

Научная статья

УДК 574.4:574.5:556.114

DOI 10.18101/2587-7143-2021-4-29-35

## ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПЛАНКТОНА СОДОВО-СОЛЕННЫХ ОЗЕР ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

© Цыбекмитова Гажит Цыбекмитовна

кандидат биологических наук, доцент, заведующая лабораторией водных экосистем

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН

Россия, 672014, г. Чита, ул. Недорезова, 16а

gazhit@bk.ru

**Аннотация.** На примере озер Дабаса-нур и Куджартай показана фотосинтетическая активность планктона водоемов. Исследованные озера отличны по своему гидрохимическому составу: оз. Дабаса-нур является хлоридным озером, а оз. Куджартай — содовым. Содержание хлорофилла *a* в оз. Дабаса-нур меньше, чем в содовом оз. Куджартай. Деградирующая форма хлорофилла *a* — феофитин присутствует только в оз. Дабаса-нур. В пигментном разнообразии планктона озер преобладают каротиноиды как более устойчивые формы пигментов. В планктоне обоих озер хлорофилл *c* не обнаружен. Таким образом, в современных условиях периода восстановления водности озер после продолжительного засушливого времени фотосинтетическая активность экосистемы водоемов испытывает определенные трудности.

**Ключевые слова:** содово-соленые озера, хлорофиллы, феопигменты, каротиноиды, пигментный индекс, планктон.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта № FUFР-2021-0006 «Геоэкология водных экосистем Забайкалья в условиях современного климата и техногенеза. Основные подходы к рациональному использованию вод и их биологических ресурсов».

### Для цитирования

Цыбекмитова Г. Ц. Фотосинтетическая активность планктона содово-соленых озер Восточного Забайкалья // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география. 2021. № 4. С. 29–35.

**Введение.** Определение содержания фотосинтетических пигментов фитопланктона является одним из стандартных методов экологических исследований. Метод широко используется в системе гидробиологического мониторинга водных объектов. С помощью данного метода проводится оценка биологической продуктивности и экологического состояния водоемов [8, 9, 13].

В процессе фотосинтеза могут участвовать кроме основного пигмента — хлорофилла *a*, и дополнительные пигменты, такие как хлорофилл *b* и *c*. Значения соотношения различных пигментов используются для предварительной идентификации основных групп водорослей. Для оценки функциональной активности и физиологического состояния сообщества водорослей определяют содержание деградируемых форм хлорофилла — феофитина. При старении популяции, истощении минерального питания, недостатке и избытке света происходит накопление желтых пигментов — каротиноидов. Для оценки соотношения желтых и зеленых пигментов используется показатель К/Хл, а также пигментный индекс,

выраженный через отношение оптических плотностей ацетонового экстракта в соответствующих максимумах поглощения ( $E_{430}/E_{664}$ ). Считается, что повышение пигментного индекса свидетельствует об ухудшении «физиологического» состояния фитопланктона или увеличении его пигментного разнообразия [3, 5, 8].

Все растительные пигменты чувствительны к свету, теплу, кислотам, основаниям и кислороду<sup>1</sup> [6]. Тепло, свет и кислород приводят к деградации пигментов. Скорость разрушения пигментов зависит от степени воздействия факторов среды в процессах старения и отмирания растительных клеток, трансформации органического вещества растений в трофических цепях питания и разложения. Хлорофилл *a* разрушается сильнее, чем более стабильные каротиноиды [19].

Таким образом, фотосинтетическая активность планктона определяет уровень биологической продуктивности водоема в целом. Концентрация пигментов коррелирует с температурой, прозрачностью воды, содержанием кислорода, легкоокисляемыми органическими веществами и биогенными элементами. Избыточное поступление органического вещества и биогенных элементов отражается на уровне развития и потенциальной фотосинтетической активности фитопланктона и продуктивности экосистемы [1, 8, 14], что характеризует индикаторную значимость растительных пигментов в мониторинге природных вод [7].

Цель настоящего исследования — сравнительный анализ фотосинтетической активности планктона в разных по гидрохимическому составу озерах Онон-Торейской высокой равнины.

**Материал и методы.** Положенные в основу настоящей работы материалы натурных исследований фотосинтетической активности фитопланктона получены автором во время комплексной экспедиции двух лабораторий: 1) водных экосистем и 2) геоэкологии и гидрогеохимии Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН в июле 2021 г. на озерах Дабаса-нур (хлоридный) и Куджартай (содовый). Озера расположены в Онон-Торейской высокой равнине, координаты их расположения показаны в таблице 1.

Все мероприятия по отбору, фильтрации и дальнейшей обработке проб проводились в соответствии с ГОСТом 17.1.4.02-90 с изменениями от 13.07.2017<sup>2</sup>. Планктон концентрировали на мембранных фильтрах с последующей их экстракцией в 90%-ном ацетоне. Идентификацию экстракта проводили на спектрофотометре SPICOL-1300. Одновременно с определением хлорофилла *a* проводили определение концентрации феофитина *a*, хлорофиллов *b* и  $c_1+c_2$ . С этой целью до подкисления экстракта дополнительно взяты отсчеты на двух длинах волн — 430 и 480 нм. Концентрацию хлорофиллов *a*, *b* и *c* определяли по уравнениям, представленным в вышеуказанном ГОСТе. Также рассчитывали пигментный индекс  $E_{430}/E_{665}$  [20, 21], представляющий собой соотношение оптических плотностей экстрактов на соответствующих длинах волн. Одновременно с отбором проб проводили измерения абиотических параметров среды с помощью многопараметрического портативного анализатора качества вод GPS-AQVAMETER (Aquaread, Великобритания).

<sup>1</sup> Экосистема озера Плещеево. Ленинград: Наука, 1989. 264 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 17.1.4.02-90. Межгосударственный стандарт. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. Москва: Изд-во стандартов, 2017. 15 с.

**Результаты исследования.** В естественных условиях физико-химическое состояние природных вод зависит от процессов растворения и химического выветривания горных пород, а также от биогеохимических процессов, протекающих в почвах водосборной площади и в донных отложениях водоемов. Важными факторами для функционирования экосистемы являются температурный режим, обеспеченность минеральным питанием и кислородом, а также глубина и прозрачность воды. Данные озера имеют небольшую глубину 0,1–0,3 м. Прозрачность водного столба — до дна. рН в экосистемах соответствует: оз. Куджартай — 9,35, оз. Дабаса-нур — 8,86.

Анализ пигментных характеристик воды исследуемых озер показал следующие результаты (табл. 1).

Таблица 1

Содержание пигментов (мкг/л) планктона озер, июль 2021 г.

Озера	Координаты	$C_{ха}$	$C_{фа}$	$C_b$	$C_{c1+c2}$	$C_k$ ( $3+c-3$ )	$C_k$ (диат.)	$I$ 430/664
Дабаса-нур	50°12'00" 115°22'12"	0.11	0.082	0.84	-0.55	3.25	8.11	5
Куджартай	50°12'00" 115°04'12"	1.68	-0.003	11.7	-16.62	34.40	86.00	3

Примечание:  $C_{ха}$  — концентрация хлорофилла  $a$  с поправкой на присутствие феофитина  $a$ ;  $C_b$  — концентрация хлорофилла  $b$ ;  $C_{фа}$  — концентрация феофитина  $a$ ;  $C_k$  — концентрация каротиноидов;  $C_{c1+c2}$  — концентрация хлорофиллов  $c_1$  и  $c_2$ ;  $I$  — пигментный индекс

Представленные результаты показывают, что уровень содержания хлорофилла  $a$  в оз. Дабаса-нур (0,107 мкг/л) намного ниже, чем в воде сравниваемого озера (1,675 мкг/л). В воде оз. Дабаса-нур содержание феофитина имеет положительное значение, чем в воде оз. Куджартай. Следовательно, в воде оз. Дабаса-нур имеет место разрушение хлорофилла  $a$ . Хлорофилл  $c$  в обоих озерах не обнаружен, а содержащиеся каротиноиды представлены в большей степени диатомовыми водорослями. Получено большее значение пигментного индекса в оз. Дабаса-нур.

Пигментное соотношение в воде озер показано на рис. 1.

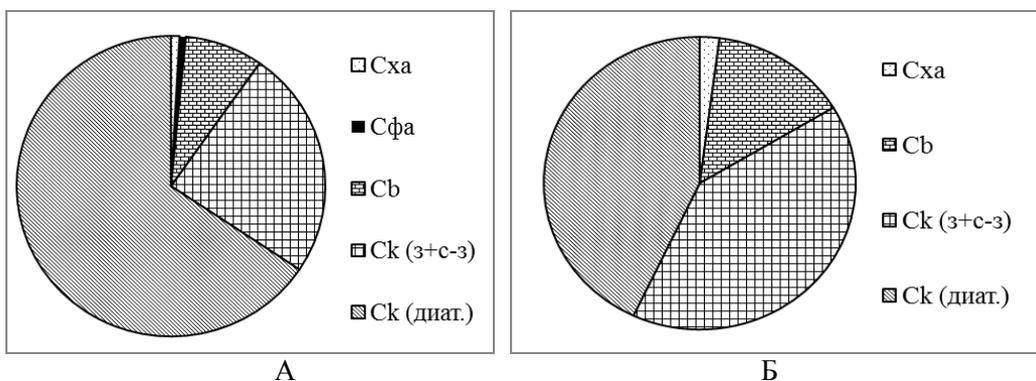


Рис. 1. Соотношение планктонных пигментов в озерах:  
А — оз. Дабаса-нур; Б — оз. Куджартай

Полученные результаты по их соотношению указывают, что в воде исследованных озер в наибольшем количестве содержатся более устойчивые к внешним факторам каротиноиды. В оз. Дабаса-нур преобладают каротиноиды зеленых водорослей, в оз. Куджартай — каротиноиды диатомовых имеют небольшое преимущество над зелеными. Хлорофиллы *c* в исследованных пробах не обнаружены в обоих озерах.

Концентрация хлорофилла *b* в оз. Дабаса-нур в 8 раз выше, а в оз. Куджартай — в 11 раз выше, чем содержание хлорофилла *a*. Небольшое содержание феофитина в воде оз. Дабаса-нур указывает, что в большей степени фитопланктон находится в неактивной форме по сравнению с оз. Куджартай (отрицательное значение).

**Обсуждение результатов.** При неблагоприятных экологических условиях для фитопланктона в первую очередь разрушается хлорофилл *a*, что сопровождается накоплением более устойчивых к разрушению каротиноидов [9, 16, 17, 23]. Следовательно, в оз. Дабаса-нур физико-химические условия экосистемы оказывают воздействие на физиологическую активность фитопланктона, о чем свидетельствует небольшое содержание хлорофилл *a* по сравнению с оз. Куджартай.

Дегградация хлорофилла *a* при внешнем и внутреннем неблагоприятном воздействии связана с преобразованием его в феофитин и частичной потерей им физиологической активности. С биохимической точки зрения феофитин представляет собой молекулу хлорофилла, в которой отсутствует центральный ион  $Mg^{2+}$  [22].

Известно, что феофитины хорошо сохраняются в донных отложениях, особенно в анаэробных условиях [12, 24], и могут поступать в толщу воды при взмучивании седиментов [4]. Исследованные озера в настоящее время имеют небольшую глубину, в связи с этим нельзя не учитывать возможное поступление их из донных отложений, как во время отбора проб, так и в результате ветроволновых процессов. С другой стороны, увеличение концентрации феофитина возможно связано с выеданием водорослей зоопланктоном [18]. Степень разрушения хлорофилла зависит как от концентрации водорослей, так и от скорости их потребления и вида консументов [15].

Хлорофилл *b* содержится у представителей зеленых и эвгленовых, а хлорофилл *c* встречается в клетках диатомовых, золотистых и эвгленовых водорослей [10]. Установлено, что в видовом составе фитопланктона среди диатомовых водорослей по мере роста минерализации начинают преобладать бентосные формы над настоящими планктонными видами, среди зеленых водорослей увеличивается удельный вес монадных форм [2]. Полученные показатели пигментного индекса ( $E_{430}/E_{664}$ ) от 3 до 5 указывают на преобладание гетеротрофного метаболизма над автотрофным в сообществе фотосинтетиков [8].

Другим фактором, подавляющим активность хлорофилла *a*, является фактор избыточного поступления в экосистему биогенных элементов, что отражается на уровне развития и потенциальной фотосинтетической активности фитопланктона и продуктивности экосистемы, а также, возможно, избыток света при незначительной глубине водоемов [1, 9, 11]. Эти и другие факторы, тормозящие фотосинтетическую активность планктона, требуют дальнейших исследований.

**Выводы.** Сравнительный анализ двух исследованных в августе 2021 г. озер (оз. Дабаса-нур и оз. Куджартай) показал, что в хлоридном оз. Дабаса-нур выявлено небольшое содержание хлорофилла *a*. В пробе присутствует деградирован-

ная форма хлорофилла *a* — феофитин. Следовательно, фотосинтетическая активность воды оз. Дабаса-нур испытывает определенные трудности — фитопланктон находится в угнетенном состоянии. Это может быть связано с современными физико-химическими условиями экосистемы водоема — с процессом восстановления водности озера после продолжительного засушливого периода. Напротив, в содовом оз. Куджартай концентрация хлорофилла *a* намного выше, чем в оз. Дабаса-нур. Феофитин не обнаружен, что указывает на физиологическую активность первичного звена продуктивных процессов — фитопланктона.

В то же время в пигментном разнообразии планктона исследованных озер преобладают каротиноиды как более устойчивые формы пигментов. В оз. Дабаса-нур превалируют каротиноиды зеленых водорослей, в оз. Куджартай каротиноиды диатомовых имеют небольшое преимущество над зелеными. Это подтверждает более высокое содержание в воде оз. Куджартай хлорофилла *b*, связанного с наличием в составе сообществ фитопланктона зеленых водорослей. Хлорофилл *c* не обнаружен в планктоне обоих озер.

#### Литература

1. Алимов А. Ф., Богатов В. В., Голубков С. М. Продукционная гидробиология. Ленинград: Наука, 2013. 339 с.
2. Экосистемы содовых озер северо-востока Центральной Азии в поисках ответов на вызовы времени / Борзенко С. В., Базарова Б. Б., Куклин А. П. [и др.] // Байкал — ворота в Азию: материалы международной научно-практической конференции, посвященной Году науки и техники в РФ и 30-летию БИП СО РАН. Улан-Удэ, 2021. С. 59–62.
3. Бульон В. В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Ленинград: Наука, 1983. 150 с.
4. Елизарова В. А. Состав и содержание растительных пигментов в водах Рыбинского водохранилища // Гидробиологический журнал. 1973. Т. 9, № 2. С. 23–33.
5. Ермолаев В. И. Фитопланктон водоемов бассейна озера Сартлан. Новосибирск: Наука, 1989. 96 с.
6. Копылов А. И., Косолапов Д. Б. Микробная «петля» в планктонных сообществах морских и пресноводных экосистем. Ижевск, 2011. 332 с.
7. Ляшенко О. А. Растительные пигменты как показатели биомассы фитопланктона в мелководном эвтрофном озере // Проблемы региональной экологии. 2004. № 5. С. 6–14.
8. Минеева Н. М. Растительные пигменты в воде Волжских водохранилищ. Москва: Наука, 2004. 156 с.
9. Минеева Н. М. Эколого-физиологические аспекты формирования первичной продукции водохранилищ Волги: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. Нижний Новгород, 2003. 42 с.
10. Саут Р., Уиттик А. Основы альгологии. Москва: Мир, 1990. 597 с.
11. Сигарева Л. Е. Пигментные критерии оценки экологического состояния водоемов // Биологические основы экологического нормирования. Москва: Наука, 1993. С. 64–69.
12. Сигарева Л. Е. Хлорофилл в донных отложениях волжских водохранилищ. Москва: КМК, 2012.
13. Сиренко Л. А. Методы оценки и прогноз состояния водных экосистем по данным натуральных наблюдений // Комплексные исследования экосистем бассейна реки Енисей. Красноярск: Изд-во Краснояр. гос. ун-та, 1985. С. 14–21.
14. Сиренко Л. А. Информационное значение хлорофиллового показателя // Гидробиологический журнал. 1988. Т. 24, № 4. С. 12–16.

15. Burford M. A., Long B. G., Rothlisberg P. C. Sedimentary pigments and organic carbon in relation to microalgal and benthic faunal abundance in the Gulf of Carpentaria // *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 1994. V. 103. P. 111–117.
16. Foy R. H. A comparison of chlorophyll *a* and carotenoid concentrations as indicators of algal volume // *Freshwater Biol.* 1987. V. 17. № 2. P. 237–250.
17. Goodwin T. W. *The biochemistry of the carotenoids.* Plants. London: New York, 1980. 377 p.
18. Hallegraeff G. M. Pigment diversity in freshwater phytoplankton. 2. Summer succession in three Dutch lakes with different trophic characteristics // *Inter. Rev. ges. Hydrobiol.* 1977. Vol. 62, № 1. P. 19–39.
19. Hurley J. P., Armstrong D. E. Pigment preservation in lake sediments: a comparison of sedimentary environments in Trout Lake, Wisconsin // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1991. Vol. 48. № 3. P. 472–486.
20. Margalef R. Correspondence between the classic types of lakes and the structural and dynamic properties of their population *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen.* 1964. Vol. 15, № 1. P. 169–175.
21. Margalef R. *Perspectives in ecological theory.* Chicago: Univ Press, 1968. 102 p.
22. Nelson David L., Cox Michael M. *Lehninger Principles of Biochemistry.* 4th ed. New York: W. H. Freeman, 2005. 1119 p.
23. Priyadarshani I., Biswajit R. Commercial and industrial applications of micro algae — a review // *J Algal Biomass Utln.* 2012. Vol. 3, № 4. P. 89–100.
24. Rybak M., Rybak I. Plant pigments in contemporary bottom sediments of Lake Dlugie in Olzstin // *Acta hydrobiol.* 1982. Vol. 24, № 1. P. 21–28.

*Статья поступила в редакцию 11.10.2021; одобрена после рецензирования 08.11.2021; принята к публикации 06.12.2021.*

#### PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF PLANKTON IN SODA-SALT LAKES OF EASTERN TRANSBAIKALIA

*Gazhit Ts. Tsybekmitova*

Cand. Sci. (Biol.), A/Prof., Head of Aquatic Ecosystems Laboratory,  
Institute for Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS  
16 Nedorezova St., Chita 672014, Russia  
gazhit@bk.ru

*Abstract.* The example of lakes Dabasa-Nur and Lake Kudjartai shows the photosynthetic activity of the plankton of water bodies. The investigated lakes are different in their hydrochemical composition: Dabasa-Nur is a chloride lake, and Kujartai — a soda lake. The content of chlorophyll *a* in Lake Dabasa-Nur is less than in Lake Kudjartai. The degraded form of chlorophyll *a* — pheophytin is presented only in Dabasa Nur. The pigment diversity of lakes plankton dominates by carotenoids as more stable forms of pigments. Chlorophyll *c* was not found in the plankton of both lakes. Thus, in the modern conditions of the period of restoration of the water content of lakes after a long dry time, the photosynthetic activity of the ecosystem of water bodies is experiencing certain difficulties.

*Keywords:* soda-salt lakes, chlorophylls, pheopigment, carotenoid, pigment index.

*Acknowledgments*

The work is performed in the framework of the project No. FUFР-2021-0006 “Geoecology of Transbaikal Aquatic Ecosystems in Current Climate Situation and Technogenic Conditions. Primary Approaches to the Rational Use of Waters and their Biological Resources”.

*For citation*

Tsybekmitova G. Ts. Photosynthetic Activity of Plankton in Soda-Salt Lakes of Eastern Transbaikalia. *Bulletin of Buryat State University. Biology, Geography*. 2021; 4: 29–35 (In Russ.).

*The article was submitted 11.10.2021; approved after reviewing 08.11.2021; accepted for publication 06.12.2021.*