

КРАТКИЕ  
СООБЩЕНИЯ

УДК 574.583(28):581

СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА И СОВРЕМЕННОЕ ТРОФИЧЕСКОЕ  
СОСТОЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ Р. ВОЛГИ (2017–2018 гг.)

© 2020 г. Н. М. Минеева<sup>а</sup>, \*, И. В. Семадени<sup>а</sup>, О. С. Макарова<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук, пос. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл., Россия

\*e-mail: mineeva@ibiw.ru

Поступила в редакцию 28.03.2019 г.

После доработки 03.09.2019 г.

Принята к публикации 23.09.2019 г.

Приведены новые данные по содержанию Хл *a* в воде водохранилищ р. Волги. В годы с различным температурным режимом содержание Хл *a* изменялось от минимального 2.2–13.8 мкг/л до максимального 7.6–50.5 мкг/л в 2017 г. и 25.8–104 мкг/л в 2018 г. Как и ранее, в волжском каскаде прослеживается снижение Хл *a* от верхних водохранилищ к нижним; самое высокое отмечено в Шошинском плесе Ивановского водохранилища и устьевом участке р. Оки в Чебоксарском водохранилище; локальное увеличение Хл *a* – в притоках и их устьевых зонах, защищенных мелководьях и приплотинных участках. Средние концентрации Хл *a* характеризуют Ивановское, Угличское и Чебоксарское водохранилища как эвтрофные, Саратовское и Волгоградское – мезотрофные, трофический статус Рыбинского, Горьковского и Куйбышевского водохранилищ менялся от мезотрофного до умеренно эвтрофного и эвтрофного.

*Ключевые слова:* хлорофилл *a*, водохранилища Волги, трофический статус

DOI: 10.31857/S0320965220020102

Волжский каскад, из-за своей значительной (>2500 км) протяженности с севера на юг, расположен в различных природно-климатических зонах. Водоохранилища каскада различаются морфометрическими, гидрологическими и гидрохимическими характеристиками (Волга..., 1978; Rivers..., 2009), в результате чего в них формируются специфические условия для развития и функционирования биологических сообществ. Основу трофической пирамиды в водохранилищах р. Волги составляет фитопланктон, создающий в процессе фотосинтеза автохтонное органическое вещество – энергетическую базу для организмов более высоких трофических уровней. Экологическая значимость фитопланктона определяет необходимость получения оперативной информации о его развитии и состоянии. На протяжении последних десятилетий для этих целей используют фотосинтетические пигменты. Основным пигмент зеленых растений Хл *a* – характеризует продукционные возможности водорослей, служит маркером их биомассы, составляет основу трофической классификации водоемов и входит в число показателей качества воды. Результаты исследований пигментов волжского фитопланктона, начатых в

середине XX в. (Пырина, 1966), к настоящему времени дополнены новыми данными (Минеева, 2004; Mineeva, Makarova, 2018). Накопленные сведения позволяют провести сравнительный анализ содержания и распределения хлорофилла в водохранилищах Волги в годы с различными термическими условиями и оценить современный трофический статус водохранилищ.

Материал собирали в августе 2017 и 2018 гг., на 66 и 85 русловых станциях водохранилищ Волги соответственно, 16 и 22 станциях притоков, их устьевых участков и изолированных от русла заливах. Содержание Хл *a* определяли, как и ранее (Минеева, Макарова, 2018), в интегральных (0 м – дно) пробах воды стандартным спектрофотометрическим методом (SCOR-UNESCO, 1966) на спектрофотометре Lambda25 PerkinElmer. Для оценки трофического статуса водохранилищ использовали среднюю концентрацию Хл *a*. Распределение фитопланктона по акватории водохранилищ оценивали с помощью коэффициента вариации средней концентрации Хл *a*.

На фоне глобального потепления, сопровождающегося увеличением температуры на Европейской территории РФ (Второй..., 2014), годы наблюдения различались погодными условиями (Доклад..., 2018, 2019). За счет трех холодных

**Сокращения:** Хл *a* – хлорофилл *a*,  $C_v$  – коэффициент вариации.

**Таблица 1.** Содержание Хл *a* (мкг/л) в воде волжских водохранилищ в августе 2017 г. (над чертой) и 2018 г. (под чертой)

Водохранилище	Min–max	Средние		
		1	2	3
Иваньковское	10.4–47.3	$22.5 \pm 3.6$ (47)	19.6	29.6
	13.8–104	$41.2 \pm 7.3$ (58)	27.0	57.6
Угличское	9.0–24.9	$16.5 \pm 1.9$ (29)	16.0	17.6
	13.6–52.5	$26.1 \pm 4.6$ (45)	25.1	28.1
Рыбинское	2.9–7.6	$4.9 \pm 1.7$ (50)	4.9	–
	5.5–27.9	$16.4 \pm 6.5$ (68)	16.4	–
Горьковское	3.8–11.8	$6.7 \pm 0.8$ (40)	6.5	9.2
	4.8–25.8	$13.1 \pm 1.4$ (41)	11.2	21.9
Чебоксарское	3.2–50.5	$17.8 \pm 6.1$ (90)	14.6	25.1
	6.1–102	$25.0 \pm 0.8$ (107)	14.7	39.4
Куйбышевское	4.3–14.1	$8.3 \pm 2.0$ (48)	7.4	13.2
	2.7–59.0	$9.8 \pm 2.6$ (117)	7.6	23.9
Саратовское	2.5–13.0	$4.9 \pm 1.5$ (72)	4.8	4.0
	3.8–33.2	$10.6 \pm 2.8$ (78)	7.9	22.7
Волгоградское	2.7–12.0	$6.7 \pm 1.0$ (44)	5.5	10.0
	2.2–36.9	$9.6 \pm 2.2$ (86)	7.4	24.7

Примечание. 1 – весь водоем, 2 – русловые станции, 3 – притоки, их устьевые участки и защищенные мелководья; в скобках – коэффициент вариации, %, “–” – данные отсутствуют.

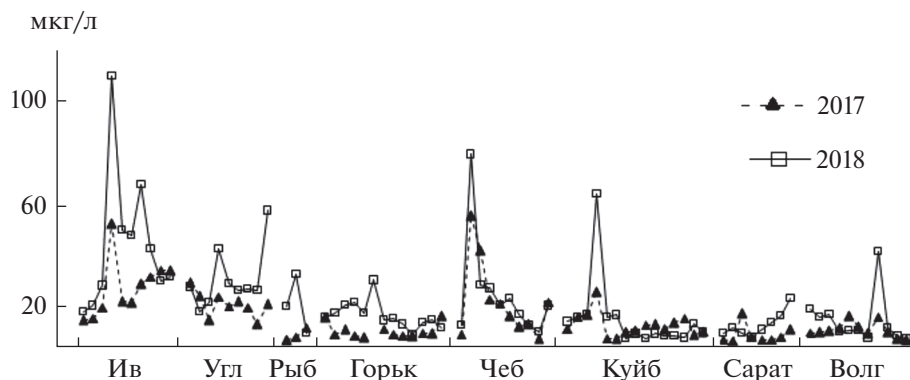
дождливых месяцев (май–июль) в 2017 г. средняя за май–октябрь температура воздуха в районе Рыбинского, Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ (Верхняя, Средняя и Нижняя Волга) составила 12.1, 13.8 и 16.3°C<sup>1</sup> соответственно и была ниже, чем теплым и сухим летом в 2018 г. (14.5, 15.6 и 18.4°C). Однако в августе каждого года наблюдений прогрев водной толщи водохранилищ характеризовался обычными показателями 21–23°C. Прозрачность воды увеличивалась с севера на юг и изменялась в характерных для водохранилищ пределах: в среднем 0.8–1.1, 1.0–1.3 и 1.8–2.2 м на Верхней, Средней и Нижней Волге.

Содержание Хл *a* типично для летнего пика фитопланктона р. Волги (Минеева, 2004). Минимальные для водохранилищ величины (2.2–13.8 мкг/л) были близкими в оба года, а максимальные в августе 2018 г. (25.8–104 мкг/л) существенно выше, чем в 2017 г. (7.6–50.5 мкг/л) (табл. 1). Предельные для отдельных водохранилищ показатели различались в 3–5 раз в 2017 г. и более существенно в 2018 г.: в 4–9 раз в четырех верхних и Сара-

товском водохранилище, в 16–22 раза в Куйбышевском, Волгоградском и Чебоксарском (в последнем высокая разница отмечалась оба года). Распределение фитопланктона (Хл *a*) по акватории водохранилищ в большинстве случаев характеризовалось умеренной неоднородностью ( $C_v = 30–58\%$ ), степень которой возрастала в Куйбышевском и Волгоградском водохранилищах в 2018 г., в Саратовском и Чебоксарском в 2017 и 2018 гг. ( $C_v = 72–117\%$ ).

В Иваньковском водохранилище в оба года содержание Хл *a* на русловых станциях увеличивалось от верхнего Волжского плеса к Иваньковскому плесу и вниз по течению к плотине. На защищенных участках – в Омутинском, Перетрусовском, Домкинском и Мошковичском заливах (2018 г.) – оно достигало высоких величин 42–62 мкг/л, а в Шошинском плесе было максимальным (рис. 1, табл. 1). В Угличском водохранилище повышенные концентрации Хл *a* отмечены в верхней части, принимающей воды Иваньковского водохранилища, в устьевых участках рек Нерль, Медведица, Кашинка и в нижнем приплотинном участке. Распределение Хл *a* по акватории Горьковского водохранилища было однородным, концентрации пигмента приближались к средним величинам. В 2017 г. содержание Хл *a* незначительно повышалось в районе г. Рыбинск и перед плотиной. В 2018 г. оно снижалось ниже городов Плес и Кинешма, возрастало в устьевых участках рек Унжа и Юг, а также в Костромском расширении. В Чебоксарском водохранилище отмечен резкий подъема концентрации Хл *a* в устье р. Оки. Повышенные величины сохранялись на значительном расстоянии ниже впадения притока, а после двух-, трехкратного снижения снова увеличивались в устьях рек Сура и Ветлуга. В Куйбышевском водохранилище повышенное содержание Хл *a* отмечено на станциях верхнего Волжского участка, затем оно снижалось и оставалось низким на большом протяжении (от г. Казань в 2017 г. и от Камского устья в 2018 г.) вплоть до плотины. Незначительный рост Хл *a* наблюдался в реках Черемшан и Уса и их устьевых участках, а самое высокое – в р. Свяга. В водохранилищах Нижней Волги в 2017 г. концентрации Хл *a*, близкие к средним, мало менялись по акватории водоемов. В 2018 г. в Саратовском водохранилище невысокие показатели отмечены на верхнем 200-километровом отрезке, далее они увеличивались и достигали максимума в районе г. Балаково перед плотиной. В верхней части Волгоградского водохранилища сохранялись такие же величины, как на нижнем участке Саратовского водохранилища, затем они снижались. В обоих водохранилищах содержание Хл *a* увеличивалось в устьевых зонах рек и самих притоках – Малый и Большой Иргиз, Курдюм, Еруслан (в последнем в 2018 г. зафиксирована величина 37 мкг/л).

<sup>1</sup> Рассчитано по данным архива погоды с сайта <https://rp5.ru>.



**Рис. 1.** Содержание Хл а (мкг/л) на станциях наблюдения в водохранилищах Волги в 2017 и 2018 гг.: Ив – Ивановское, Угл – Угличское, Рыб – Рыбинское, Горьк – Горьковское, Чеб – Чебоксарское, Куйб – Куйбышевское, Саратов – Саратовское, Волг – Волгоградское.

В Волжском каскаде, как и в начале 1990-х годов (Минева, 2004), прослеживается снижение содержания Хл а от верхних водохранилищ к нижним. Это снижение связано со спецификой многоводных речных акваторий с высокой проточностью при уменьшении объема боковых притоков на Нижней Волге. Аналогичным образом с севера на юг изменяется и биомасса фитопланктона в водохранилищах р. Волги (Корнева, 2015). Распределение Хл а по акватории водохранилищ также в общих чертах повторяется на протяжении многолетнего периода. Неоднородность распределения обусловлена морфометрией водохранилищ, наличием водных масс разного генезиса, поступлением вод притоков, изменением режима течений, нагонными явлениями. При различиях показателей развития фитопланктона, определяемых, в частности, погодными условиями лет наблюдения и режимом водности, особенности распределения могут быть выражены в разной степени или даже не выявлены в силу специфики разовой маршрутной съемки. Однако, как и ранее (Минева, 2004; Mineeva, Makarova, 2018), значительное увеличение Хл а отмечено в высоко эвтрофном Шошинском плесе Ивановского водохранилища и в устьевом участке р. Оки в Чебоксарском водохранилище. Ниже впадения р. Оки обилие фитопланктона снижается, но повышенные показатели прослеживаются в водохранилище на большом расстоянии в прижатой к правому берегу окской водной массе. Повышенным содержанием Хл а характеризуются изолированные от русла мелководные участки, примером которых служат заливы Ивановского водохранилища, а также Костромское расширение Горьковского водохранилища. Увеличение Хл а может наблюдаться в нижней приплотинной части водохранилища в результате стока водорослей и замедления скорости течения, в устьевой области малых и средних притоков и в водах самих притоков, фитопланктон которых формируется в

специфических условиях (Охупкин и др., 2013). В годы наших наблюдений локальные подъемы Хл а в большей степени выражены в теплом 2018 г. при более высоких концентрациях пигмента и более широком их диапазоне, чем в прохладном 2017 г. Различия между содержанием Хл а на русловых волжских станциях и изолированных или отстоящих от русла участках, включая заливы, эстуарные зоны притоков и их нижнее течение, весьма существенны. В 2018 г. содержание Хл а на этих участках было в среднем в 1.6–3.3 раза выше, чем на русловых станциях, в 2017 г. эта разница не превышала 1.8 раз (табл. 1). Межгодовые изменения содержания Хл а по данным многолетних наблюдений на Рыбинском водохранилище (Пырина, 2000) носят циклический характер и в значительной степени зависят от гидроклиматических условий. Подтверждением служат различия в развитии фитопланктона р. Волги (содержания Хл а) в 2017 и 2018 гг. – годы с разным температурным режимом.

Межгодовые флуктуации Хл а как показателя трофического статуса водохранилищ в 2017, 2018 гг., как и в 2015, 2016 гг., не выходят за рамки одной трофической категории в эвтрофных Ивановском, Угличском и Чебоксарском водохранилищах, мезотрофных Саратовском и Волгоградском. Трофический статус Рыбинского, Горьковского и Куйбышевского водохранилищ с их неустойчивым гидрологическим режимом и сложной морфометрией в годы с разными термическими условиями (2016–2018 гг.) менялся от мезотрофного до умеренно эвтрофного, а в 2015 г. оценивался как эвтрофный (Mineeva, Makarova, 2018). Это соответствует межгодовой и многолетней динамике фитопланктона, прослеженной по непрерывным многолетним наблюдениям на Рыбинском водохранилище (Пырина, 2000), и свидетельствует о высокой динамичности развития экосистем волжских водохранилищ. В результате неравномерного

распределения фитопланктона в водохранилищах формируются зоны с различной продуктивностью и трофностью. Изолированные от русла р. Волги участки акватории во всех водохранилищах характеризуются как эвтрофные.

**Выводы.** Концентрации Хл *a* в воде волжских водохранилищ, представленные диапазоном величин, типичных для летней фазы сезонного развития фитопланктона, изменялись от минимальных 2.2–13.8 до максимальных 7.6–50.5 мкг/л в августе 2017 г. и 25.8–104 мкг/л в 2018 г. Как и ранее, в каскаде прослеживалось снижение содержания Хл *a* от верхних водохранилищ к нижним, максимальное обилие фитопланктона отмечено в высоко эвтрофном Шошинском плесе Ивановского водохранилища и устьевом участке р. Оки в Чебоксарском водохранилище. При выраженных межгодовых флуктуациях, которые определяются погодными условиями лет наблюдения, средние концентрации Хл *a* характеризуют Ивановское, Угличское и Чебоксарское водохранилища как эвтрофные, Саратовское и Волгоградское – как мезотрофные. Трофический статус Рыбинского, Горьковского и Куйбышевского водохранилищ меняется от мезотрофного до умеренно эвтрофного и эвтрофного. Изолированные от русла р. Волги участки акватории во всех водохранилищах характеризуются как эвтрофные.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках Госзадания АААА-А18-118012690096-1.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Волга и ее жизнь. 1978. Ленинград: Наука.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменении климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. 2014. Москва: Росгидромет.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год. 2018. Москва: Росгидромет.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. 2019. Москва: Росгидромет.

Корнева Л.Г. 2015. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги. Кострома: Костромской печатный дом.

Минеева Н.М. 2004. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. Москва: Наука.

Охупкин А.Г., Шарагина Е.М., Бондарев О.О. 2013. Фитопланктон Чебоксарского водохранилища на современном этапе его существования // Поволжский экологический журнал. № 2. С. 190.

Пырина И.Л. 1966. Первичная продукция фитопланктона в Ивановском, Рыбинском и Куйбышевском водохранилищах в зависимости от некоторых факторов // Продукция и круговорот органического вещества во внутренних водоемах. Москва: Наука. С. 249.

Пырина И.Л. 2000. Многолетняя динамика и цикличность межгодовых колебаний содержания хлорофилла в Рыбинском водохранилище // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды. Минск: Белорусский гос. ун-т. С. 375.

Mineeva N.M., Makarova O.S. 2018. Chlorophyll content as an indicator of the modern (2015–2016) trophic state of Volga River Reservoirs // Inland Water Biology. V. 11. № 3. P. 386.

<https://doi.org/10.1134/S1995082918030124>

Rivers of Europe. 2009. Amsterdam: Elsevier.

SCOR-UNESCO Working Group 17. 1966. Determination of photosynthetic pigments // Determination of photosynthetic pigments in sea water. Monographs on oceanographic methodology. Montreux: UNESCO. P. 9.

## Chlorophyll Content and the Modern Trophic State of the Volga River Reservoirs (2017–2018)

N. M. Mineeva<sup>1,\*</sup>, I. V. Semadeny<sup>1</sup>, and O. S. Makarova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Nekouzskii raion, Yaroslavl oblast, Russia*

\*e-mail: mineeva@ibiw.ru

The new data on chlorophyll *a* (Chl *a*) content in water of the Volga River reservoirs are presented. In years with different temperature regimes (2017 and 2018), the content of Chl *a* varied from 2.2–13.8 to 7.6–50.5 and 25.8–104 µg/L, respectively. As before, in the cascade there is a decrease in Chl *a* from the upper reservoirs to the lower ones; the maximum is noted in the highly eutrophic Shoshinsky reach of the Ivankovo Reservoir and the estuary section of the Oka River in the Cheboksary Reservoir; local increase in Chl *a* is noted also in tributaries and their mouth areas, the protected shallow sites, and near dam areas. Average Chl *a* concentrations characterize the Ivankovo, Uglich, and Cheboksary reservoirs as eutrophic, the Saratov and Volgograd reservoirs as mesotrophic, the trophic status of Rybinsk, Gorky and Kuibyshev reservoirs varied from mesotrophic to moderately eutrophic and eutrophic.

*Keywords:* chlorophyll *a*, Volga River reservoirs, trophic state