Badania ilości chlorofilu w fitoplanktonie Jezior Rajgrodzkich

*Researches on the chlorophyll content in the phytoplankton of the lakes
of Rajgród*

B. CZECZUGA

WSTĘP

Poznanie zawartości chlorofilu w fitoplanktonie posiada duże znaczenie, bowiem na tej podstawie można obliczyć ogólną ilość rozwijającego się w wodach fitoplanktonu wyrażając go nie w jednostkach względnych, lecz w absolutnych, wagowych (Winberg 1953).

Również ilość chlorofilu zawartego w fitoplanktonie ma ściśle powiązanie z szybkością powstawania materii organicznej w procesie asymilacji.

Średnia zawartość chlorofilu w jeziorach w okresie letnim, jak stwierdził Koźmiński (1938), wiąże się ściśle z wytwarzaniem materii organicznej i pozwala na określenie ilości i znaczenia fitoplanktonu dla obliczenia produktywności jezior i umożliwia ocenę danego zbiornika z punktu widzenia jego troficzności (Winberg 1957).

Metoda oznaczania chlorofilu w fitoplanktonie została wprowadzona do badań hydrobiologicznych jeszcze w 1930 r. przez Krepsa i Wierzbicką. Wymienieni autorzy badali ilość chlorofilu w morzu Berensa oznaczając go metodą spektrokolorymetryczną i stosując do ekstrakcji etanol. Nieco później metodę oznaczania chlorofilu wg Krepsa zastosował Szirszow (1937, 1938, 1938a) badając fitoplankton i zawartość w nim chlorofilu w morzach północnych ZSRR. Harvey (1934) w oznaczeniach ilości chlorofilu uprościł metodę Krepsa modyfikując metodę kolorymetryczną i określał ilość chlorofilu w umówionych jednostkach, znanych w literaturze jako „jednostki Harveya”. Za jednostkę Harveya przyjmuje się ilość chlorofilu w ekstrakcie acetonowym, która odpowiada barwie 1 ml standardowego roztworu zawierającego 430 mg/l $\text{Ni SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ i 25 mg/l K_2CrO_4 .

Wymienieni autorzy oznaczali chlorofil w fitoplanktonie pobranym siatką planktonową. Riley (1941) badając fitoplankton Oceanu Atlantyckiego doszedł do wniosku, że gęste sączki papierowe zatrzymują 7 razy więcej chlorofilu niż najgęstsze siatki planktonowe.

Koźmiński (1938) i Riley (1938) stosując metodę Harveya spotkali się z trudnością wynikłą w związku z obecnością żółtych pigmentów w ekstrakcie chlorofilowym, toteż — porównując ze standardowym roztworem mającym barwę nieco inną — należało dostosować ją do tego lub innego standardu, co dawało wyniki większe lub mniejsze niż w rzeczywistości. Koźmiński (1938) badając ilość chlorofilu w jeziorach wiskonsińskich (USA) zastosował metodę fotometryczną. Z pobranej wody z jeziora oddzielał glony stosując super-wirówkę dającą około 30 000 obrotów na minutę. Według obliczeń wymienionego autora, w jeziorach oligotroficznych w 1 m³ wody występują zaledwie setne części grama chlorofilu.

Riley (1938) modyfikuje metodę Harveya stosując ją do oznaczania chlorofilu w fitoplanktonie słodkowodnym. Oddzielał on żółte pigmenty z ekstraktu chlorofilu przez zmydlanie chlorofilu rozpuszczonego w eterze i porównywał ze standardem Harveya. Modyfikacja Riley'a zastosowana na jeziorze Linsli nie była przez badaczy wykorzystana. Riley uważa, że jednostka Harveya odpowiada 0,88 µg chlorofilu w fitoplanktonie. W późniejszej pracy (Riley 1941) przyjmuje już tylko 0,26 µg jako odpowiednik jednostki Harveya.

Krey (1939) oznaczając metodą fotometryczną ilość chlorofilu w wodzie pobranej z zatoki „Kieler“ (M. Bałtyckie) również stosował sączki, następnie ekstrahował go metanolem i do oznaczania ilości chlorofilu stosował fotometr Pulfricha z filtrem S 66,6 (długość fali 660 mµ). Krey stwierdza, że w związku z rozkładem pigmentów w wyciągu w warunkach jaskrawego światła, ekstrakcję należy przeprowadzać w ciemności.

Manning i Juday (1941) badali ilość chlorofilu oraz przenikanie światła do odpowiedniej głębokości i uzależnioną od tego asymilację. Wykazali oni pełną zależność natężenia asymilacji od ilości przenikającego światła. Chlorofil oznaczali przez odwirowanie odpowiedniej ilości wody na superwirówce, ekstrakcję przeprowadzali w 80% acetonie. Badane w ten sposób wody ubogich jezior zawierały małą ilość chlorofilu (setne części grama na 1 m² słupa powierzchni jeziora).

Gessner (1943, 1944, 1948, 1949 i 1953) badał ilość chlorofilu w jeziorach Bawarii i wykazał, że ilość jego w jeziorach nie przekracza setnych części grama na m² słupa górnych warstw jeziora. Takiego rzędu wielkości chlorofilu zawierają saskie jeziora badane przez Handke (1941).

Analizą ilościową fitoplanktonu metodą chlorofilową zajmowali się Gardiner (1943) i Tucker (1949).

Godniew i współpracownicy (1950) pierwsi zastosowali sączki membranowe w celu odsączenia fitoplanktonu z wody jeziora. Wodę pobraną z odpowiedniej głębokości p. Narocz przy pomocy batometru Ruthnera odsączano na miejscu przez sączek membranowy nr 0 przy pomocy pompy próżniowej. Sączek ze znajdującym się na nim fitoplanktonem suszono na powietrzu i, do czasu oznaczania chlorofilu, przechowywano w ciemności. Przed oznaczaniem w pracowni sączek zmoczono kilkoma kroplami destylowanej wody i rozcierano z piaskiem kwarcowym w moździerzu dodając 2—3 ml 86% etanolu. Otrzymaną zawiesinę sączono przez szklany filtr nr 4. Ilość chlorofilu oznaczano fotoelektrokolorymetrem systemu Lange. Oznaczanie chlorofilu wymienioną metodą nastęrcza duże trudności, bowiem podczas sączenia przez szklany filtr rozarty w moździerzu sączek membranowy z zawartością zbija się w lepłą masę utrudniając sączenie. Ponadto metoda ta nie gwarantuje pełnej ekstrakcji chlorofilu, zwłaszcza gdy oznaczanie wykonywane jest po pewnym czasie. Metodę wymienioną udoskonalili Winberg i Siwko (1953). Wodę pobraną z jeziora sączono przez sączek membranowy (również nr 0) pokryty warstwą tłuczonego szkła, w celu ułatwienia zmywania zatrzymanego na sączku fitoplanktonu. Sączek suszono w ciemności, ekstrakcję przeprowadzano w laboratorium stosując metanol i podgrzewanie próbówki w gorącej wodzie w ciągu 1 minuty, wirowano na wirówce o 6 000 obrotach na minutę i oznaczano przy pomocy fotometru Pulfricha. Wymienieni autorzy stwierdzili, że przechowywanie wysuszonych sączków z fitoplanktonem w ciemności w ciągu miesiąca nie wywołuje zmniejszenia ilości chlorofilu. Stwierdzenie powyższego posiada wielkie znaczenie dla prac polowych, umożliwia bowiem zebranie materiału w terenie i późniejsze oznaczanie go w laboratorium. Wymienioną metodę stosowałem pracując na Jeziorach Rajgrodzkich.

Creitz i Richards (1955) stosując sączki membranowe typu „Millipore“ wykazali, że sączenie przez nie gwarantuje większą dokładność niż wirowanie nawet na superwirówkach. Również stwierdzają oni, że fitoplankton na sączku można przechowywać w suchym stanie w ciemności i próżni do 3 tygodni bez strat.

Hogestu i Ichimura (1954) oraz Kurasawa i Shiraiishi (1955) badali dynamikę rozwoju fitoplanktonu w jeziorze Suwa (Japonia) przyjmując ilość chlorofilu jako wskaźnik ilości fitoplanktonu i przeliczając go na suchą masę. Ichimura (1956) oznaczał biomasę oraz produktywność fitoplanktonu również metodą ekstrakcji chlorofilu w jeziorach centralnej Japonii. Comita (1956) badając zasoby pokar-

more *Limnocalanus johanseni* oraz stosunek zoo- i fitoplanktonu również stosował metodę chlorofilową jako wskaźnik rozwoju fitoplanktonu.

Biomasę fitoplanktonu kanału La Manche metodą chlorofilową oznaczają Jenkins (1955).

Richards i Thompson (1952) opracowali szczególną pół-mikrometodę oznaczania zawartości pigmentów w planktonie. Autorzy ci w ekstrakcie 90% acetonu oznaczali chlorofil *a* przy długości fal 665 m μ , *b* — 645 m μ i chlorofil *c* przy — 630 m μ , a przy długości fali 480 m μ i 510 m μ karotenoidy zwierzęce i roślinne.

Duxbury i Yentsch (1956) dla skrócenia czasu przy oznaczaniu chlorofilu metodą Richardsa i Thompsona (1952) proponują wykorzystać równania Richardsa i Thompsona dla oznaczenia ilości pigmentów przy pomocy nomogramów.

Goldberg i inni (1952) wprowadzają metodę nie ekstrahowania chlorofilu z glonów, lecz oznaczają go przy pomocy spektrofotometru Beckman D. U. w komórkach zatrzymanych na sączkach.

Yentsch (1957) uzupełniając metodę Goldberga i inn. (1952) nie stosuje ekstrakcji chlorofilu żadnym rozpuszczalnikiem organicznym. Po przesączeniu suszy on sączek membranowy w temperaturze 85°C w ciągu 10 min., dodaje parę kropelek olejku cedrowego i umieszcza między dwa szkiełka. Ilość chlorofilu na przygotowanym w ten sposób sączku zawierającym glony oznacza się w spektrofotometrze Beckman D. U. Maksimum absorpcji przy oznaczaniu tą metodą przesuwa się do 670 m μ . Natomiast przy ekstrakcji chlorofilu acetonem, eterem lub alkoholem maksimum absorpcji wypada w granicach 655—665 m μ .

Vallentyne (1955, 1955a, 1957) zastosował metodę chlorofilową przy badaniach historii poszczególnych zbiorników wodnych stanu Connecticut.

Do dnia dzisiejszego nie ma uniwersalnej metody oznaczania chlorofilu w fitoplanktonie, większość jednak autorów zgodnie stwierdza, że stosowanie sączków membranowych gwarantuje pełne oddzielenie glonów od badanej wody.

MATERIAŁ I METODYKA

Badano Jezioro Rajgrodzkie i przylegające do niego jeziora Białe, Krzywe, Ślepe oraz jezioro Dęstwo.

Próby pobierano wiosną, latem i jesienią 1957 roku, od powierzchni do dennych warstw, w odstępach kilku metrów. Miejsca pobierania próbek oznaczone są na mapce (ryc. 1) trójkątami z odpowiednią cyfrą arabską. Wodę pobierano przy pomocy batometru Ruthnera. Podczas sączenia wody przez sączek membranowy stosowano sączek nr 0 oraz nr 1, bo-

wiem znane są wypadki intensywnego rozwoju bakterii zielonej zawierającej w jednej komórce około $0,88 \cdot 10^{-12}$ mg chlorofilu, która nie zatrzymuje się całkowicie na sączku nr 0 (Godniew i Winberg 1951). Ilość wody do sączenia wynosiła od 1 l (J. Krzywe) do 5 l (pozostałe). Sączek z zatrzymanymi glonami podsuszano na powietrzu, następnie prze-

Ryc. 1. Mapa sytuacyjna jezior Rajgrodzkich

chowywano w ciemności do chwili oznaczania. Rozpiętość w czasie między pobraniem prób a ekstrakcją nie przekraczała 2 tygodni.

Ekstrahowanie chlorofilu przeprowadzałem metodą Winberga i in. (1953) stosując kolorymetr fotoelektryczny Lumetron Mod. 400-A z filtrem czerwonym, o długości fali 650 mμ. Jako płynu standardowego

służącego do wykreślenia krzywej absorpcji światła przez chlorofil użyto roztworu krystalicznego chlorofilu etylowego (firmy „Riedl“ Hannover) w etanolu, którego używano do ekstrahowania próbek fitoplanktonu. Celem zorientowania się w ilościowych stosunkach poszczególnych gatunków fitoplanktonu użyłem metody szacowania ilościowego Starmacha (1955).

Przeanalizowałem ogółem 253 sączki.

BADANIA WŁASNE

Jezioro Rajgrodzkie jest jeziorem polodowcowym, rynnowym, największym z jezior tej grupy. Posiada dwa odpływy regulowane: w Czarnej Wsi kanał odprowadzający wodę na łąki kuwaskie i na północy

Tabela 1

Skład gatunkowy fitoplanktonu siatkowego w Jeziorze Rajgrodzkim

Gatunek	Odnoga Przepiórka dn. 30.7.57	Pozostałe odnogi dn. 26.7.57
<i>Chrysomonadineae</i>		
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehr.	1	5
<i>Dinobryon cylindrica</i> Imh.	—	1
<i>Peridineae</i>		
<i>Ceratium hirundinella</i> (O. F. Müll.) Bergh.	4	5
<i>Volvocineae</i>		
<i>Volvox</i> sp.	—	1
<i>Protococcineae</i>		
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	1	1
<i>Pediastrum Boryanum</i> (Turpin)	—	+
<i>Pediastrum Boryanum</i> v. <i>longicorne</i> Renisch	—	+
<i>Desmidiiales</i>		
<i>Staurostrum paradoxum</i> Meyen	1	1
<i>Diatomeae</i>		
<i>Asterionella gracillima</i> (Hanth.)	1	5
<i>Fragillaria crotonensis</i> Kitt.	4	5
<i>Cyanophyceae</i>		
<i>Anabaena spiroides</i> Klebs	4	3
<i>Oscillatoria planktonica</i> Wołoszcz.	5	—
<i>Microcystis</i> sp.	4	3
<i>Gloeotrichia echinulata</i> (Smith.)	3	3
<i>Euochromonadaceae</i>		
<i>Uroglena articulata</i> Korsch.	—	+

regulowany odpływ rzeki Jęgrzni. Do odnogi Stace wpada rzeka Małkina łącząca go z j. Selment, a do odnogi Przepiórka — rzeka Przepiórka. Powierzchnia jeziora wynosi 1919,15 ha, maksymalna głębokość 51 m, w miejscu naprzeciw majątku Opartowo, najczęściej spotykana 14 m. Muł denny ciemny, drobny, pochodzenia planktonowego, który w strefie litoralnej przechodzi gdzieś w piasek. Odnogę Rajgrodzką i Przepiórkę otaczają przeważnie pola uprawne, natomiast odnogę Czarnej Wsi i Stace otacza las sosnowy z domieszką drzew liściastych na glebie piaszczystej. Przezroczystość wody, według Secchi, wynosi 3,5 m. Pas oczerętów na ogół jest słabo rozwinięty.

Częstość występowania poszczególnych gatunków glonów w planktonie dn. 26 lipca 1957 r. wg skali Starmacha (1955) przedstawia tab. 1.

Ilość chlorofilu w badanym okresie przedstawia tabela 2.

Jak wskazują wyniki (tabela 2), ilość chlorofilu w litrze wody J. Rajgrodzkiego nie przekracza setnych części mg. Najwięcej chlorofilu jest w wodzie odnogi Przepiórki, pozostałe odnogi nie różnią się między sobą.

Zależność chlorofilu od temperatury w okresie letniej stagnacji przedstawiają ryc. 2 i 3.

Najwięcej chlorofilu znajduje się w epi- i hypolimnionie, najmniej w metalimnionie.

Jezioro Białe. Jest to jezioro polodowcowe położone 0,5 km na zachód od Raj-

Ryc. 2. Uwarstwienie pionowe chlorofilu i temperatury w J. Rajgrodzkim

Ryc. 3. Uwarstwienie pionowe chlorofilu i temperatury w J. Rajgrodzkim (odnoga Przepiórka)

grodu o powierzchni 146,37 ha, głębokości maksymalnej 34 m, średniej 15 m. Dopływów nie posiada, zasilane jest źródłami dennymi i brzeżnymi. Odpływ stanowi rów długości 20 m łączący go z odnogą Stacką Jeziora Rajgrodzkiego. Jezioro Białe jest oddzielone od odnogi Stac-

Tabela 2
Rozmieszczenie pionowe chlorofilu
w J. Rajgrodzkim (w mg/l)

Odnoga	Data	Głębokość w m										uwagi
		0 (pow.)	2,5	5	10	11,5	13	15	20	25	30	
Rajgro- dzka	26.4.57	0,020										
	28.4.57	0,020										
	30.4.57	0,023	0,024	0,022	0,020		0,021	0,020	0,020	0,023	0,030	
	1.5.57	0,030										
	24.7.57	0,016	0,021	0,027	0,009	0,005	0,005	0,007	0,009	0,012	0,014	
	25.7.57	0,023	0,021	0,029	0,025	0,018	0,020	0,022	0,021	0,025	0,027	
	27.7.57	0,016										
	2.8.57	0,036	0,033	0,018	0,015	0,010	0,010	0,008	0,010	0,012	0,018	
	2.8.57	0,021	0,013	0,018	0,012							
	3.8.57	0,018	0,016	0,013	0,013	0,008	0,009	0,010	0,010	0,013	0,015	
	4.8.57	0,016										
		0,017										
		0,016										
	8.8.57	0,013										
		0,013										
Prze- piórka	10.8.57	0,025										
	7.11.5	0,021		0,020	0,017		0,016	0,015	0,022	0,020	0,023	
	11.11.57	0,022		0,020	0,018		0,016	0,015	0,018	0,028	0,025	
	25.7.57	0,025	0,035	0,028	0,021	0,010	0,018	0,010	0,012	0,022		
		0,029	0,032	0,025	0,023	0,011	0,015	0,010	0,010	0,030		
	28.7.57	0,070	0,068	0,072	0,030	0,021	0,025	0,025	0,025	0,040		
		0,086										
	30.7.57	0,034	0,038	0,038	0,025	0,020	0,023	0,025	0,026	0,030		
Stace		0,044	0,040	0,040	0,035	0,030	0,030	0,030	0,028	0,045		
		0,032										
	25.7.57	0,018	0,015	0,015	0,021							
Czarna Wieś	29.7.57	0,022	0,018	0,018	0,018							dno na 12 m
	9 8.57	0,026	0,009	0,009	0,009							
	26.7.57	0,020	0,015	0,015	0,013							dno na 14 m
	28.7.57	0,015	0,012	0,012	0,009							

kiej wzniesioną groblą łączącą wsie Andrzejki i Ramoty. Jezioro jest otoczone wysokimi brzegami z wyjątkiem południowo-zachodnich, które są niskie. Strefa makrofytów jest słabo rozwinięta i składa się z *Phragmites communis* i *Scirpus lacustris*. Gleby otaczające jezioro są piaszczyste, uprawne, jedynie wzdłuż brzegu południowego ciągnie się

wąski pas olszyn. Pas roślin przybrzeżnych jest źle rozwinięty i prawdopodobnie w związku z niekorzystnym ukształtowaniem dna, które opada bardzo gwałtownie do głębokości 13 m. Jezioro posiada szereg wysepek w południowej części, jedna z nich duża (1 ha) porośnięta drzewami, pozostałe tylko przy małym stanie wody wystają ponad wodę. Przezroczystość wody jest mała, gdyż krążek Secchiego niknie na głębokości 4,5 m. Dno jeziora usłane jest gliną. Jest to typowe jezioro mezotroficzne, w wodach którego pozostały sprzyjające warunki dla reliktowych raczków *Pallasea quadrispinosa* G. O. Sars i *Limnocalanus grimaldii* var. *macrurus* G. O. Sars. Próbkę chlorofilu były pobierane w punkcie nr 6 (ryc. 1). Skład gatunkowy fitoplanktonu w dniu 6 sierpnia 1957 r. ilustruje tabela 3, zaś stosunki ilościowe chlorofilu przedstawione są w tabeli 4. Rozmieszczenie chlorofilu uzależnione od temperatury ilustruje ryc. 4.

Ryc. 4. Uwarstwienie pionowe chlorofilu i temperatury w J. Białym

Tabela 3

Skład gatunkowy fitoplanktonu siatkowego w Jeziorze Białym w dn. 6.8.1957 r.

Gatunek	Częstość wg skali Starmacha
<i>Chrysomonadineae</i>	
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehr.	5
<i>Peridineae</i>	
<i>Ceratium hirundinella</i> (O. F. Müll.) Bergh.	1
<i>Desmidiaceae</i>	
<i>Staurastrum paradoxum</i> Meyen	+
<i>Diatomeae</i>	
<i>Tabellaria fenestrata</i> var. <i>intermedia</i> Grun.	+
<i>Tabellaria fenestrata</i> var. <i>asterionelloides</i> Grun.	+
<i>Cyanophyceae</i>	
<i>Anabaena spiroides</i> Klebs.	+

Tabela 4

Rozmieszczenie pionowe chlorofilu w J. Białym (w mg/l)

Data	Głębokość w m							Uwagi
	0	2,5	5	9	11	15	20	
28. 4.57	0,012	0,015	0,013	0,015	0,011	0,012	0,012	dno na 22 m
29. 4.57	0,010	0,008	0,008	0,007	0,010	0,009	0,009	„ „ 22 m
6. 8.57	0,009	0,009	0,011	0,007	0,005	0,006	0,008	„ „ 21 m
9. 8.67	0,013	0,013	0,012	0,012	0,009	0,010	0,014	„ „ 21 m
9.11.57	0,010	0,012	0,009	0,012	0,013	0,012	0,020	„ „ 20,5 m
10.11.57	0,017	0,013	0,011	0,009	0,010	0,013	0,028	„ „ 20,5 m

Jezioro Krzywe. Jezioro położone o 4 km na zachód od Rajgrodu. Jest to jezioro rynnowe, eutroficzne, bezdopływowe, posiadające jedynie odpływ w postaci rowu biorącego początek w północnej części jeziora odprowadzającego wodę do Jeziora Rajgrodzkiego. Oddzielają go od Jeziora Rajgrodzkiego wzniesiona grobla i 10-metrowej szerokości podmokłe łąki. W przeszłości dwa te jeziora tworzyły jedną całość. Kształt jeziora wydłużony z południa na północny-zachód, powierzchnia 88,36 ha, głębokość maksymalna 8 m, a średnia 5 m. Na brzegu płd. znajduje się duża wieś Krzywe (Rundflüß). Od północy do jeziora przylega torfowisko, silnie podmokłe, porośnięte krzewami. Pas oczeretów bardzo szeroki złożony z trzciny (*Phragmites communis*) i pałki (*Typha latifolia*), między którymi rosną krzaki *Alnus* sp. i *Salix* sp. W pasie oczeretów na pły-

Tabela 5

Skład gatunkowy fitoplanktonu siatkowego w J. Krzywym w dn. 29.7.1957 r.

Gatunek	Częstość wg skali Starmacha
<i>Chrysomonadineae</i>	
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehr.	1
<i>Peridineae</i>	
<i>Ceratium hirundinella</i> (O. F. Müll.) Bergh.	5
<i>Protococcineae</i>	
<i>Pediastrum Boryanum</i> (Turpin)	1
<i>Desmidiiales</i>	
<i>Staurostrum paradoxum</i> Meyen.	1
<i>Cyanophyceae</i>	
<i>Anabaena spiroides</i> Kleb.	1
<i>Oscylatoria planctonica</i> Wołosz.	1
<i>Oscylatoria</i> sp.	4
<i>Microcystis</i> sp.	2

ciźnie przybrzeżnej (do 0,5 m głęb.) występują kępy *Chara* sp., najliczniej na brzegu wschodnim. Dno opadające bardzo łagodnie, wysłane jest czarnym półpłynnym mułem. Przezroczystość 0,45 m. Próbkę wody do oznaczania chlorofilu były pobierane w punkcie nr 5 (ryc. 1). W fitoplanktonie występowały w dniu 29.7.57 r. gatunki przedstawione w tabeli 5.

Wyniki oznaczeń chlorofilu są zestawione w tabeli 6.

Tabela 6

Rozmieszczenie pionowe chlorofilu w J. Krzywym (w mg/l)

Data	Głębokość w m			Uwagi
	0 (po- wierzchnia)	2,5	5	
26. 4.57	0,142	0,123	0,156	przy samym brzegu
27. 4.57	0,125	0,130	0,135	
29. 7.57	0,216	0,207	0,878	
29. 7.57	2,730			
6. 8.57	0,224	0,222	0,384	przy samym brzegu
6. 8.57	0,214	0,235	0,300	
6. 8.57	0,420			
9. 8.57	0,154	0,184	0,195	
9.11.57	0,104	0,089	0,120	
9.11.57	0,094	0,105	0,112	

Jak widzimy z tabeli 6 w fitoplanktonie Jeziora Krzywego znajduje się największa ilość chlorofilu sięgająca dziesiętnych części mg/l.

Jezioro Ślepe. Leży na zachód od majątku Opartowo, należy do jezior dystroficznych. Kształt jeziora podłużny, powierzchnia około 12 ha, maksymalna głębokość 4 m, najczęściej spotykana 2,5 m. Woda ma barwę brunatną, co wskazuje na dużą zawartość związków humusowych. Dno w jeziorze usłane jest szczątkami roślinności tworzącej osad denną w postaci mułu brunatnego, sapropelowego o zapachu gnilnym. Jest to muł półpłynny, w górnych warstwach pomieszany z wodą, o miąższości do 3 m. Pas oczeretów bardzo słabo rozwinięty, reprezentowany głównie przez *Phragmites communis*. Jezioro otoczone jest lasem sosnowym z domieszką drzew liściastych. Jezioro obecnie nie posiada żadnego przepływu, dawniej miało połączenie z Jeziorem Rajgrodzkim, które zostało przerwane już dawno przez obniżenie poziomu wody, co umożliwiło niezależny rozwój tych dwóch zbiorników. Próbkę były pobrane w punkcie nr 7 (patrz ryc. 1). Średnią ilość chlorofilu w fitoplanktonie przedstawia tabela 7.

Tabela 7

Średnie ilości chlorofilu w fitoplanktonie J. Ślepego

Data	t°C	Głębokość pobrania próbki w m	Ilość chlorofilu w litrze wody w mg
27.7.57	22°	1	0,0080
28.7.57	22°	1	0.0065
29.7.57	23°	1	0,0057
Średnia			0,0063

Jak widzimy z tabeli 7 ilość chlorofilu w litrze wody badanego jeziora jest bardzo mała, sięga zaledwie tysięcznych części mg.

Jezioro Dręstwo. Jest to jezioro polodowcowe mezotroficzne, jedno z większych jezior tej grupy. Powierzchnia wynosi 550 ha, maksymalna głębokość 25 m, najczęściej spotykana 7 m. Widoczność krążka

Tabela 8

Skład gatunkowy fitoplanktonu siatkowego w jez. Dręstwo w dn. 7.8.57

Gatunek	Częstość wg skali Starmacha
<i>Chrysomonadineae</i>	
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehr.	1
<i>Peridineae</i>	
<i>Ceratium hirundinella</i> (O. F. Müll.) Bergh.	4
<i>Volvocineae</i>	
<i>Volvox</i> sp.	4
<i>Protococcineae</i>	
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	+
<i>Pediastrum Boryanum</i> (Turpin)	+
<i>Cyanophyceae</i>	
<i>Anabaena spiroides</i> Klebs	+
<i>Gloeotrichia echinulata</i> (Smith.)	1
<i>Microcystis</i> sp.	2

Secchi wynosi 3,5 m. Muł denný ciemny drobny o dużej miąższości i słabym zapachu H_2S , pochodzenia planktonowego, strefa roślin podwodnych dobrze wykształcona. Jest to jezioro przepływowe. W części zachodniej do

jeziora wpada, a we wschodniej wypływa rzeka Jęgrznia. Pas oczerzetów jest dobrze rozwinięty, składający się głównie z *Phragmites communis*.

Próbki wody do analiz były pobierane w punkcie nr 8 (ryc. 1). Częstość poszczególnych gatunków w fitoplanktonie w dniu 7.8.57 przedstawia tabela 8, zaś wyniki analiz tabela 9.

Z tabeli 9 widzimy, że wiosną i na jesieni ilość chlorofilu w wodzie j. Dręstwo nie ulega większym zmianom, natomiast w lecie zwiększa się i najczęściej występuje go na głębokości 5 m oraz w dennych warstwach jeziora. Porównanie rozmieszczenia pionowego chlorofilu i temperatury ilustruje ryc. 5.

Również i w tym jeziorze w metalimnionie znajduje się najmniej chlorofilu w porównaniu z epi- i hypolimnionem.

Ryc. 5. Uwarstwienie pionowe chlorofilu i temperatury w j. Dręstwo

Tabela 9

Rozmieszczenie pionowe chlorofilu w jez. Dręstwo (w mg/l)

Data	Głębokość w m						Uwagi
	0 (pow.)	2,5	5	10	12	15	
29. 4.57	0,018	0,015	0,017	0,012	0,015	0,021	dno na 16,5 m
30. 4.57	0,017	0,019	0,015	0,012	0,015	0,025	„ „
3. 8.57	0,021	0,021	0,034	0,025	0,015	0,021	„ 16 m
7. 8.57	0,027	0,030	0,039	0,032	0,020	0,035	„ „
8.11.57	0,016	0,015	0,018	0,014	0,015	0,066	„ 15 m
9.11.57	0,018	0,016	0,016	0,015	0,014	0,033	„ „

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

W wyniku danych dotyczących ilości chlorofilu w wodach badanych jezior można stwierdzić, że ilość chlorofilu na ogół jest bardzo mała z wyjątkiem Jeziora Krzywego. Jezioro Rajgrodzkie, Białe i Dręstwo należą do typu jezior mezotroficznych, ubogich w produkcję masy organicznej.

Najmniejszą ilość chlorofilu stwierdzono w dystrofnyim Jeziorze Slepym (0,0066 mg/l), co wyjaśnia duża zawartość związków humusowych rozpuszczonych w wodzie jeziora. O małej ilości fitoplanktonu w jeziorach zawierających związki humusowe wspomina Charkiewicz (1953) i tłumaczy to brakiem związków fosforowych w jeziorach takiego typu.

Drugie z badanych jezior, tzn. J. Krzywe, zawiera znaczną ilość chlorofilu w stosunku do innych, nawet w porównaniu do bogatego w produkcję fitoplanktonu jeziora Czerwonego na Polesiu, które wg Winberga (1956a) latem zawiera około 0,107 mg/l chlorofilu. Jezioro Krzywe charakteryzuje się przeszło 2 razy większą ilością chlorofilu, a w związku z tym i większą produktywnością.

Z porównań ryc. 2—5 wynika, że maksymalna ilość chlorofilu w jeziorach Rajgrodzkim, Białym i Dręstwo, jak można było oczekiwać, znajduje się w epilimnionie. Jednak znane są jeziora, gdzie maksymalna ilość chlorofilu znajduje się pod termokliną. W północno-amerykańskim jeziorze Trout Lake wyróżniającym się znaczną przezroczystością Kozminki (1938) stwierdził największą ilość chlorofilu właśnie pod termokliną zalegającą na głębokości od 12 do 19 m. Podobne zjawisko obserwował Gessner (1948) na jeziorze Königsee (Bawaria).

Znane są z literatury (Hansen 1951, Harder 1954) przykłady maksymalnej ilości planktonu w termoklinie: Hayes i Beckett (1956) stosując radioaktywny fosfor w laboratorium Uniwersytetu Halifax (Kanada) oraz w niektórych jeziorach Kanady stwierdzili przesuwanie się, a nawet w niektórych przypadkach gromadzenie się soli odżywczych w termoklinie. Jak z tego wynika, termoklina nie zawsze jest przegrodą między epilimnionem i hypolimnionem, a może nawet często stwarzać dogodne warunki dla rozwoju planktonu.

Duża ilość chlorofilu w najniższych warstwach hypolimnionu tłumaczy się opuszczaniem się glonów oraz powstawaniem dogodnych warunków ze względu na zawartość soli mineralnych powstających w wyniku mineralizacji planktonu dla bentonicznych gatunków glonów.

Zakładając, że pobrane próby chlorofilu odpowiadają ilości chlorofilu w odpowiednich warstwach epi-, meta- i hypolimnionu latem, a wiosną i jesienią całkowitej miąższości wody, można obliczyć średnią ilość chlorofilu na m² w. w. warstwach jeziora, a z tego i na m² słupa od powierzchni do dna. Rezultaty tych obliczeń przedstawione są w tabeli 10.

Przy obliczeniu tym w jeziorach mających stagnację letnią przyjąłem dla J. Rajgrodzkiego: epilimnion od powierzchni do 10 m, metalimnion 10—15 m, hypolimnion 15—30 m; dla j. Dręstwo: epilimnion od powierzchni do 9 m, metalimnion 9—12 m, hypolimnion 12—16 m; dla J. Białego: epilimnion od powierzchni do 8 m, metalimnion 8—12 m;

Tabela 10

Srednia zawartość chlorofilu na 1 m² słupa wody od powierzchni
do dna badanych jezior (g)

Jezioro	Przezroczystość w m	Ilość chlorofilu w g na m ² słupa wody						Do głęb. (długość słupa w m.)
		wiosna	lato				jesień	
			epilimnion	metalimnion	hypolimnion	razem epilimeta i hypolimnion		
Rajgrodzkie								
Odnoga Rajgród	3,5	0,203	0,187	0,054	0,232	0,473	0,589	30
„ Przepiórka	3,0	—	0,392	0,101	0,270	0,763	—	30
„ Stace	3,5	—	0,199	—	—	0,199	—	10
„ Czarna Wieś	3,5	—	0,138	—	—	0,138	—	10
Białe	4,5	0,225	0,090	0,032	0,028	0,150	0,282	20
Krzywe	0,45	0,804	1,703	—	—	1,703	0,622	6
Dreństwo	3,5	0,270	0,283	0,074	0,112	0,469	0,355	16
Ślepe	0,5	—	0,020	—	—	0,020	—	3

hypolimnion 12—20 m; dla j. Krzywego i Ślepego nie mających stagnacji letniej przyjąłem całą warstwę jako epilimnion.

Jak widzimy z tabeli 10 najwięcej chlorofilu na m² powierzchni zawiera wiosną j. Krzywe, mimo najpłytszej wody. Pozostałe jeziora wiosną wykazują małe różnice w ilości chlorofilu. We wszystkich badanych jeziorach (z wyjątkiem odnogi jeziora Rajgród, co się tłumaczy małym rozwojem fitoplanktonu w epilimnionie, a głównie rozwojem bentonicznych gatunków glonów i wielkością hypolimnionu) największe ilości chlorofilu w ciągu roku obserwujemy w epilimnionie. Najmniejsza ilość chlorofilu w metalimnionie jest wywołana nieznacznym rozwojem fitoplanktonu i cienką warstwą metalimnionu (od 3 m — j. Dreństwo, do 5 m — J. Rajgrodzkie).

Najmniejsza ilość chlorofilu w metalimnionie J. Rajgrodzkiego wywiera wpływ (poza innymi czynnikami) na zawartość tlenu w tej warstwie (w epilimnionie — 11,5 mg O₂/l, w metalimnionie — 5,6 mg O₂/l, a w hypolimnionie na głębokości 40 m — 7,6 mg O₂/l). Małą ilość tlenu zawartego w tej warstwie można było tłumaczyć jego konsumpcją przez zooplankton i ryby planktonożerne, które w okresie stagnacji letniej w związku z deficytem tlenu w hypolimnionie najczęściej gromadzą się w dolnej części epilimnionu i w metalimnionie (Walczak, 1953). W warunkach naj-

większego zgęszczenia zooplanktonu, wg Winogradowa (1952), spożycie tlenu na dobę wynosi zaledwie 3,61 ml/m³ wody.

Dużą ilością tlenu w hypolimnionie oraz dużą ilością skorupiaków można wyjaśnić przebywanie w nim stynki i sielawy.

Jesienią, jak i wiosną, najwięcej chlorofilu mamy w J. Krzywym pomimo najpłytszej wody.

Zakładając, że chlorofil stanowi 3% suchej masy fitoplanktonu (Winberg 1954, 1956a) można obliczyć orientacyjnie ilość suchej masy jego w słupie wody o powierzchni m². Opierając się na danych dotyczących ilości chlorofilu podanych w tabl. 10, średnie zawartości suchej masy przedstawiono poniżej.

Tabela 11

Średnia zawartość suchej masy fitoplanktonu na m² słupa wody od powierzchni do dna badanych jezior (g).

Jezioro	Ilość suchej masy fitoplanktonu w g na m ² słupa wody					jesień	Do głęb. (długość słupa w m)
	wios- na	l a t o					
		epilim- nion	metalim- nion	hypolim- nion	razem epi- meta- i hypolim- nion		
Rajgrodzkie							
Odnoga Rajgród	6,80	6,20	1,80	7,70	15,70	19,60	30
„ Przepiórka	—	13,07	3,40	9,00	25,47	—	30
„ Stace	—	6,63	—	—	6,63		10
„ Czarna Wiesz	—	4,60			4,60		10
Białe	7,30	3,00	1,07	0,93	5,00	9,73	20
Krzywe	26,80	56,80	—	—	56,80	20,73	6
Dręstwo	9,00	9,43	2,50	3,73	15,66	11,87	16
Ślepe		0,7			0,7		3

Większa ilość chlorofilu, a więc i suchej masy fitoplanktonu na jesieni w j. Rajgrodzkim i Białym, a prawie równą w j. Dręstwo w porównaniu z latem i wiosną, wyjaśnić można większą ilością chlorofilu w warstwach dennych, co jest wynikiem opuszczania się na jesieni obumarłych, nieaktywnych glonów na dno jeziora, tj. takich glonów, które mimo zawartości chlorofilu prawie nie biorą już udziału w działalności fotosyntetycznej. Podobne zjawisko obserwowali Koźmiński (1938) i w jeziorach Japonii Hogetsu K. i Ichimura S. (1954). Koźmiński (1938) porównywał działalność fotosyntetyczną planktonu zawartego w próbkach wody z powierzchni i warstw maksimum chlorofilowego jeziora Wild Cat i Scaffold (Ameryka Północna). Próbkę te eksponowano na różnych głębokościach jeziora Trout Lake w przezroczystych i czarnych

flaskach. Stwierdzono, że woda powierzchniowa z jeziora Wild Cat wykazała większy efekt działalności fotosyntetycznej niż woda z 7 m głębokości tego samego jeziora, chociaż ta ostatnia zawierała 10-krotnie większą ilość chlorofilu.

Natomiast próbki planktonu z warstwy przydennej (maksimum chlorofilowe) z jeziora Scaffold wykazały dwukrotnie większy efekt fotosyntetyczny niż próbki powierzchniowe tego jeziora.

Na podstawie prac Koźmińskiego (1938), Gessnera (1949), Winberga (1953), Ichimura (1956) i własnych można wnioskować, że ilość chlorofilu w jeziorach odpowiada produktywności w nich masy organicznej.

Badane jeziora można podzielić na produktywne i mało produktywne. Do pierwszej grupy zaliczyć można eutroficzne Jezioro Krzywe, do drugiej mezotroficzne jeziora: Rajgrodzkie, Białe i Dręstwo oraz dystroficzne — Ślepe.

W opracowaniu wyników badań skorzystałem z łaskawej konsultacji prof. dra Jerzego Winberga, za co składam mu serdeczne podziękowanie.

Praca była częściowo subwencjonowana przez „Komitet Botaniczny“ Wydziału II Polskiej Akademii Nauk.

WNIOSKI

1. W wyniku badań nad zawartością chlorofilu jeziora Rajgrodzkie można podzielić na produktywne i mało produktywne. Do pierwszej grupy należy eutroficzne Jezioro Krzywe, do drugiej mezotroficzne jeziora: Rajgrodzkie, Białe i Dręstwo oraz dystroficzne, bogate w związki humusowe, J. Ślepe.

2. W mezotroficznych jeziorach ilość chlorofilu waha się w granicach setnych części mg/l, w eutroficznym J. Krzywym — dziesiątych części mg/l. Dystroficzne J. Ślepe zawierało tysięczne części mg chlorofilu w litrze wody.

3. Podczas stagnacji letniej najmniejszą ilość chlorofilu w badanych okresie obserwowano w metalimnionie. Jezioro Dręstwo zawierało latem najwięcej chlorofilu na głębokości 5 m.

4. Jesienią zawartość chlorofilu zwiększa się w dennych warstwach wody, co jest wynikiem opuszczania się nieaktywnych glonów.

(Wpłynęło dn. 23.1.1958 r.)

SUMMARY

The amount of chlorophyll in phytoplankton of five lakes of Rajgród (North-east Poland) was studied. Winberg's method was used with membranefilter no. 0 and photoelectric colorimeter Lumetron (Model 400-A with red filter, wave length 650 mμ). The samples were taken in April, July, August and November 1957 in different depths from the surface.

The Lake on Rajgród with 15 ha of area and with maximal depth of 51 m belongs to the mesotrophic type. The water transparency is of 3,5 m. In April the amount of chlorophyll was between 0,020 to 0,030 mg/l. In July and August the amount of chlorophyll in epi- and hypolimnion does not vary but in metalimnion it decreases to 0,005 mg/l. Exceptionally high values were found in side arm of the lake called Przepiórka were on the surface it was 0,086 mg/l and in metalimnion 0,010 mg/l of chlorophyll. In November the amount of the chlorophyll decreases in the whole profile, except bottom strata, and reaches the value of 0,028 mg/l due to the falling of unactive phytoplankton.

The Lake Białe, of postglacial origin, with the area of 146,37 ha, maximal depth of 38 m (average depth 15 m) and water transparency of 4,5 m is of the mesotrophic type. In April the amount of chlorophyll in this lake varied from 0,007 to 0,015 mg/l. In summer the amount of chlorophyll decreases in metalimnion to 0,005 mg/l and in epi- and hypolimnion it rests the same (0,014 mg/l). In November no changes in the whole profile were noticed except in the bottom layer where the amount of chlorophyll raised to 0,028 mg/l due to reasons given above.

The Lake Dęstwo is also mesotrophic with area of 550 ha, maximal depth of 25 m and water transparency of 3,5 m. In April the amount of chlorophyll varied from 0,012 to 0,025 mg/l. In August the maximal amount of chlorophyll was found in 5 m depth (0,034—0,039 mg/l). In September in the whole profile it was from 0,014 to 0,018 mg/l of chlorophyll except in bottom level where it amounts to 0,033—0,066 mg/l.

The Lake Krzywe with the area of 88,4 ha, the maximal depth of 8 m belongs to the eutrophic type. Its water transparency is of 0,45 m. In April the amount of chlorophyll was of 0,123 to 0,156 mg/l, in July—August — 0,214 mg/l on the surface and 0,878 mg/l on the bottom. In September the amount of chlorophyll decreases to 0,089 mg/l—0,195 mg/l at the bottom.

The Lake Słepie with the area of 12 ha and the maximal depth of 4 m contains many humic compounds and belongs to dystrophic type. In July the amount of chlorophyll was there from 0,0057 to 0,008 mg/l.

The author has calculated the amounts of chlorophyll and of the dry matter of phytoplankton in a 1 square metre column of water from surface

to the bottom, separately for epi-meta- and hypolimnion. For the calculation of the matter of phytoplankton the author adopted Winberg's data (1956, 1956a) that the amount of chlorophyll in phytoplankton forms 3% of its dry matter weight.

LITERATURA

- Charkiewicz N. S., 1953, Usłowija razwitiya fitoplanktona w wodojomach bogatych guminowymi wieszczestwami — Awtoreferat na sociskaniye stiepieni kandidata biologicheskich nauk, Moskwa, 513.
- Comita, Gabriel W., 1956, A study of a calanoid copepod population in an arctic lake, *Ecology* 37 (3): 576—591.
- Creitz, Grace J. and Richards Francis A., 1953, The estimation and characterization of plankton populations by pigment analyses. III. A note on the use of "Millipore" membrane filters in the pigments, *J. Marine Res.* 14 (3): 211—216.
- Duxbury A. C., Yentsch Charles S., 1956, Plankton pigment nomographs, *J. Marine Res.* 15 (1): 92—101.
- Gardiner A. C., 1943, Measurement of phytoplankton population by the pigment extraction method, *J. Marine Biol. Assoc. United Kingdom* 25: 739—744.
- Gessner F., 1943, Die assimilatorische Leistung des Phytoplanktons, bezogen aus seinem Chlorophyllgehalt, *Botanik* 38: 414—424.
- Gessner F., 1944, Der Chlorophyllgehalt der Seen als Ausdruck ihrer Produktivität, *Arch. Hydrob.* 40: 687—732.
- Gessner F., 1948, The vertical distribution — of phytoplankton and the thermocline, *Ecology* 29: 386—389.
- Gessner F., 1949, Der Chlorophyllgehalt im See und seine photosynthetische Valenz als geophysikalisches Problem, *Schweiz. Z. Hydrobiol.* 11: 378—410.
- Gessner F., 1953., Die Limnologie des Naturschutzgebietes Secon, *Arch. Hydrob.* 47: 553—624.
- Godniew T. N., Kaliszewicz S. W. i Zacharicz G. F., 1950, O sodierżanii, chlorofilla w presnowodnom planktonie, *Dokl. A. N. ZSRR* 73: 1041—1045.
- Godniew T. N. i Winberg G. G., 1951, O pigmentach „zielonej bakterii“ *Dokl. A. N. ZSRR* 76 (6): 909—913.
- Goldberg E. D., Baker M. and Fox D. L., 1952, *J. Mar. Res.* 11 (2): 194 (cyt. wg Yentsch 1957).
- Handke H. H., 1941, Hydrographische und biochemische Untersuchungen über die Planktonproduktionskraft des Süßes Sees bei Halle, *Bot. Ar.* 42: 149—199.
- Hansen K. V., 1951, On the diurnal migration of zooplankton to the discontinuity layer, *J. Conseil* 17: 231—241.
- Harder W., Weitere experimentelle Untersuchungen über das Verhalten von Copepoden gegenüber Sprungschichten, *Kurze Mitteil. Inst. f. Fischerei Biol. der Univ. Hamburg* 4: 1—17.
- Harvey H. W., 1934, Measurement of phytoplankton population, *J. Marine Biol. Assoc. United Kingdom* 19: 761—773.
- Hayes F. R. and Beckett N. R., 1956, The flow of minerals through the thermocline of a lake, *Arch. f. Hydrobiol.* 51 (3): 391—409.

- Hogetsu, Kinji, Ichimura, Shun-ei, 1954, Studies on the biological production of lake Suwa. VI. The ecological studies on the production of phytoplankton, Japan. J. Botany 14 (2): 280—303.
- Ichimura, Shun-ei, 1956, On the standing crop and productive structure of phytoplankton community in some lakes of central Japan, Bot. Mag. 69 (811): 7—16.
- Jenkins, Pamela G., 1955, Seasonal changes in the phytoplankton as indicated by spectrophotometric chlorophyll estimations 1952—53, Papers Marine Biol. and Oceanogr. dedicat Henry B. Bigelow, Pergamon Press, London, New-York, 58—67.
- Koźmiński Z., 1938, O rozmieszczeniu chlorofilu w niektórych jeziorach stanu Wisconsin w Ameryce Północnej, Arch. Hydrob. i Ryb. 11 (1—2): 120—163 (patrz również Tr. Wisc. Ac. Sci 31: 411—438).
- Kreps E. and Verjbinskaya N., 1930, Seasonal changes in the phosphate and nitrate content and in hydrogen ion concentration in the Barents sea, J. Cons. intern. Explor. Mer. 5: 329—346.
- Krey J., 1939, Die Bestimmung des Chlorophylls in Meerwasser-Schöpfproben. J. Cons. int. Expor. Mer. 14: 201—209.
- Kurasawa, Hideo, Shiraishi Yoshikazu, 1955, Studies on the biological production of lake Suwa, VII, The stratification and the seasonal succession of phytoplankton, Misc. Repts. Res. Inst. Natur. Resources 37: 49—57.
- Manning W. M. and Juday R. E., 1941, The chlorophyll content and productivity of some lakes in Northeastern Wisconsin, Tr. Wisc. Ac. Sci. 33: 363—392.
- Richards F. A. and Thompson T. G., 1952, The estimation and characterization of plankton populations by pigment analyses. II. A spectrophotometric method for the estimation of plankton pigments, J. Marine Research (Sears Foundation) 11: 156—172.
- Riley G. A., 1938, The measurement of phytoplankton, Inter. Rev. ges. Hydrobiol. Hydrog. 36: 371—373.
- Riley G. A., 1941, Plankton studies III Long Island Sound, Bull. Bingham, Oceanogr. coll 7 (3): 1—93.
- Szirsow P. P., 1937, Siezonnyje jawlenia w żyźni fitoplanktona polarnych morej w swiazi z ledowym reżimom, Tr. Arkticzeskogo Inst. 82: 47—113.
- Szirsow P. P., 1938, Opyt opriedielenia produktivnosti fitoplanktona polarnych morej po fotosintezu, Naucz. rezultaty rabot eksped. na Czeluskinie 1: 237—247.
- Szirsow P. P., 1938a, Okieanologičeskije nabludienija na drefufużuszej stanciji „Siewiernyj polus“, Wiest. A. N. ZSRR 4: 12—20.
- Starmach K., 1955, Metody badania planktonu, Państw. Wyd. Roln. i Leśne, Warszawa. S. 133.
- Tucker A., 1949, Pigment extraction as a method of quantitative analysis of phytoplankton, Trans. Am. Microscop. Soc. 68: 21—33.
- Vallentyne J. R., 1955, Sedimentary chlorophyll determination as a paleobotanical method, Canad. J. Botany 33: 304—313.
- Vallentyne J. R. and Swabey Y. S., 1955, A reinvestigation of the history of lower linsley pond. Connecticut, Americ. J. Science 253: 313—340.

- Vallentyne J. R. and Craston D. F., 1957, Sedimentary chlorophyll degradation products in surface muds from Connecticut lakes, *Canad. J. Botany* 35: 35—42.
- Walczak J., 1953, Przemieszczenie i rozpraszanie się stada sielawowego w J. Chażykowie, *Roczn. Nauk. Roln.* 77 B (1): 39—51.
- Winberg G. G., Siwko T., 1953, Opredielenie sodierżania chlorofilla w planktonie, *Izwestia Akad. Nauk BSSR* (3): 61—74.
- Winberg G. G., 1954, Sodierżanie chlorofilla kak pokazatel koliczestwiennogo razwitia fitoplanktona. Tretiaja Ekologiczeskaja Konfierencja w Kijowie, *Tiezisy Dokładow, cz. IV*: 70—74.
- Winberg G. G., 1956, Pierwicznaja produktiwnost planktona, *Żurnał, Obszcz. Biolog.* 17 (5): 354—376.
- Winberg G. G., 1956a, Hidrobiologiczeskij oczerk oziera Czerwonoje. Trudy Kompleksnoj ekspedycji po izuczeniju wodojomow Polesia: 302—313.
- Winberg G. G., 1957, Znaczenije nowych mietodow limnologiczeskogo issledowania dla razrabotki tipologii ozier. Piataja Naucznaia Konfierencja po izuczeniu wnutrennych wodojomow Pribaltiki (16—20 aprelia 1957) Tezisy dokładow: 6—9.
- Winogradow M. E., 1952, Wlijanie dychania zooplanktona na umieńszenie sodierżania kisłoroda w razlicznych słojach wody, *Dokł. A. N. ZSRR* 82 (4): 637—639.
- Yentsch, Charles S., 1957, A non extractive method for the quantitative estimation of chlorophyll in algal cultures, *Nature* 179 (4573): 1302—1304.