Zmiany sezonowe chemosyntezy w przeżyźnionym ekosystemie wodnym

Seasonal changes in chemosynthesis in an excessively fertilized aquatic ecosystem

B. CZECZUGA i F. GRĄDZKI

WSTĘP

W każdym zbiorniku wodnym obok procesów produkcyjnych w wyniku których powstaje materia organiczna, zachodzą procesy destrukcyjne, którym towarzyszy wyzwalanie się energii zmagazynowanej w procesie fotosyntezy (Czczuga 1966a). Część produktów powstających w wyniku destrukcji jest ponownie włączana w procesy, w wyniku których powstaje substancja organiczna, ale już bez udziału energii świetlnej, tzn. w procesie chemosyntezy (Górski 1962). Produkty powstające w wyniku niepełnego utlenienia substancji organicznej powstają w danym zbiorniku wodnym lub poza jego obrębem. W zasadzie ta ostatnia forma występuje w wyjątkowych wypadkach (Winberg 1960).

Interesujące byłoby prześledzenie zmian sezonowych chemosyntezy w dość specyficznym ekosystemie wodnym, jakim jest jezioro zwane Wądołkiem, które jest przedmiotem badań limnologicznych (Czczuga 1966). Jest to zbiornik, w którym woda stagnuje zarówno zimą, wiosną i latem; jedynie w okresie późnej jesieni następuje chwilowe mieszanie tego zbiornika. Ponadto poczynając od głębokości 4—5 m w dół cała miąższość wody jest pozbawiona tlenu i w okresie stagnacji występuje w dużych ilościach siarkowodor.

METODA PRACY

Do naszych badań chemosyntezy używaliśmy izotopu węgla ^{14}C związanego pierwotnie w $\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$.

Pobierano próbki wody z pewnej głębokości do buteleczek z przytartym korkiem, do których dodawaliśmy izotopu węgla, ^{14}C podobnie jak to czynił Steemann-Nielsen (1952) badając fotosyntezę. W wyniku procesów chemosyntezy zarówno jest przyswajalny węgiel zawarty w próbce wody jak i węgiel znajdujący się w radioaktywnym roztworze. Dlatego też badając procesy chemosyntezy musimy znać koncentrację węgla mineralnego w próbce wody, radioaktywność węgla wbu-

dowanego w procesie chemosyntezy w bakterie oraz radioaktywność roztworu dodawanego do badanej próbki wody (radioaktywność początkowa).

Radioaktywność początkowa roztworu dodawanego do danej próby wody wynosiła około $10 \mu\text{C}$, a objętość tego roztworu była równa około $4,5 \text{ cm}^3$. W celu wyznaczenia dokładniejszej wartości aktywności początkowej ważono buteleczki na wadze analitycznej przed napełnieniem i po napełnieniu roztworem zawierającym izotop. Na podstawie tego wyznaczano masę roztworu, a następnie ze znajomości masy roztworu i aktywności właściwej (w C/g) dokładniej wyliczono aktywność początkową poszczególnych próbek.

W celu wyznaczenia aktywności węgla wbudowanego w procesie chemosyntezy w komórki bakteryjne sączo 20–50 ml wody lub całą próbę przez sączki membranowe Nr 1, po uprzednim zahamowaniu procesów życiowych przez dodanie 4% formaliny.

Przed sączeniem sączki zostały wysuszone w suszarce oraz zważone; to samo powtórzono po przesączeniu. W ten sposób określono ilość osadu wraz z bakteriami na sączku, co pozwoliło później uwzględnić poprawkę na autoabsorpcję. Następnie sączki wkładano pod licznik Geigera-Müllera i mierzono aktywność osadu na sączkach. W osadzie tym nie było węglanów, gdyż sączki przemywano słabym kwasem solnym (Sorokin 1955). Wobec tego aktywność sączka była proporcjonalna do ilości wbudowanego w komórki bakteryjne węgla ^{14}C . W celu wyznaczenia bezwzględnej aktywności wbudowanego węgla ^{14}C należało uwzględnić poprawki na kąt bryłowy, pochłanianie w warstwie powietrza oraz w okienku licznika, rozproszenie zwrotne i tło. Poprawka na czas rozdzielczy układu nie była uwzględniana ze względu na małą aktywność wbudowanego węgla ^{14}C .

Wymiary sączka z osadem nie były małe w porównaniu z okienkiem licznika (2,5 cm) i wobec tego względny kąt bryłowy (G), tj. stosunek kąta rzeczywistego do kąta pełnego wynosił 0,174.

Współczynnik pochłaniania w okienku licznika i warstwie powietrza między sączkiem a licznikiem (L) wynosił 0,44.

Autoabsorpcja zależy od grubości źródła promieniotwórczego (w naszym przypadku od grubości osadu na sączku) oraz od konkretnych warunków. Z tego względu wyznaczono krzywą autoabsorpcji na drodze doświadczalnej. Sporządzono kilkanaście próbek z izotopem węgla ^{14}C o tej samej ogólnej aktywności, lecz zawierających różne ilości nośnika. Następnie zmierzono szybkość liczenia tych próbek i wyniki pomiarów naniesiono na wykres. Rzeczywistą aktywność wyznaczono przez ekstrapolację krzywej do wartości zerowej grubości preparatu. Na podstawie uzyskanych danych wykreślono krzywą zależności współczynnika osłabienia wewnętrznego od grubości źródła.

Aby wyznaczyć współczynnik rozproszenia zwrotnego należy dany preparat B nanieść na cienką błonę. Taką błonę dla ^{14}C wykonano z celloidyny (Michrome celloidyn) rozpuszczonej w mieszaninie alkoholu z eterem (alkohol i eter wzięto w równych objętościach). Na środku błony umieszczono związek zawierający ^{14}C . Najpierw dokonano pomiaru aktywności preparatu bez podłoża. Aktywność preparatu zmierzono trzykrotnie. Następnie umieszczono preparat na sączku znajdującym

się na mosiężnej kasce (w takich warunkach dokonywano wszystkich pomiarów) i znowu trzykrotnie zmierzono aktywność. Ze stosunku aktywności źródła na podłożu i bez podłoża obliczono współczynnik rozproszenia zwrotnego, który wynosił 1,1.

Przed każdym pomiarem wyznaczono tło licznika, które następnie uwzględniano przy pomiarze aktywności osadu na sączku.

Buteleczki z określoną objętością wody pobranej z odpowiedniej głębokości czepakiem Ruttnera oraz z dodanym izotopem wkładano do ciemnych woreczków gumowych i opuszczano na tą głębokość, z której była pobrana woda.

W naszej pracy zakładano w oparciu o pracę Sorokina (1955), że nie zachodzi wymiana radioaktywnego węgla z roztworu do komórek bakteryjnych przy obecności formaliny. Ponadto dokonywano podliczeń bakterioplanktonu na sączkach membranowych przed doświadczeniem oraz po doświadczeniu metodą Razumowa (1932), by można było stosując metodę Sorokina (1964) uwzględnić poprawkę na heterotrofną asymilację węgla. Natomiast barwienia dokonywano podobnie jak w pracach poprzednich (Czeczuga 1960, 1960a, 1961, 1961a, 1962).

CHARAKTERYSTYKA ZBIORNIKA WODNEGO

Jezioro Wądołek leży na północny wschód od Suwałk tuż przy leśniczówce Samle Wielkie 2. Jak już sama nazwa wskazuje, jest to zbiornik drobny położony w wądole, którego stoki przeważnie porośnięte są wysokim lasem. Brzegi północno-zachodnie tego jeziora tworzą tzw. pływające wiszary, w wyniku czego tuż przy samym brzegu głębokość wynosi kilka metrów. Natomiast brzegi południowo-wschodnie są bardziej łagodne i gdzie niegdzie porośnięte roślinnością wodną, szczególnie grążelą żółtą.

Ponadto po jeziorze pływa 7 wysepek porośniętych krzewami i nieco wyższymi drzewami. Powierzchnia zwierciadła tego jeziora sięga około 1 ha, maksymalna głębokość 15,1 m, maksymalna długość 120 m, maksymalna szerokość 102 m. Jest to jezioro nie posiadające zarówno dopływów, jak i żadnych cieków odprowadzających wodę. Powstało ono prawdopodobnie na skutek wytopienia się martwego lodu w pierwszym optimum klimatycznym w okresie połodowcowym.

Przeprowadzone swego czasu przez Passowicza (1938) badania hydrochemiczne wykazały, że podczas cyrkulacji jesiennej nie cała miąższość wody jest poruszana przez wiatr. Było to podstawą do zaszeregowania tego jeziora do typu zbiorników z bradymiktycznym krążeniem jako jedynego swego rodzaju przykład meromiktycznego jeziora na niżu polskim.

W przeciągu 25 lat, na skutek częściowego wycięcia lasu, zwłaszcza w części zachodniej, nastąpiły w tym zbiorniku znaczne zmiany. W związku z tym zachodnie wiatry (a takie jesienią dominują) nie napotykają przeszkód w postaci lasu, powodując całkowite wymieszanie się wód tego jeziora (Czeczuga 1966). Wydaje się że jest to główną przyczyną tego, że obecnie jezioro Wądołek jest zbiornikiem holomiktycznym, tj. o pełnej cyrkulacji sięgającej dna.

Ryc. 1

Ryc. 3

Ryc. 2

Ryc. 4

Ryc. 1—8. Stosunki termiczno-tlenowe oraz intensywność chemosyntezy na poszczególnych głębokościach jez. Wądołek

Thermal and oxygen conditions and intensiveness of chemosynthesis at various depths of lake Wądołek.

Ryc. 5

Ryc. 7

Ryc. 6

Ryc. 8

1 - Stanowisko I, 2.06.1965; 2 - Stanowisko II, 2.06.1965; 3 - Stanowisko I, 30.08.1965; 4 - Stanowisko II, 30.08.1965;
5 - Stanowisko I, 26.II.1965; 6 - Stanowisko II, 26.II.1965; 7 - Stanowisko I, 18.03.1966; 8 - Stanowisko II, 18.03.1966
a - temperatura, b - tlen, c - siarkowodor, d - przezroczystość, e - chemosynteza
1 - Site I, June 2, 1965; 2 - Site II, June 2, 1965; 3 - Site I, August 30, 1965; 4 - Site II, August 30, 1965; 5 -
Site I, November 26, 1965; 6 - Site II, November 26, 1965; 7 - Site I, March 18, 1966; 8 - Site II, March 18,
1966.

a - temperature, b - oxygen, c - hydrogen sulphide, d - translucence, e - chemosynthesis

WYNIKI BADAŃ

Badania przeprowadzono w różnych porach roku poczynając od kwietnia 1965 r., a kończąc w marcu 1966 r. Butelecзки ustawiano na dwóch stanowiskach o różnych w zasadzie warunkach środowiskowych. Pierwsze stanowisko stanowił głęboczek jeziora, drugie stanowisko — północno-zachodnia część jeziora tuż przy wiszarach brzeżnych.

2 czerwca 1965 r. Łód stopniał na tym jeziorze 28 kwietnia, cyrkulacji wiosennej w zasadzie nie było. W dniu przeprowadzanych badań układ termiczno-tlenowy kształtował się w zasadzie tak, jak to bywa w okresie stagnacji letniej (ryc. 1).

Jeśli chodzi o wielkość chemosyntezy na poszczególnych głębokościach stanowiska I to uwidacznia ryc. 1.

Tuż na powierzchni lustra wody wielkość chemosyntezy sięga $0,270 \text{ mg C/m}^3$ w ciągu doby. W warstwie 1—2 m intensywność tych procesów zmniejsza się do $0,104\text{--}0,129 \text{ mg C/m}^3$ w ciągu doby, by ponownie zwiększyć się na głębokości 3 m do $0,266 \text{ mg C/m}^3$ w ciągu doby. Przy nieznacznym zmniejszeniu się tych procesów na głębokości 4 m stwierdzono w warstwach niżej leżących (do 8 m) raczej tendencje powolnego wzrostu osiągające na głębokości 8 m wielkość $0,465 \text{ mg C/m}^3$ w ciągu doby. Na głębokości 9 m nastąpił gwałtowny spadek procesów chemosyntezy do $0,050 \text{ mg C/m}^3$. Takiego mniej więcej rzędu wielkości notowano do głębokości 11 m. Natomiast na głębokości 12 m następuje powolny wzrost procesów chemosyntezy ($0,144 \text{ mg C/m}^3$), by w samej warstwie przwdennej, tj. na głębokości 13 m, osiągnąć maksimum ($4,233 \text{ mg C/m}^3$ w ciągu doby).

Natomiast na stanowisku II (ryc. 2) procesy te na poszczególnych głębokościach układały się nieco odmiennie. Tuż na powierzchni tafli wodnej wielkość chemosyntezy sięga $0,075 \text{ mg C/m}^3$, w warstwach niżej leżących następuje gwałtowny wzrost, który osiąga maksimum ($9,200 \text{ mg C/m}^3$ w ciągu doby) na głębokości 3 m. W warstwach niżej leżących, tj. 4—5 m, nastąpiło nieznaczne zmniejszenie się tych procesów ($2,250\text{--}2,940 \text{ mg C/m}^3$) jednak w porównaniu ze stanowiskiem I wielkości te są stosunkowo duże.

30 sierpień 1965 r. Układ termiczno-tlenowy w tym okresie, jak również wyniki oznaczeń chemosyntezy na stanowisku I są uwidocznione na ryc. 3. Na powierzchni tego stanowiska wielkość chemosyntezy sięga zaledwie rzędu $0,021 \text{ mg C/m}^3$ w ciągu doby. Tuż pod powierzchnią wzniki są nieco większe, a na głębokości 3 m osiągają maksimum ($0,480 \text{ mg C/m}^3$ na dobę). Natomiast poczynając od głębokości 4 m aż do samego dna intensywność chemosyntezy wahała się w granicach $0,018\text{--}0,090 \text{ mg C/m}^3$ w ciągu doby.

Jeśli chodzi o stanowisko II (ryc. 4) to większych zmian nie zanotowano. W warstwie powierzchniowej stwierdzono $0,019 \text{ mg C/m}^3$, następnie zaobserwowano nieznaczne zwiększenie się tych procesów na głębokości 2 m (do $0,070 \text{ mg C/m}^3$), by przy samym dnie, tj. na głębokości 5 m ponownie zmniejszyć się do $0,025 \text{ mg C/m}^3$ w ciągu doby.

26 listopad 1965 r. W dniu pobierania prób całe jezioro było pokryte lodem, tak że pobierania prób dokonywano już z lodu. Układ termiczno-tlenowy uwidoczniło na ryc. 5. Jak wynika z tego wykresu, w chwili poprzedzającej pokrycie się jeziora lodem, nastąpiło wymieszanie całej masy wody, o czym świadczy chociażby obecność tlenu. Ślady siarkowodoru wyczuwalne były poczynając od głębokości 11 m.

Wyniki oznaczeń chemosyntezy na stanowisku I uwidacznia również ryc. 5. Tuż pod pokrywą lodową stwierdzono zaledwie $0,009 \text{ mg C/m}^3$ zasymilowanego w procesie chemosyntezy w ciągu doby. Na głębokości 1 m ilość wbudowanego węgla w komórki bakteryjne w wyniku chemosyntezy zwiększyła się dziesięciokrotnie (do $0,093 \text{ mg C/m}^3$ w ciągu doby). Natomiast na głębokości 2 m nastąpił gwałtowny spadek (do $0,002 \text{ mg C/m}^3$). W niżej leżącej warstwie o miąższości 6 m (3–9 m) ilość asymilowanego w procesie chemosyntezy węgla zwiększyła się nieco ($0,002$ – $0,013 \text{ mg C/m}^3$), jednak był to wzrost minimalny. Większy nieco wzrost zanotowano w warstwie przydennej (10–14 m), w której to ilość asymilowanego węgla w procesie chemosyntezy wzrosła do $0,070$ – $0,708 \text{ mg C/m}^3$ w ciągu doby z maksimum na głębokości 11 m.

Intensywność chemosyntezy w tym okresie na stanowisku II, uwidacznia ryc. 6.

Tuż pod lodem w ciągu doby asymilują bakterie w procesie chemosyntezy $0,007 \text{ mg C/m}^3$, wtedy jak na głębokości 1 m ilość asymilowanego węgla wzrasta do $0,652 \text{ mg C/m}^3$ w ciągu doby, by na głębokości 2 m spaść ponownie do wielkości rzędu $0,010 \text{ mg C/m}^3$. Na głębokości 3 m ilość asymilowanego węgla wzrosła do $0,666 \text{ mg}$ w ciągu doby. Natomiast na głębokości 4 m nastąpił ponowny spadek do $0,007 \text{ mg C}$, a na poziomie 5 m zarysowało się ponowne zwiększenie się ilości asymilowanego węgla do $0,244 \text{ mg C/m}^3$ w ciągu doby.

18 marzec 1966 r. Całe jezioro pokryte było taflą lodową pozbawioną pokrywy śnieżnej. W niektórych miejscach na powierzchni lodu już gromadziła się woda.

Układy termiczno-tlenowe oraz chemosyntezę ilustrują ryc. 7 i 8.

Na stanowisku I ślady siarkowodoru stwierdzono już na głębokości 2 m natomiast na stanowisku II siarkowodór był wyczuwalny organoleptycznie już na głębokości 1,5 m pod lodem. Ponadto tuż pod samym lodem obserwowano dużą ilość skorupiaków przede wszystkim widłonogich. W związku z tym wodę dwóch pierwszych prób sączono przez gazę młynarską w celu oddzielenia zooplanktonu, by zapobiec wyjadaniu chemosyntezujących bakterii.

Tuż pod pokrywą lodową chemosynteza wynosiła $0,026 \text{ mg C/m}^3$ w ciągu doby natomiast na głębokości 1 m zmniejszyła się do $0,005 \text{ mg C/m}^3$, by na poziomie 2 m ponownie zwiększyć się do $0,543 \text{ mg}$. Natomiast warstwa niżej leżąca o miąższości 2-metrów (głębokość 3–5 m) wykazywała zaledwie ślady chemosyntezy ($0,002$ – $0,003 \text{ mg C/m}^3$). Na głębokości 6–7 m zarysowuje się wzrost ($0,363$ – $0,500 \text{ mg C/m}^3$) by ponownie na głębokości 8–10 m spaść do minimum ($0,003$ – $0,005 \text{ mg C/m}^3$). W warstwach niżej leżących następuje ponowny wzrost chemosyntezy osiągając wielkość maksymalną ($1,300 \text{ mg}$) na głębokości 14 m.

Na stanowisku II (ryc. 8) tuż pod lodem intensywność chemosyntezy wynosiła

0,006 mg C/m³, na głębokości 2 m następuje zwiększenie się do 0,209 mg C/m³, a w warstwach niżej leżących chemosyntezy utrzymywała się na poziomie wielkości notowanych w warstwie powierzchniowej.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Przeprowadzone badania nad zmianami sezonowymi chemosyntezy w przeżyźnionym ekosystemie wodnym, jakim jest jezioro Wądołek, wykazały, że intensywność tych procesów zmienia się w szerokim zakresie.

Minimalne wielkości — tysięczne części mg/m³ w ciągu doby — obserwowano w okresie jesienno-zimowym kiedy to zbiornik wodny pokryty był lodem. Natomiast największe wielkości — rzędu 4,233—9,200 mg/m³ w ciągu doby — stwierdzono na początku czerwca. Maksymalne wielkości tego rzędu, a nawet większe notował Sorokin (1964) w zaporowym zbiorniku Rybińskim. Nieco mniejsze wielkości maksymalne obserwował Romanienko (1965) w jeziorze Onega.

Jeśli chodzi o pionowe rozmieszczenie chemosyntezy to zarysowywały się dwa maksima, zarówno w środkowej części zbiornika (stanowisko I), jak i w partii przybrzeżnej (stanowisko II).

Na pograniczu warstwy tlenowej i beztlenowej obserwowano pierwszą maksymalną ilość związanego węgla w procesie chemosyntezy, natomiast drugie maksimum notowano w warstwie przydennej wtedy, o ile próby były pobierane do samego dna.

Jeśli porównamy ilości węgla asymilowanego w procesie chemosyntezy (maksymalną) z wynikami uzyskanymi tą samą metodą dla fotosyntezy (około 50 mg C/m³ w ciągu doby na powierzchni wg nie opublikowanych materiałów) to się okazuje, że chemosynteza w tym zbiorniku może sięgać rzędu jednej piątej fotosyntezy.

Ponadto zważywszy jeszcze ten fakt, że fotosynteza zachodzi stosunkowo w cienkiej warstwie wody, wtedy kiedy proces chemosyntezy przebiega w całej miąższości wodnej, to przeliczając uzyskane wyniki na metr kwadratowy powierzchni przekonamy się, że chemosynteza stanowi często pokaźną część wytwarzanej w zbiorniku wodnym materii organicznej.

Jak wiadomo hydrobiologowie próbują już obecnie ujmować całość przepływu energii w poszczególnych ekosystemach wodnych w postaci różnorodnych potoków (Odum 1963), w związku z tym badania nad chemosyntezą mają istotne znaczenie nie tylko ze względu na udział bakterii chemosyntezujących w łańcuchach troficznych zbiornika, lecz również z uwagi na znaczenie tych wielkości w bilansie energetycznym.

STRESZCZENIE

W okresie od czerwca 1965 do marca 1966 r. badano na dwóch stanowiskach zmiany sezonowe chemosyntezy w przeżyźnionym ekosystemie wodnym, jakim jest jezioro Wądołek.

Zbiornik ten będący przedmiotem badań limnologicznych Katedry Biologii A.M.B. leży w północno-wschodniej części Polski niedaleko Suwałk opodal leśniczówki Samle II. Powierzchnia zwierciadła wynosi około 1 ha, a maksymalna głębokość 15,1 m.

Do badań zastosowano metodę izotopową używając izotopu ^{14}C w postaci $\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$.

W wyniku tych badań stwierdzono, że intensywność chemosyntezy zmienia się w szerokim zakresie. Minimalne wielkości C — tysięczne części mg/m^3 w ciągu doby — obserwowano w okresie jesienno-zimowym, kiedy to zbiornik wodny pokryty był lodem. Natomiast największe wielkości rzędu 4,233—9,200 mg/m^3 w ciągu doby, stwierdzono na początku czerwca.

Natomiast w pionowym rozmieszczeniu chemosyntezy zarysowały się dwa maksima. Jedno na pograniczu warstwy tlenowej i beztlenowej, drugie maksimum — w warstwie przydennej zbiornika.

*Katedra Biologii AM
i Katedra Fizyki Lekarskiej AM
w Białymstoku*

SUMMARY

The seasonal changes in chemosynthesis in the lake Wądołek, an excessively fertilized aquatic ecosystem, were studied at two sites from June, 1965 to March, 1966.

This water body which is the object of limnological studies of the Department of Biology, School of Medicine, Białystok, is situated in the north-western part of Poland, near Suwałki in the neighbourhood of the forester's cottage Samle II. Its surface is 1 ha and maximum depth — 15.1 m.

The isotope method was employed and the ^{14}C in the form of $\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$ was used.

The studies proved that the intensiveness of chemosynthesis varies within a wide range. Minimum amounts of thousandth fractions of $\text{mgC}/\text{cu.m.}/24$ hrs. were observed in the autumn-winter period when the water body was covered with ice, whereas the highest, oscillating within the limits of 4.233—9.200 $\text{mgC}/\text{cu.m.}/24$ hrs. occurred at the beginning of June.

Two chemosynthesis maxima were observed in its vertical distribution. One occurred on the border of the aerobic and anaerobic layers and the other in the benthic layer of the water body.

LITERATURA

- Czczuga B., 1960, Bakterioplankton niektórych wód powierzchniowych woj. białostockiego obliczany metodą sączków membranowych, *Rocz. P.Z.H.* 11(5): 455—460.
- Czczuga B., 1960a, The influence of the isolation of water in small bottles upon the quantity of bacterioplankton, *Acta Hydrobiol.* 2(3): 356—359.
- Czczuga B., 1961, Intensywność rozmnażania się i produkcja bakterii Jezior Rajgrodzkich w okresie letnim, *Polskie Arch. Hydrobiol.* 9: 349—360.
- Czczuga B., 1961a, Sezonnyje izmienienija obszczego czista bakterii i wremia gienieracji w oziarach raznogo tipa. Pierwicznaja produkcja moriej i wnutriennich wodojomow, *Mińsk*: 262—265.
- Czczuga B., 1962, An attempt at establishing the production and numerical relations of bacterioplankton biomass, *Acta Hydrobiol.* 4(1): 1—20.
- Czczuga B., 1966, Wądołek — jezioro holomiktyczne, *Acta Hydrobiol.* 8(1): 1—4.
- Czczuga B., 1966a, Procesy destrukcyjne na tle produkcji pierwotnej w różnych ekosystemach wodnych. Produktowność ekosystemów wodnych, *Zeszyty Problemowe Kosmosu*, zeszyt 13: 107—116.
- Górski E., 1962, *Fizjologia roślin*, T.I. Warszawa, PWN.
- Odum E. P., 1963, *Podstawy ekologii*, Warszawa, PWRiL.
- Passowicz K., 1938, Ein meromiktischer See in Suwałki—Gebiet (Polen) *Arch. Hydrobiol. i Ryb.* 11(3—4): 210—214.

- Razumow A. S., 1932, Priamoj mietod uczota bakterij w wodie. Srawnienije ego s mietodom Kocha, Mikrobiologija 1(2): 131—146.
- Romanienko W. I., 1965, Mikrobiologičeskoje obsledowanije Oniežskiego oziera, Wygozierskiego wodochraniłiszcza i ozior Bielomorsko-Baltijskiego kanała, Mikrobiologija 34(2): 350—356.
- Sorokin J. I., 1955, Opriedielenije wielicziny chemosintieza w wodie Rybińskiego wodochraniłiszcza z primienienijem C^{14} , Dokł. A. N. SSSR 105(6): 1343—1345.
- Sorokin J. I., 1964, Rol tiemnowoj baktierialnoj asymilacji uglekisłoty w trofieke wodojomow, Mikrobiologija 33(5): 880—886.
- Steemann-Nielsen E., 1952, The use of radioactive carbon (C^{14}) for measuring organic production in the sea, J. Const. Int. Explor. Mer. 18: 117—140.
- Winberg G. G., 1960, Pierwicznaja produkcja wodojomow, 329 pp., Mińsk.