterionella formosa* Hassal, and *Ceratium hirundinella* Schrank. The amount of chlorophyll in the layer of peat formation was on the average 0.009 mg/l. Primary production in August amounted to 0.23—0.10 mg O_2/l per 24 hrs (maximum).

The layer of peat formation reached a depth of 6 m. In the column of water with a sufrace of 1 m^2 total assimilation was 0,64 g O_2/per 24 hrs, or 0,60 g/m^2/per 24 hrs/glucose, or 0,24 g/C/m^2/ 24 hrs or 2.25 kg cal/1 m^2/per 24 hrs. The assimilation figure is 2.7. The increase of dry mass of phytoplankton during 24 hours (August) was 0.62%. Phytoplankton of the Białe Lake used 0.03% of solar energy during a year.

2. The Rajgrodzkie Lake (area 1919 ha, maximum depth 51 m) is of the mesotrophic type. Primary production in May amounted to 0,84 mg O_2/l/per 24 hrs (surface) in August 1,42 mg O_2/l/24 hrs. The peat formation layer did not exceed 4 m. In phytoplankton of the Rajgrodzkie Lake predominated (August): *Ceratium hirundinella* Schrank, *Peridinium tabulatum* (Schr.), and *Fragilaria crotonensis* Nitton. The amount of chlorophyll in the peat formation layer oscillated in the range from 0.020 mg/l (in May) to 0.015 mg/l (in August). Transparency — 3.5 m. In the column of water with a surface of 1 m^2 general assimilation during 24 hours amounted to 3.75 g O_2/l in the summer months: that is to say 3.52 g/l m^2/per 24 hrs of glucose or 1.41 g/l m^2per 24 hrs of carbon, or 13.16 kg cal. of energy (m^2) per 24 hrs. The assimilation figure was 10.03. The increase of dry mass of phytoplankton during 24 hours was 284%. Phytoplankton of the lake used 0.18% of solar energy during a year.

3. The Krzywe Lake (area 88 ha and maximum depth 8 m; average 5 m) is of the eutrophic type. The transparency measured with the Secchi disc was 0.75 m in August. In phytoplankton in that period predominated: *Oscillatoria planktonica* Wołoszcz., *Synedra ulna* var. *donica* Kütz, *Ceratium hirundinella* Schrank and *Centronella Reichelti* Voigt. The amount of chlorophyll was on the average 0.177 mg/l. Primary production in August reached 7.10 mg O_2/l/per 24 hrs. Peat formation layer — 1.2 m. In the column of water with a surface of 1 m^2 general assimilation was 14.11 g O_2/per 24 hrs in August, that is 13.23 g/1 m^2/per 24 hrs. of glucose, or 5.29 g C/1 m^2/per 24 hrs or 49,53 kg cal/m^2/24 hrs. Assimilation figure was 4.99. The increase of dry mass of phytoplankton during 24 hrs (August) was 142%. The phytoplankton of the Krzywe Lake used 0.64% of solar energy during a year.

4. Average assimilation figure for the investigated lakes was 5.9.

5. The basis for classification of the lakes should in the author's opinion be the amount of primary production, and especially the amount of actual production of phytoplankton in the lake.

LITERATURA

Biessiemianowa N. P., 1957, O fotosintiezie niekotorych widow massowych form diatomowych wodoroślej Czornogo moria, Tr. Siewastopol. bioł. st. 9: 20—38.

Blinks L. R., 1955, Photosynthesis and productivity of littoral marine algae, J. Marine Res. 14 (4): 363—373.

Charkiewicz N. S., 1953, Usłowija razwitija fitopłanktona w wodojomach bogatych guminowymi wieszczestwami, Awtorief, kand. bioł. nauk. s. 13.

Comita G. W., Edmondson W. T., 1953, Same aspects of the limnology of an Arctic lake, Stanford Univ. Pub. Univ. Ser. Biol. Sci. 11: 7—13.

Cushing D. H., 1957, Production of carbon in the sea, Nature (Lond) 179 (4565): 876.

Czeczuga B., 1957, Wpływ związków humusowych na zooplankton, Roczniki Akad. Medycz. w Białymstoku, Rok. III: 85—126.

Czeczuga B., 1958, Zawartość chlorofilu w Jeziorach Rajgrodzkich, IV Zjazd Hydrobiologów Polskich, 24—27.IX.58 r., Streszczenia referatów: 88—90.

Czeczuga B., 1958a, Badania ilości chlorofilu w fitoplanktonie Jezior Rajgrodzkich, Acta Soc. Bot. Pol., 27 (4): 541—561.

Czeczuga B., 1959, Zawartość chlorofilu w osadach dennych Jezior Rajgrodzkich, Acta Exp. Biolog. (w druku)

Czeczuga B., 1959, Skorupiaki reliktowe w Jeziorach Rajgrodzkich, Ekologia Polska, ser. B. 5 (2):169—179.

Dobrżanskaja M. A., 1954, K woprosu o produkcji fitopłanktona w Czornom morie po dannym fotosintieza. I. Intensiwnost fotosintieza w zawisimosti ot wremieni goda, Tr. Siewastopolskoj biołog. stancji 8: 303—314.

Doty M. S., Oguri M., 1956. The island mass effect, J. conseil perman. internat. explorat. 22 (10): 33—37.

Edmonson W. T., 1956, The relation of photosynthesis by phytoplankton to light in lakes, Ecology 37 (1): 161—174.

Elster Hans-Joachim, 1955, Limnologische Untersuchungen im Hypolimnion verschiedener Seetypen, Publ. Union internat. Sci. biol. B, 19: 3—119.

Frey D. G. and Stahl J. B., 1958, Measurements of primary production on Southamton Island in the Canadian Arctic, Limnol. a. Oceanogr. 3 (2): 215—221.

Gessner F., 1943, Die assimilatorische Leistung des Phytoplanktons, bezogen auf seinen Chlorophyllgehalt, Z. Bot. 38: 414—424.

Gessner F., 1949, Der Chlorophyllgehalt im See und seine photosynthetische Valenz als geophysikalisches Problem, Schweiz. Zeit. Hydrol. 11: 378—410.

Gessner F., 1953, Die Limnologie des Naturschutzgebits secon, Arch. Hydrob. 47: 553—624.

Greze W. N., 1957, Osnownyje czerty gidrobiologii oziera Tajmyr, Tr. Wsiesojuzn. Gidrobiołog. Obszcz. 8: 183—218.

Hogetsu Kinji and Ichimura Schun-ei, 1954, Studies on the biological production of lake Suwa. VI. The ecological studies on the production of phytoplankton, Japan. J. Bot. 14 (2): 280—303

Hutchinson E., 1957, A Treatise on Limnology. Vol. I — Geography, Physics and Chemistry, New York, John Wiley a. Sons, inc. p. 1015.

Ichimura, Schun-ei, 1956a, On the Standing Crop and Production Structure of Phytoplankton Community in some Lakes in Central Japan., Bot. Mag. Tokyo. 69 (811): 7-16.

Ichimura Schun-ei, 1956b, On the ecological meaning of transparency for the production of matter in phytoplankton community of lake, Bot. Mag. 69 (815): 219—226.

Iwlew W. S. i Mucharewskaja M. J., 1940, Wlijanije łunnogo swieta na fotosintiez presnowodnych wodoroślej, Dokł. A N ZSRR 86 (3): 607—609.

Jackson D.F. and Mc Fadden J., 1954, Phytoplankton photosynthesis in Sanctuary Lake, Pymatuning Reservoir, Ecology 35:1—4.

Juday Ch., 1940, The annual energy budget of on inland lake, Ecology 21:438—451

Kalitin N. N., 1935, Sołniecznaja radiacja, Priroda 7: 1—9.

Kalitin N. N., 1938, Aktinomietrija, Moskwa, 253.

Koblenc-Miszkie O. J., 1957, O produkcji fitoplanktona w siewiero-zapadnoj czasti Tichogo okieana wiesnoj 1955 g., Dokł. A. N. ZSRR 116 (6): 1029—1032.

Koźmiński Z., 1938, O rozmieszczeniu chlorofilu w niektórych jeziorach stanu Wisconsin w Ameryce Północnej, Arch. Hydrobiol. i Ryb. 11 (1—2): 120—163.

Levring T., Fish G. R., 1956, The penetration of light in some tropical east african waters. Oikos. 7 (1): 98—109.

Lindeman R. L., 1942, The trophic-dynamic aspect of ecology, Ecology 23: 399—418.

Manning W. M., Juday Ch. and Wolf M., 1938, Photosynthesis of aquatic plants at different depths in Trout Lake Wisconsin, Tr. Wisc. Acad. Sci. Arts a. Let. 31.

Manning W. M., Juday R. E., 1941, The chlorophyll content and productivity of some lakes in northeastern Wisconsin, Tr. Wisc. Ac. Sci. 33: 363—392.

Marshall N., 1956, Chlorophyll a in the phytoplankton in coastal waters, J. Marine Res., 15 (1): 14—32.

Mc Quate A. G., 1956, Photosynthesis and respiration of the phytoplankton in Sandusky Bay, Ecology, 37, 834—839.

Müller H., 1957, Untersuchungen der Sauerstoffverhältnisse unter Eis, Z. f. Fischerei, 6 N. F., 1—7: 315—322.

Nelson P. R., 1958, Relationship between Rate of Photosynthesis and Growth of Juvenile Red Salmon, Science 128 (3317): 205—206.

Odum H. T., 1956, Primary production in flowing waters, Limnol. a. Oceanogr. 1: 102—117.

Ohle W., 1955, Beiträge zur Produktionsbiologie der Gewässer, Arch. Hydrob. Suppl. 22 (3/4): 456—479.

Ohle W., 1956, Bioactivity, Production and Energy Utilization of Lakes, Limnology a. Oceanograph. 1 (3): 139—149.

Prowse G. A., and Talling J. F., 1958, The seasonal growth and succession of plankton algae in the White Nile, Limnol, a. Oceanogr. 3 (2): 222—238.

Rabinowitch E. J., 1951, Photosynthesis, Interscience, New York. vol. II. pt. 1, p. 898.

Riley G. A., 1939, Plankton studies II. The western North Atlantic, May-June, J. Mar. Res. 2: 145—162.

Riley G. A., 1941, Plankton Studies. III. Long Island Sound, Bull. Bingham Oceanogr. Coll. 7 (3): 1—93.

Riley G. A., 1941a, Plankton Studies. IV. Georges Bank, Bull. Bingham Oceanogr. Coll. 7 (4): 1—73.

Rodhe W., 1956, Primary production and lake typology, Tezy k XIII kongr. Mieżdunar. obied. Limmolog. w Chielsinkach.

Ruttner F., 1931, Die Schichtung in tropischen Seen, Verh. Int. Verein. teoret. u. angew. Limnol. 5: 44—67.

Ryther J. H., 1956, Photosynthesis in the Ocean as a Function of Light Intensity, Limnolog. a. Oceang. 1 (1): 61—70.

Ryther J. H., 1956a, The Measurement of Primary Production, Limnolog. a. Oceanogr. 1 (2): 72—84.

Ryther J. H., 1956b, Interrelation between Photosynthesis and Respiration in the *Marine Flagellate, Dunaliella Euchlora*,, Nature 178: 861—862.

Ryther J. H., and Yentsch C. S., 1957, The Estimation of Phytoplankton Produktion in the Ocean from Chlorophyll and Light Data, Limnol. a. Oceanogr. 2 (3): 281—286.

Sorokin J. I., 1956, O primienienii radioaktiwnogo ugleroda C^{14} dla izuczenija pierwicznoj produkcji wodojomow. Tr. Wsies. hidrobiołog. o-wa, 7: 271—286.

Stangenberg M. i Stangenberg K., 1953, Jezioro oligotroficzne bez stratyfikac jitermicznej w lecie, Kosmos s. A 66 (4): 601—615.

Steemann Nielsen E., 1952, The use of radioactive carbon (C^{14}) for measuring organic production in the sea, J. Cons. inter. Explor. Mer. 18: 117—140.

Steemann Nielsen E., 1954, On organic production in the oceans, J. Consinter Explor. Mer. 19: 309—328.

Steemann Nielsen E., 1955, Production of organic matter in the oceans, J. Mar. Res. 14: 374—386.

Steemann Nielsen E., 1957, The Chlorophyll Content and the Light Utilization in Communities of Plankton Algae and Terrestrial Higher Plants, Physiologia Plantarum 10: 1009—1021.

Suszczenia L. M., 1958, Koliczestwiennyje isledowanija troficzeskich wzaimootnoszenij presnowodnogo zoo- i fitopłanktona, Awtoref. dissiert., Mińsk, s. 16.

Szczerbakow A. P., 1953, Produkcja organiczeskogo wieszczestwa fitopłanktona w Głubokom ozierie, Tr. Wsiesojuzn. Gidrobiołog. Obszczestwa 5: 224—253.

Szirszow P. P., 1938, Opyt opredielenija produktiwnosti polarnych morej po fotosintiezu, Nauczn. rezultaty rabot ekspiedicji na „Czeluskinie" i w Łagierie Szmidta 1: 237—247.

Talling J. F., 1955, The Relative Growth Rates of Three Plankton Diatoms in Relation to Underwater Radiation and Temperature, Annals of Botany N. S. 19(75): 329—341.

Talling J. F., 1957, Photosynthetic characteristics of some freshwater plankton Diatoms in relation to underwater radiation, The New Phytologist 56: 29—50.

Talling J. F., 1957a, The Phytoplankton population as a compound photosynthetic system, The New Phytologist 56: 133—149.

Tamiya H., 1957, Mass Culture of Algae, Ann. Rev. of Plant. Phys. 8: 309.

Thienemann A., 1931, Tropische Seen und Seetypenlehre, Arch. Hydrobiol., Suppl. 9: 205—231.

Verduin J., 1952, Photosynthesis and growth rates of two diatom communities in western Lake Erie, Ecology 33: 163—169.

Verduin J., 1954, Phytoplankton and turbidity in western Lake Erie, Ecology 35: 550—561.

Verduin J., 1956, Energy fixation and utilization by natural communities in western Lake Erie, Ecology 37: 40—50.

Verduin J., 1956a, Primary Production in Lakes, Limn. a. Oceanogr. 1 (2): 85—91.

Wassink E. C., Kok B., Oorschott J. L., 1953, The efficiency of *Chlorella* culture as compared with higher plants, Algal culture from laboratory to pilot plant, John Burlew (ed.), 1935, Cornegie inst. of Washington publ., N 600, IX + 357, Washington, p. 55—62.

Winberg G. G., 1934, Opyt izuczenija fotosintieza i dychanija w wodnoj masie oziera. K woprosu o bałansie organiczeskogo wieszczestwa. Soobszczenije I, Tr. Limnolog. st. w Kosinie 18: 5—24.

Winberg G. G., 1936, Niekotoryje obszczyje woprosy produktiwnosti ozior, Zoołog. żurn. 15: 587—603.

Winberg G. G., 1948, Effiektiwnost' utilizacji sołniecznoj radiacji płanktonom, Priroda 12: 29—35.

Winberg G. G., 1953, Materiały k hidrochemiczeskoj charaktieristikie ozior Naroczańskoj grupy, Ucz. zap. B.G.U. wyp. 17. ser. biołog. 11—19.

Winberg G. G., 1956, Pierwicznaja produktiwnost' płanktona, Żurn. Obszczej biołogii 17 (5): 364—376.

Winberg G. G., 1957, Znaczenije nowych mietodow limnołogiczeskogo issledowanija dla razrabotki tipołogii ozier, Piataja Nauczn. Konf. po izucz. Wnutr. wodojom. Pribałtiki (16—20 apriela 1957), Tezisy dokładow: 6—9.

Winberg G. G., 1958, Quelques questions concernant les methodes de l'investigation de la production primaire du plancton, basée sur des travaux exécutés en URSS, Rapp. et Proc. Verb. Cons. Internat. Explor. de la Mer 144: 65—69.

Winberg G. G., 1959, Pierwicznaja produkcja wodojomow, Minsk, S. 350. Izd. A. N. BSSR.

Winberg G. G., Jarowicyna Ł. J., 1939, Sutocznyje kolebanija rastworiennogo kisłoroda kak mietod izmierienija wieliczyny pierwicznoj produkcji wodojomow, Tr. Limnolog. st. w Kosinie 22: 128—153.

Winberg G. G., i Siwko T. N., 1953a, Opredielenije sodierżanija chłorofiła w płanktonie, Izwiest. Akad. Nauk BSSR 3: 61—74.

Wood E. J. Ferguson, 1956, Considerations on productivity, Jour. Conseil Perm. Internatl. Explor. Mer. 21 (3): 280—283.

Wotincew K. K., 1952, Eniergija fotosintieza i siezonnyje izmienienija biomasy *Melosira baicalensis* Visl., Dokł. AN ZSRR. 86 (3): 607—609.

Wotincew K. K., 1953, Sutocznyj chod kisłoroda i pierwicznoj produkcji w wierchniom słoje oz. Bajkał, Dokł. A.N. ZSRR 88 (1): 149—151.

Wotincew K. K., i Samarina A. W., 1957, Kisłorodnyj reżim oziera Bajkał, Tr. Wsiesojuzn. Gidrobiołog. obszcz. 7: 288—304.

Yentsch C. S. a. Ryther J. H., 1957, Short-Term Variations in Phytoplankton Chlorophyll and Their Significance, Limnolog. a. Oceanogr. 2 (2): 140—142.