

В библиотеку лимнологического
института - О. Козлова

Verh. Internat. Verein. Limnol.

XIV

176-181

Stuttgart, Juli 1961

Отт.
K 587

**Über biologische Produktivität
der offenen Regionen des Baikalsees**

M. M. KOZHOW (Irkutsk, UdSSR)

Mit 3 Abbildungen im Text und auf 1 Beilage

1. Entwicklungsverlauf nach Jahreszeiten

Im Plankton des Baikalsees sind etwa 100 Arten von Algen bekannt, einige Dutzend Infusorien, 40 Rotatorien und 20 Krebstierarten. Massenhaft treten von ihnen in offenen Regionen nur wenige auf: die endemischen Diatomeen *Cyclotella baicalensis* SKW., *C. minuta* (SKW.) ANTIPOWA, *Melosira baicalensis* (K. MEYER) WISL., ferner *Melosira islandica* subsp. *helvetica* O. MÜLL., *Stephanodiscus binderanus* KÜTZ.) KOLBE (letzterer nur an seichten Stellen), die *Synedra ulna* (NITZCH) EHR., *S. acus* KÜTZ., einige Arten endemischer Peridineen der Gattungen *Gymnodinium*, *Peridinium*. Im Zooplankton gibt es 5—6 Infusorienarten, Rotatorien *Synchaeta pachypoda* JASCHN., Baikalformen der weit verbreiteten Arten *Notholca*, *Keratella*, *Filinia*, von den Krebstieren *Epischura baicalensis* SARS (Copepoda, Calanoida), *Macrohectopus branizkii* DYB. (Amphipoda) wie auch die Baikalvirietät des *Cyclops kolensis* LILIEB. (an offenen, seichten Stellen). Unter den planktonfressenden Fischen spielen die wichtigste Rolle der Omul (*Coregonus autumnalis migratorius* GEORGI), zwei Arten der endemischen Gattung *Cottocomephorus* (Cottoidei) und zwei Arten der endemischen Familie Comephoridae. Pelagische Lebensart führt auch der baikalische Seehund (*Phoca sibirica* GMEL.), der sich von Fischen nährt.

Die Beziehungen zwischen den wichtigsten Gliedern der Nahrungskette in der offenen Region des Baikals sind in Abb. 1 zu sehen.

Der biologische Frühling beginnt an seichten Stellen des Baikalsees schon im Januar, in Tiefwasserbereichen etwas später. In dieser Zeit beginnt unmittelbar unter der Eisedecke das Wachstum der obenerwähnten Diatomeen und Peridineen der Frühlingszeit. Im April erreicht die Biomasse der Algen ihren Höhepunkt.

Nachdem der Baikalsee von der Eisedecke befreit ist und sich eine gleichmäßige Frühlingstemperatur (3,5—4°) einstellt, verschwinden die Algen der Frühlingszeit, sie versinken in tiefere Wasserschichten und gehen zugrunde. Ende Juni und anfangs Juli erscheinen die Algen der Sommerzeit, unter ihnen die Protococcales, grüne Mastigophoren, Cyanophyceae, Diatomeen *Cyclotella minuta* u. a.

Gleichzeitig mit der Entwicklung des Phytoplanktons erscheinen in der frühen Frühlingszeit in Zonen der Photosynthese auch seine Verbraucher: Rota-

torien, Infusorien, der Nachwuchs der *Epischura*, des *Macrohectopus*. Zum Abschluß der Entwicklungsperiode unter der Eisdecke (März—April) wächst die Anzahl und die Biomasse des Zooplanktons an, besonders auf Kosten des Nachwuchses der *Epischura* (Abb. 2). Im Sommer entwickelt sich der Nachwuchs recht

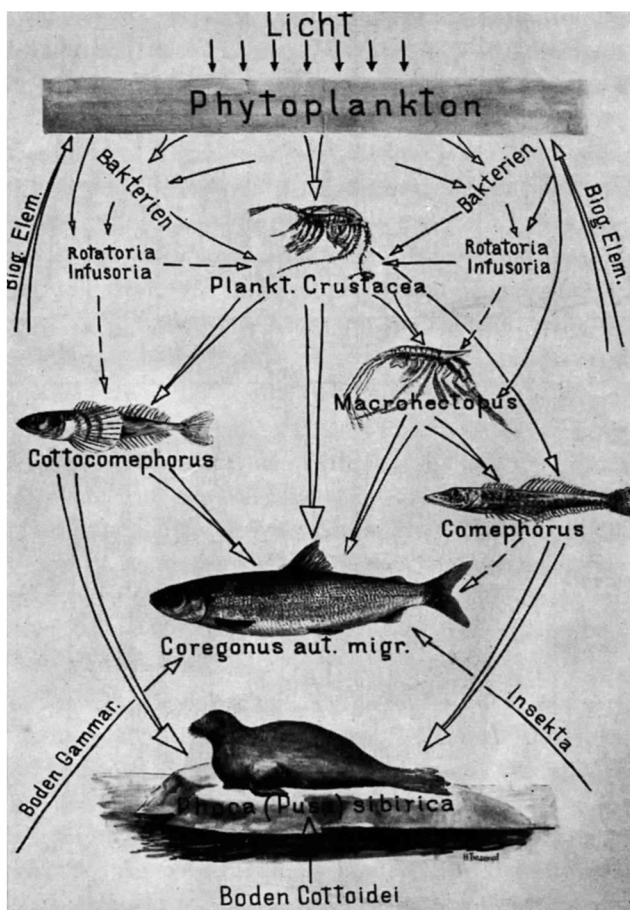


Abb. 1. Schema der Nahrungswechselbeziehungen in der pelagischen Region des Baikalsees. Doppellinien bezeichnen die wichtigsten, einfache Linien nebensächliche und gepunktete Linien voraussichtliche Beziehungen

intensiv und erreicht schon im Herbst wieder Geschlechtsreife. Auf umfangreichen Flächen erscheinen im Sommer massenhaft die *Cyclops kolensis* und andere wärmeliebende Arten des Zooplanktons. Ihr Jahresmaximum erreicht die Biomasse des Zooplanktons an seichten Stellen im Juli, an tiefen Stellen im August. Im November/Dezember verschwinden die Reste des Planktons in der Wassermasse.

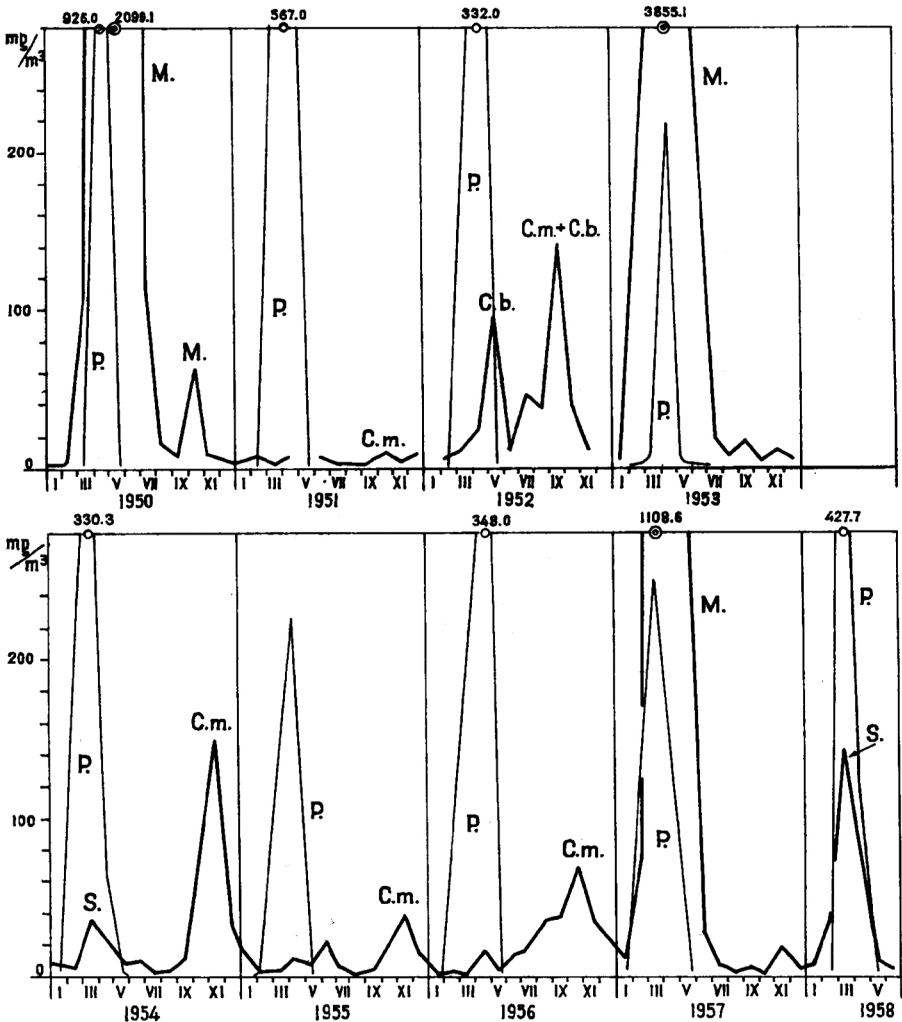


Abb. 2. Jahres- und Saisonschwankungen des Frischgewichts des Phytoplanktons im südlichen Teil des Baikalsees in mg/m^3 , im Durchschnitt in der Wasserschicht von 0—50 m, 1,5 km, von der Küste, über 700—800 m Tiefe (nach ANTIPOVA). — Mit Buchstaben sind die bedeutendsten Arten bezeichnet: C. m. — *Cyclotella minuta*, C. b. — *Cyclotella baicalensis*, M. — *Melosira baicalensis* und *M. islandica*, S. — *Synedra*-Arten, P. — Peridineen. Das Phytoplankton wurde mit Hilfe eines Bathometers in Fraktionen von 0, 2, 5, 10 m usw. gewonnen, der Niederschlag nach der Rechenmethode, das Gewicht nach dem Umfang der Zellen bestimmt.

Die pelagischen Fische überwintern in einer Tiefe von 150—300 m. Im Frühling kommen sie an seichte Küstenstellen; den Sommer verbringen sie in den Weiten des Sees.

2. Über Jahresschwankungen in der Biomasse und der Produktion

In verschiedenen Jahren ist die Biomasse und die Planktonproduktion völlig verschieden (АНТИПОВА und КОЗХОВ 1953). Im Phytoplankton hängen diese Unterschiede vorwiegend von den Diatomeen der Gattung *Melosira* ab. Besonders reiche Erträge an *Melosira* kehren periodisch in 2—3 Jahren wieder (Abb. 3). In ertragreichen Jahren steigt im April (unter der Eisdecke) in der Wasserschicht von 0—25 m das Frischgewicht der *Melosira* durchschnittlich bis zu 5—10 g/m³ und höher. Die anderen Algen machen in solchen Jahren im Frühling nur einen sehr geringen Teil der allgemeinen Biomasse aus. In den übrigen Jahren überwiegen im Frühling die *Cyclotella baicalensis* und Peridineen, dazwischen auch Arten der *Synedra*. Jedoch das Maximum der Biomasse all dieser Algen erreicht in der Wasserschicht von 0—25 m gewöhnlich kaum einige hundert Milligramme je Kubikmeter. Die Biomasse der Algen der Sommerzeit und der Umfang der Fläche, auf welcher sie blühen, ist in verschiedenen Jahreszeiten auch sehr verschieden.

Das Frischgewicht des Zooplanktons wiegt in ertragreichen Jahren in der Wasserschicht von 0—50 m etwa auf einem Drittel des Baikals (an seichten und angrenzenden tiefen Stellen) durchschnittlich bei 400—500 kg/ha, an manchen Stellen bis 1000 kg/ha (1—2 g/m³). In sonstigen Jahren steigt das Gewicht höchstens auf 300 kg/ha (0,6 g/m³). An tiefen Stellen, die weit von den seichten entfernt sind, schwankt die Biomasse des Zooplanktons in ertragreichen Jahren im Ausmaß von 200—300 kg/ha (0,4—0,6 g/m³), in ertragarmen Jahren erreicht sie höchstens 100—150 kg/ha (0,2—0,3 g/m³).

Die Produktion des Phytoplanktons wurde im Baikalsee von K. K. WOTINZEW (1952, 1956) nachgeprüft, wobei man sich der Hell-Dunkel-Flaschenmethode von G. G. WINBERG bediente. S. I. KUSNEZOW (1955) untersuchte mit Hilfe des radioaktiven Kohlenstoffs C¹⁴ die Primärproduktion des Baikals. Die Beobachtungen KUSNEZOWS zeigten, daß im August 1953 die tägliche Produktion an Kohlenstoff durch Photosynthese an verschiedenen Stellen des Baikals im Bereich von 133—570 mg/m³ schwankte. Nach den Angaben von WOTINZEW und SAMARINA betrug in den Jahren 1948 und 1955 (Depressionsjahre in der Entwicklung der *Melosira*) die gesamte Jahresproduktion an Kohlenstoff (abgesehen vom Verbrauch beim Atmen) 200 und 243 g/m², was 400—486 g/m² trockenen organischen Stoff ausmacht. Im Jahre 1957 (einem ertragreichen Jahr an *Melosira*) betrug die Gesamtproduktion an Kohlenstoff schon allein in der Frühlingszeit (Januar bis Juni) bei 229 g/m². Die an *Melosira* reichen Jahre kennzeichnen sich im Baikalsee somit nicht nur durch eine außerordentlich umfangreiche Biomasse der Algen im Frühling, sondern auch durch eine bedeutend höhere Jahresproduktion.

Es ist jedoch zu beachten, daß sich die Orte, an welchen die erwähnten Forschungen unternommen wurden, während des Sommers unter dem Einfluß der

Strömungen befinden, die von dem an Plankton reichen seichten Gewässer bei dem Delta Selenginsk kommen. An ultratiefen Stellen muß die Jahresproduktion des Phytoplanktons geringer sein.

Die Schwankungen in der Produktion des Zooplanktons hängen vor allem von der Entwicklung der *Epischura* ab, deren Biomasse gewöhnlich 80—90% der Biomasse des gesamten Zooplanktons ausmacht. Im Laufe eines Jahres hat die *Epischura* zwei Generationen. Voranschläge zeigen, daß ihre Jahresproduktion auf dem ganzen See durchschnittlich ungefähr 1—1,4 g/m³ oder 500—700 kg/ha beträgt, in ertragarmen Jahren ist die Jahresproduktion 2- bis 3mal geringer.

Die Jahresproduktion der pelagischen Fische des Baikalsees liegt bei 20 000 bis 30 000 Tonnen, was etwa ein Vierzigstel der Jahresproduktion des Krebstierplanktons ausmacht. Von den pelagischen Fischen werden im Laufe des Jahres nur 10 000 Tonnen oder 3,3 kg/ha gewerblich gewonnen. Betrachten wir nun einige Faktoren des Milieus, die die Fähigkeit besitzen, auf die Schwankungen der Biomasse und der Produktion des Planktons im Baikalsee einzuwirken.

Die Anzahl der biogenen Stoffe in der Zone der Photosynthese ist im Baikalsee im Laufe des Jahres, wie in sonstigen Wasserbehältern, Veränderungen unterworfen, die von dem Saisonkreislauf in der Entwicklung des Phytoplanktons und der Zirkulierung der Wassermassen abhängen (WOTINZEW 1956). Jedoch die Jahresunterschiede dieser Schwankungen entsprechen offensichtlich nicht den Jahresschwankungen im Ertrag an Phytoplankton.

Um die Rolle allochthoner biogener Stoffe Einwanderung zu klären, haben wir einen Vergleich der Periodizität der hohen Erträge an Phytoplankton mit der Wasserzufuhr der Flüsse, die in den Baikalsee münden, wie auch mit den Jahreschwankungen im Wasserstand unternommen. Jedoch konnten wir keine direkten Entsprechungen zwischen den Jahresschwankungen dieser Faktoren und dem Ertrag an Phytoplankton feststellen. Derartige Entsprechungen sind im Baikalsee auch schwerlich zu erwarten, da der Umfang des Sees 500mal größer ist als der Umfang des jährlichen Wasserzuzufusses und die Tiefe der produktiven Schicht nur $\frac{1}{30}$ bis $\frac{1}{50}$ der mittleren Tiefe des Sees beträgt.

Einen gewaltigen Einfluß auf die Entwicklung des Planktons erweist die Temperatur des Wassers. In ultratiefen Bereichen, wo die Temperatur der oberen Schicht im Sommer selten über 10—12° steigt, ist die Biomasse der Algen der Sommerzeit immer geringer als an seichten Stellen, wo das Wasser bis zu 15—18° erwärmt wird, obgleich es an tiefen Stellen nicht weniger biogene Stoffe gibt als an seichten. Infolge der niedrigen Temperatur des Wassers zieht sich die Frühlingsentwicklung der Algen in ultratiefer Region bis zum Juli hinaus, während an seichten Stellen schon Sommerarten vorherrschen. In besonders kalten Jahren fehlen die Algen der Sommerzeit in ultratiefer Region praktisch genommen überhaupt gänzlich, an seichten Stellen verringern sich in bedeutendem Maße die Flächen, auf denen sich das sommerliche Blühen vollzieht.

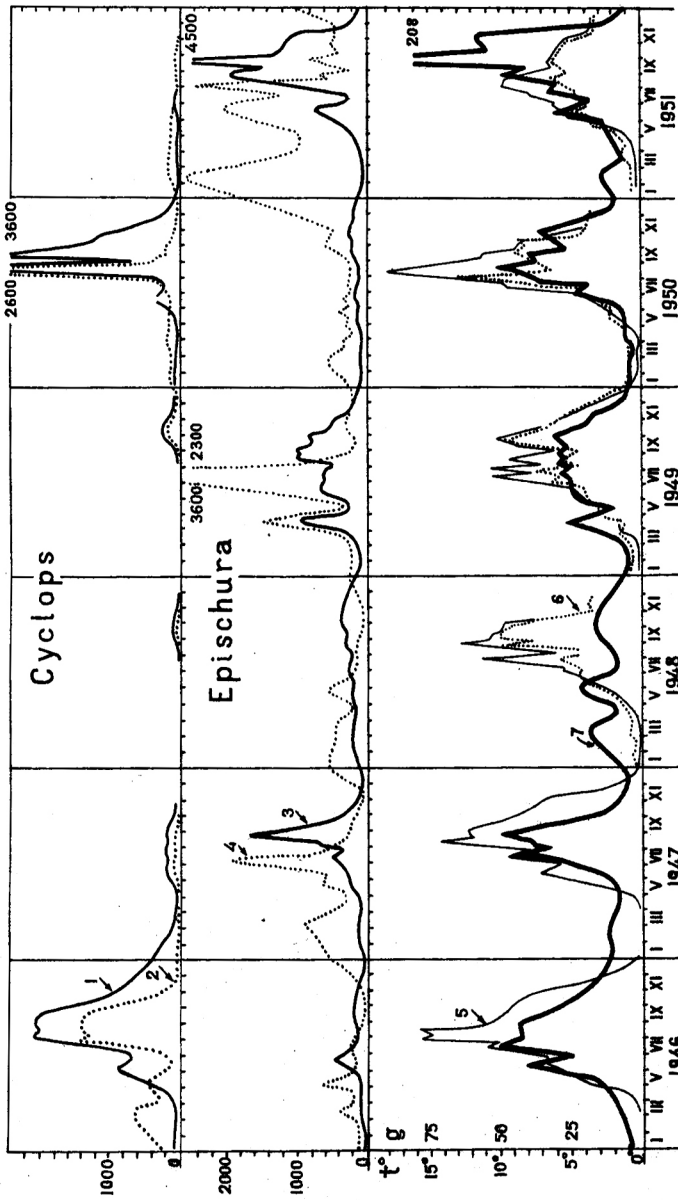


Abb. 3. Saison- und Jahreschwankungen in der Anzahl und Biomasse der planktonischen Crustacea im südlichen Teil des Baikalsees in 1,5 km Entfernung von der Küste, in 700—800 m Tiefe. Die Anzahl der Krebstiere ist in je tausend Exemplaren angeführt, das Frischgewicht in Gramm pro m² in einer Schicht von 0—250 m. Das Plankton wurde in Fraktionen mit Hilfe eines verschleißbaren Netzes von der Siebgröße 50 und eines Ansatzkegels mit einem Eingangsdurchmesser von 28 cm gewonnen.

1. Anzahl der Copepoditstadien des *Cyclops kolensti*
2. Anzahl der Larvenstadien desselben
3. Anzahl der Copepoditstadien der *Epischura*
4. Anzahl der Larvenstadien derselben
5. Temperatur der obersten Wasserschicht (C°)
6. Temperatur in 25 cm Tiefe
7. Gesamtes Frischgewicht der planktonischen Krebstiere

Ein wichtiger Regulator für die Anzahl der Algen ist bekanntlich der Verbrauch derselben durch Konsumenten. Dieser Faktor dürfte wohl nicht nur von unmittelbarer Bedeutung sein. Wir vermuten, daß auch der Typ des Entwicklungslaufes der Algen hinsichtlich ihrer Anzahl, wenigstens bei einigen Arten, nicht ohne Teilnahme des Verbrauchsfaktors zustande kommt. Als Beispiel kann hier die sprungweise Entwicklung der *Melosira*-Arten dienen. In ertragreichen Jahren ist die Biomasse der *Melosira*-Arten hundertmal höher als die Biomasse ihrer Verbraucher, und der Verbrauch kann dabei nur einen äußerst unbedeutenden Verlust herbeiführen. In den Perioden der Depression jedoch sind die lebenden Zellen dieser Diatomeen in der Wassermasse oder auf dem Grund zerstreut und für den Verbraucher unerreichbar. Die Dauer der Depression (2 oder 3 Jahre) kann auch von den Temperaturbedingungen abhängen, unter welchen das Heranreifen der Algen während der Ruhestadien erfolgt.

Für die Entwicklung des Zooplanktons ist der Temperaturstand ohne Zweifel einer der wichtigsten Faktoren.

Literatur.

- АНТИПОВА, N. L., u. KOZHOW, M. M. Beiträge zu Saison- und Jahresschwankungen im Ertrag massenhafter Planktonformen des Baikalsees.
- WOTINZEW, K. K. Beitrag zur Dynamik der biogenen Elemente in den Wassern des Baikalsees.
- Energie der Photosynthese und Saisonveränderungen der Biomassen der *Melosira baicalensis*.
 - Stickstoff und Phosphor in den Wassern des Baikalsees.
- KOZHOW, M. M. Saison- und Jahresveränderungen im Plankton des Baikalsees.
- Horizontale Verteilung des Planktons und der planktonfressenden Fische im Baikalsee.
- KUSNEZOW, S. I. Anwendung der radioaktiven Kohlendioxid C^{14} zur Bestimmung des relativen Umfangs der Photosynthese und Chemosynthese in einer Reihe von Seen verschiedenen Typs.
- Антипова, Н. Л., Кожов, М. М. 1953. Материалы о сезонных и годовых колебаниях в урожае некоторых массовых форм фитопланктона оз. Байкал. Тр. Иркутского государственного университета, 7 (1—2), 63—68.
- Вотинцев, К. К. 1952 а. Материалы по динамике биогенных элементов в водах оз. Байкал. Докл. АН СССР, 84/2, 353—356.
- 1952 в. Энергия фотосинтеза и сезонные изменения биомассы мелосира байкаленсис. Докл. АН СССР, 84 (3), 607—610.
 - 1956. Азот и фосфор в водах оз. Байкал. Тр. Всес. гидроб. об-ва, У 11, 24—36.
- Кожов, М. М. 1955. Сезонные и годовые изменения в планктоне оз. Байкал. Тр. Всес. гидроб. об-ва У 1, 134—157.
- 1957. Горизонтальное распределение планктона и планктоноядных рыб в оз. Байкал. Тр. Байкальской лимнологич. ст. АН СССР, У, 337—376.
- Кузнецов, С. И. 1955. Использование радиоактивной углекислоты C^{14} для определения сравнительной величины фотосинтеза и хемосинтеза в ряде озер различных типов. Изотопы в микробиологии. Тр. Конф. по примен. меченых атомов в микробиологии, Москва, 126—135.