

ФИТОПЛАНКТОН, ФИТОБЕНТОС,
ФИТОПЕРИФИТОН

УДК 581.526.325:502.51(282.256.138)

ФИТОПЛАНКТОН КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СОВРЕМЕННОГО
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2021 г. О. П. Баженова^{а, *}, В. В. Михайлов^б

^аОмский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Омск, Россия

^бОмский Аграрный научный центр, Омск, Россия

*e-mail: olga52@bk.ru

Поступила в редакцию 28.08.2020 г.

После доработки 15.01.2021 г.

Принята к публикации 24.02.2021 г.

По материалам исследований летнего фитопланктона в 2016–2018 гг. дана оценка экологического состояния Новосибирского водохранилища. Идентифицировано 292 видовых и внутривидовых таксона из 8 отделов, основу видового богатства создают диатомовые и зеленые водоросли. Впервые в водохранилище найдено 96 видовых и внутривидовых таксонов. Охарактеризован доминирующий комплекс фитопланктона, его изменения в межгодовом аспекте по продольной оси водоема. Трофический статус водохранилища в целом соответствует эвтрофной категории вод. Анализ структурных показателей фитопланктона и изменений доминирующего комплекса по сравнению с концом XX в. показал, что в водохранилище наблюдается ускорение процесса антропогенного эвтрофирования.

Ключевые слова: фитопланктон, видовой состав, доминирующий комплекс, трофический статус, Новосибирское водохранилище

DOI: 10.31857/S0320965221050028

ВВЕДЕНИЕ

Новосибирское водохранилище – крупнейший искусственный водоем Западной Сибири, расположенный в верхнем течении р. Обь – служит основным источником водоснабжения г. Новосибирска и имеет большое значение в других направлениях экономики региона. Площадь акватории водоема составляет 1089 км², длина ~180 км, средняя глубина 8.2 м (Ермолаева и др., 2019). Высокая степень проточности водохранилища обуславливает транзитный характер многих протекающих в нем процессов, активно продолжается трансформация структуры и функционирования всех компонентов экосистемы (Многолетняя..., 2014).

Фитопланктон как первое звено трофической цепи водоемов имеет высокую значимость в оценке их экологического состояния. Исследования фитопланктона позволяют выявить современное состояние водоемов и дать прогноз его изменениям. Количественные оценки, связанные с развитием фитопланктона, по-прежнему

считаются приоритетными среди биологических показателей (Корнева, 2014).

Фитопланктон Новосибирского водохранилища изучали с момента его создания (1957 г.), что позволяет провести анализ изменений в многолетнем аспекте. С 2007 г. уровень развития фитопланктона водохранилища оценивали по концентрации хлорофилла *a* (Кириллова, Котовщиков, 2009) и данным дистанционного зондирования (Многолетняя..., 2014), оценку же состояния экосистемы водоема по структурным показателям фитопланктона не проводили. В конце XX в. был дан прогноз о стабилизации процесса эвтрофирования в водохранилище из-за особенностей гидрологического режима, в основном высокой проточности и интенсивности водообмена (Куксн, Чайковская, 1985; Многолетняя..., 2014).

Возрастание антропогенной нагрузки в целом в Обь-Иртышском бассейне (Пузанов и др., 2017) и климатические изменения (температуры, осадков и водности летних месяцев) в регионе (Савкин, Двуреченская, 2018; Савкин и др., 2018) привели в XXI в. к ухудшению качества его вод (Михайлов, Баженова, 2019).

Сокращения. ВВТ – видовые и внутривидовые таксоны; *DF* – частота доминирования; *pF* – частота встречаемости; *Dt* – порядок доминирования.

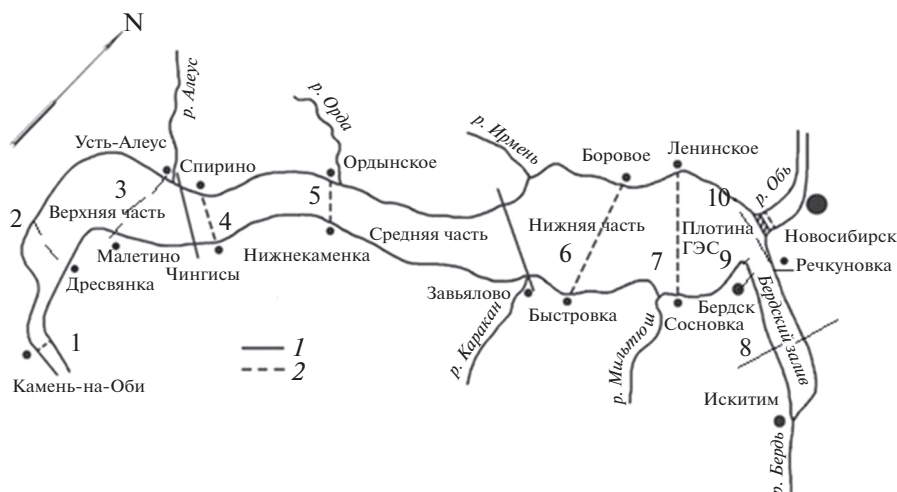


Рис. 1. Карта-схема расположения гидробиологических створов Новосибирского водохранилища: 1 – Камень-на-Оби, 2 – Дресвянка, 3 – Малетино, 4 – Спирино–Чингисы, 5 – Ордынское–Нижнекаменка, 6 – Боровое–Быстровка, 7 – Ленинское–Сосновка, 8 – Бердский залив, Агролес, 9 – Бердский залив, Речкуновка, 10 – верхний бьеф плотины Новосибирской ГЭС. 1 – граница между участками водохранилища, 2 – точки отбора проб.

Цель работы – оценить современное экологическое состояние Новосибирского водохранилища по структурным показателям фитопланктона.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В статье использованы материалы обработки 160 количественных и 10 качественных проб фитопланктона Новосибирского водохранилища, отобранных в июле–августе 2016–2018 гг. на 10 створах, равномерно расположенных по акватории (рис. 1).

Известно, что данные биомониторинга, полученные в летний сезон, наиболее репрезентативно отражают экологическое состояние водных объектов, поскольку в это время их ценозы развиты наиболее полно, а самоочищение протекает с наибольшей интенсивностью (Федоров, Капков, 2000).

Количественные пробы фитопланктона объемом 0.5 л отбирали батометром на трех точках створа: середина, левый и правый берега. В пелагиали пробы собирали на середине водоема из поверхностного слоя воды, у дна и на различных глубинах фотического слоя: 0.5S, 1S, 2S (S – прозрачность воды по диску Секки), в прибрежье – из поверхностного слоя воды. Пробы фиксировали формалином и концентрировали осадочным методом. Численность клеток водорослей учитывали в счетной камере Горяева объемом 0.9 мм³ в двух повторностях, используя световые микроскопы “Микмед-1” и “Euler Professor 770T”. Численность водорослей в 1 л вычисляли по формуле, приведенной в (Садчиков, 2003). Биомассу рассчитывали счетно-весовым методом, исходя из численности и объема клеток, определяемых по

формулам геометрического подобия (Кольцова, 1970).

Таксономический список фитопланктона составлен с учетом современных систематических сводок (Крахмальний, 2011; Волошко, 2017; Guiry, Guiry, 2020). Идентификацию видов диатомовых водорослей проводили по фотографиям створок, полученным с помощью сканирующего электронного микроскопа “Hitachi S 3400N” в Институте водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН и в постоянных препаратах. Для освобождения клеток диатомей от протопласта применяли метод холодного сжигания (Методика..., 1975). Постоянные препараты, помещенные в анилиноформальдегидную смолу (Эльяшев, 1957), исследовали в световом микроскопе “Euler Professor 770T” с использованием масляной иммерсии (×2500).

Выделение доминирующих видов проводили по численности, согласно рекомендациям для эвтрофированных водных объектов (Михеева, 1992). К доминантам относили виды, численность которых была ≥10% общей численности (Корнева, 2009), для них рассчитывали *pF*, *DF* и *Dt* (Макаревич, 1966; Кожова, 1970; Горбулин, 2012).

Флористическое сходство доминирующего комплекса фитопланктона из разных участков водоема оценивали по коэффициенту Серенсена (*Kc*) (Мэгарран, 1992), трофический статус – по биомассе фитопланктона (Оксиюк и др., 1993; Китаев, 2007). Вычисляли средние показатели численности и биомассы и дисперсию средней. Значимость различий оценивали на основании непараметрического критерия Манна–Уитни (Лакин,

1990; Пузаченко, 2004). В работе обсуждали величины, достоверные при $p \leq 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

За время исследований в летнем фитопланктоне Новосибирского водохранилища идентифицировано 292 ВВТ из 8 отделов: Cyanoprokaryota — 18, Dinophyta — 3, Chrysophyta — 10, Xanthophyta — 6, Euglenophyta — 20, Bacillariophyta — 149, Chlorophyta — 77, Charophyta — 9. Превалирующее значение в таксономической структуре принадлежит Bacillariophyta (51.0%) и Chlorophyta (26.4%), доля остальных отделов колеблется в пределах 1–7%. Впервые в водохранилище идентифицировано 96 ВВТ, в том числе: Cyanoprokaryota — 1, Dinophyta — 1, Chrysophyta — 4, Xanthophyta — 3, Euglenophyta — 5, Bacillariophyta — 54, Chlorophyta — 22, Charophyta — 6.

В составе диатомовых водорослей по видовому богатству лидируют пеннатные диатомеи (135 ВВТ), но в формировании численности и биомассы фитопланктона ведущее место занимают центрические (14 ВВТ). Диатомовые водоросли формируют основную часть численности и биомассы фитопланктона в русловой части водоема, в Бердском заливе их участие гораздо меньше, что обуславливает снижение доли диатомей в структуре фитопланктона в среднем по водохранилищу (табл. 1).

Зеленые водоросли занимают второе место по значимости в формировании видового богатства и обилия фитопланктона водохранилища. В русловой части они создают до трети общей численности и биомассы фитопланктона. В Бердском заливе, где летом наблюдается “цветение” воды цианопрокариотами, участие Chlorophyta в создании обилия фитопланктона гораздо ниже (табл. 1).

Во всех частях водохранилища, исключая Бердский залив, в доминирующий комплекс из отдела Chlorophyta входит *Mucidosphaerium pulchellum* (Wood) Bock, Proschold et Krenitz, в Бердском заливе — только *Phacotus lenticularis* (Ehr.) Dies. Впервые отмечена массовая вегетация *Chlamydomonas* Ehr. sp., *Chlorococcum* Menegh. sp., *Ulothrix zonata* (Weber et Mohr) Kütz.

Видовое богатство цианопрокариот невелико, но они играют заметную роль в формировании численности и биомассы фитопланктона, занимая третье место по водохранилищу и первое — в Бердском заливе. Многие виды цианопрокариот являются доминантами с начала существования водохранилища и по настоящее время. Впервые по всей акватории водохранилища отмечено массовое развитие безгетероцистных цианопрокариот *Anathece clathrata* (West et G.S. West) Komárek, Kastovsky et Jezberová, *Planktolyngbya limnetica*

(Lemm.) Komárek.-Legn. et Cronb., *Woronichinia compacta* (Lemm.) Komárek et Hindák, *Snowella lacustris* (Chodat) Komárek et Hindák, *Phormidium* Kütz. ex Gomont sp. Впервые найденная в водохранилище *Aphanocapsa holsatica* (Lemm.) Cronb. et Komárek в годы исследований входила в доминирующий комплекс во всех частях водоема.

Из других отделов водорослей в планктоне водохранилища впервые отмечено массовое развитие *Spirogyra* Link sp. (Charophyta), доминирующей в 2017 г. в верхней части, в 2016–2017 гг. — в средней и нижней частях водоема.

Численность и биомасса летнего фитопланктона в межгодовом аспекте характеризуются значительными колебаниями по продольной оси водохранилища (табл. 1). Наименьшие пределы колебаний обилия фитопланктона характерны для нижней озеровидной части водоема, где низкая скорость течения благоприятствует развитию фитопланктоценоза. Особое место занимает Бердский залив, здесь отмечены максимальные показатели численности и биомассы фитопланктона за счет *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet et Flahault.

Доминирующий комплекс летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища богат и разнообразен, в него входит 21 вид, в том числе: Cyanoprokaryota (11 видов), Bacillariophyta (4), Chlorophyta (5), Charophyta (1) (табл. 2).

В составе доминирующего комплекса в 2016–2018 гг. отмечено 11 видов, входивших в него с начала заполнения водохранилища. Впервые в число доминантов вошли 10 видов, в том числе: Cyanoprokaryota — 6, Chlorophyta — 3, Charophyta — 1.

Высокая встречаемость ($pF = 70–100$) в доминирующем комплексе по всей акватории водохранилища отмечена для *Dolichospermum flos-aquae*, *Planktolyngbya limnetica*, *Aulacoseira granulata*, *Nitzschia graciliformis* Lange-Bertalot et Simonsen, *Stephanodiscus hantzschii*, *Chlorococcum* sp., *Chlamydomonas* sp. и *Ulothrix zonata*. Максимальные показатели встречаемости, порядка и частоты доминирования были характерны для *Aulacoseira granulata* ($pF = 100$, $Dt = 78$, $DF = 78$), второе и третье место по значимости этих показателей занимают *Aphanizomenon flos-aquae* ($pF = 58$, $Dt = 43.6$, $DF = 25.3$) и *Stephanodiscus hantzschii* ($pF = 100$, $Dt = 32.7$, $DF = 32.7$). Высокий порядок доминирования при низкой/средней встречаемости и частоте доминирования имеют *Aphanocapsa holsatica* ($Dt = 44.4$) и *Snowella lacustris* ($Dt = 39.4$). Остальные доминанты, даже при высокой встречаемости, отличаются низкими показателями частоты и порядка доминирования.

Доминирующий комплекс летнего фитопланктона различных частей водохранилища в 2016–2018 гг. имеет высокое флористическое сходство при продвижении от его верхней части к

Таблица 1. Численность и биомасса летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища в 2016–2018 гг.

Часть водохранилища	Общая численность, млн кл./л	Общая биомасса, г/м ³	Cyanoprokaryota	Euglenophyta	Bacillariophyta	Chlorophyta	Прочие
2016 г.							
Верхняя	2.20 ± 0.18	0.91 ± 0.06	<u>17.9 ± 6.2</u> 19.8 ± 6.9	<u>2.7 ± 0.6</u> 3.0 ± 1.7	<u>54.0 ± 4.7</u> 63.1 ± 4.8	<u>24.6 ± 1.1</u> 12.6 ± 1.1	<u>0.9 ± 0.3</u> 1.5 ± 1.1
Средняя	2.54 ± 0.78	1.76 ± 0.34	<u>28.8 ± 0.5</u> 3.7 ± 1.5	<u>2.5 ± 0.4</u> 10.5 ± 1.0	<u>31.6 ± 5.4</u> 53.8 ± 0.9	<u>35.7 ± 5.8</u> 30.2 ± 2.3	<u>0.7 ± 0.3</u> 1.8 ± 0.7
Нижняя	5.31 ± 1.18	2.38 ± 0.60	<u>27.4 ± 5.6</u> 2.2 ± 0.1	<u>1.2 ± 0.2</u> 2.7 ± 0.4	<u>49.4 ± 4.9</u> 78.2 ± 2.2	<u>18.5 ± 3.9</u> 15.8 ± 2.0	<u>0.2 ± 0.1</u> 1.1 ± 0.5
Бердский залив	27.46 ± 20.49	15.30 ± 12.01	<u>74.2 ± 11.6</u> 73.2 ± 13.0	<u>0.9 ± 0.3</u> 1.0 ± 0.2	<u>14.2 ± 6.5</u> 16.3 ± 9.8	<u>10.3 ± 4.8</u> 8.3 ± 3.5	<u>0.5 ± 0.1</u> 1.2 ± 0.4
По водохранилищу	9.38 ± 5.25	5.09 ± 3.42	<u>37.1 ± 12.6</u> 24.7 ± 16.6	<u>1.8 ± 0.4</u> 4.3 ± 2.1	<u>37.3 ± 9.1</u> 52.8 ± 13.2	<u>22.3 ± 5.3</u> 16.8 ± 4.7	<u>0.6 ± 0.1</u> 1.4 ± 0.2
2017 г.							
Верхняя	10.50 ± 0.46	4.54 ± 0.20	<u>9.2 ± 1.5</u> 6.2 ± 2.4	<u>3.4 ± 0.2</u> 1.7 ± 0.2	<u>47.8 ± 3.2</u> 58.0 ± 4.7	<u>39.7 ± 2.3</u> 33.4 ± 2.7	<u>0.2 ± 0.0</u> 0.5 ± 0.1
Средняя	7.78 ± 3.09	5.41 ± 2.20	<u>13.1 ± 3.0</u> 1.1 ± 0.1	<u>2.6 ± 0.1</u> 3.6 ± 0.2	<u>50.8 ± 4.1</u> 64.2 ± 5.8	<u>34.7 ± 1.6</u> 24.1 ± 3.8	<u>0.2 ± 0.1</u> 0.6 ± 0.2
Нижняя	5.78 ± 1.13	3.27 ± 0.58	<u>38.9 ± 1.0</u> 2.2 ± 0.2	<u>2.4 ± 0.1</u> 6.5 ± 1.0	<u>34.6 ± 2.7</u> 65.4 ± 2.8	<u>23.3 ± 3.0</u> 23.0 ± 2.2	<u>0.9 ± 0.1</u> 2.8 ± 0.2
Бердский залив	44.42 ± 18.38	22.14 ± 9.76	<u>85.6 ± 1.1</u> 73.5 ± 3.0	<u>0.8 ± 0.1</u> 1.4 ± 0.2	<u>3.4 ± 0.4</u> 4.5 ± 1.0	<u>10.2 ± 0.7</u> 19.6 ± 2.0	<u>0.3 ± 0.0</u> 0.7 ± 0.1
По водохранилищу	17.12 ± 9.15	5.42 ± 1.54	<u>45.9 ± 18.4</u> 25.6 ± 17.8	<u>1.9 ± 0.5</u> 3.9 ± 1.2	<u>29.6 ± 12.0</u> 44.7 ± 14.6	<u>22.7 ± 6.2</u> 22.2 ± 3.0	<u>0.4 ± 0.2</u> 1.4 ± 0.6
2018 г.							
Верхняя	4.54 ± 0.77	3.53 ± 0.64	<u>14.0 ± 2.2</u> 0.8 ± 0.1	<u>4.4 ± 0.4</u> 4.8 ± 0.4	<u>47.9 ± 2.2</u> 73.7 ± 3.5	<u>27.6 ± 3.2</u> 19.4 ± 3.2	<u>6.1 ± 1.4</u> 1.4 ± 0.1
Средняя	4.00 ± 1.01	3.73 ± 1.00	<u>7.3 ± 1.0</u> 0.3 ± 0.0	<u>4.0 ± 1.0</u> 3.6 ± 0.4	<u>60.0 ± 0.3</u> 80.6 ± 2.4	<u>23.4 ± 0.1</u> 13.4 ± 0.9	<u>5.4 ± 0.2</u> 2.2 ± 1.0
Нижняя	2.85 ± 0.29	2.28 ± 0.03	<u>19.2 ± 5.2</u> 1.0 ± 0.3	<u>4.2 ± 0.4</u> 6.1 ± 1.6	<u>44.4 ± 6.3</u> 64.6 ± 5.2	<u>29.0 ± 2.5</u> 25.0 ± 3.4	<u>3.2 ± 1.1</u> 3.3 ± 0.6
Бердский залив	38.92 ± 16.34	7.43 ± 2.40	<u>84.6 ± 3.3</u> 37.5 ± 8.5	<u>0.8 ± 0.0</u> 12.4 ± 1.4	<u>4.4 ± 0.0</u> 19.9 ± 3.1	<u>8.7 ± 2.0</u> 26.3 ± 5.8	<u>1.5 ± 0.4</u> 3.8 ± 1.0
По водохранилищу	12.58 ± 7.61	4.24 ± 0.96	<u>31.3 ± 15.5</u> 9.9 ± 8.0	<u>3.4 ± 0.8</u> 6.7 ± 1.7	<u>39.1 ± 10.4</u> 58.0 ± 13.3	<u>22.2 ± 4.0</u> 21.0 ± 2.6	<u>4.1 ± 0.9</u> 2.7 ± 0.5

Примечание: Над чертой – доля отделов в общей численности, под чертой – в общей биомассе.

нижней, за исключением Бердского залива в 2017–2018 гг. Коэффициент флористического сходства доминирующего комплекса в Бердском заливе в сравнении с другими частями водохранилища значительно колеблется в разные годы исследований. Наибольшее сходство отмечено в 2016 г., наименьшее – в 2018 г. (табл. 3).

В Бердском заливе доминирующий комплекс фитопланктона отличается высоким постоянством состава, его формируют, в основном, цианопрокарियोты, виды из других отделов входили в него только дважды – *Aulacoseira granulata* в 2016 г. и *Phacotus lenticularis* в 2017 г.

Трофический статус водохранилища, согласно комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши (Оксиюк и др., 1993) соответствует эвтрофной категории вод, по классификации Китаева (2007) – α-эвтрофной (табл. 4). Более существенные различия отмечены при применении указанных классификаций для

Таблица 2. Доминирующий комплекс летнего фитопланктона в разных частях Новосибирского водохранилища в 2016–2018 гг.

2016 г.	2017 г.	2018 г.
Верхняя		
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Planktolyngbya limnetica</i> <i>Aulacoseira granulata</i> <i>Nitzschia graciliformis</i> <i>Stephanodiscus hantzschii</i> <i>Mucidosphaerium pulchellum</i>	<i>A. flos-aquae</i> <i>Phormidium</i> sp. <i>P. limnetica</i> <i>A. granulata</i> <i>S. hantzschii</i> <i>Ulothrix zonata</i> <i>Spirogyra</i> sp.	<i>A. flos-aquae</i> <i>Aphanocapsa holsatica</i> <i>Woronichinia compacta</i> <i>A. granulata</i> <i>S. hantzschii</i> <i>M. pulchellum</i>
Средняя		
<i>A. flos-aquae</i> <i>A. holsatica</i> <i>P. limnetica</i> <i>A. granulata</i> <i>M. pulchellum</i> <i>Spirogyra</i> sp.	<i>A. holsatica</i> <i>A. granulata</i> <i>S. hantzschii</i> <i>U. zonata</i> <i>Spirogyra</i> sp.	<i>Anathece clathrata</i> <i>P. limnetica</i> <i>W. compacta</i> <i>A. granulata</i> <i>Asterionella formosa</i> <i>S. hantzschii</i> <i>M. pulchellum</i>
Нижняя		
<i>A. flos-aquae</i> <i>A. holsatica</i> <i>P. limnetica</i> <i>A. granulata</i> <i>Chlamydomonas</i> sp. <i>Spirogyra</i> sp.	<i>Anabaena</i> sp. <i>A. clathrata</i> <i>A. flos-aquae</i> <i>A. holsatica</i> <i>Phormidium</i> sp. <i>W. compacta</i> <i>A. granulata</i> <i>S. hantzschii</i> <i>M. pulchellum</i> <i>Spirogyra</i> sp.	<i>A. holsatica</i> <i>Dolichospermum flos-aquae</i> <i>P. limnetica</i> <i>Snowella lacustris</i> <i>A. granulata</i> <i>S. hantzschii</i> <i>Chlorococcum</i> sp. <i>M. pulchellum</i>
Бердский залив		
<i>A. flos-aquae</i> <i>A. holsatica</i> <i>D. flos-aquae</i> <i>M. aeruginosa</i> <i>P. limnetica</i> <i>A. granulata</i>	<i>A. flos-aquae</i> <i>A. holsatica</i> <i>D. flos-aquae</i> <i>Phormidium</i> sp. <i>Phacotus lenticularis</i>	<i>A. flos-aquae</i> <i>A. holsatica</i> <i>D. flos-aquae</i> <i>D. scheremetieviae</i> <i>P. limnetica</i> <i>Phormidium</i> sp.

оценки трофности различных частей водоема. Согласно комплексной экологической классификации, летом 2016–2018 гг. трофический статус в верхней и средней частях водохранилища возрастал от мезотрофного до эвтрофного, в нижней части водоема всегда соответствовал эвтрофному. Отмечаемая в 2016 г. неоднородность трофности различных участков водохранилища в 2018 г. сглаживалась. По классификации С.П. Китаева (2007), трофность вод колебалась от олиготрофной в верхней части до β-мезотрофной в нижней. Трофность вод Бердского залива оценивалась как

α-β-эвтрофная, что ниже, чем по комплексной экологической классификации (см. табл. 4).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При сравнении наших данных с исследованиями прежних лет (Куксн, 1965; Куксн и др., 1972; Генкал, Левадная, 1980; Науменко, 1995; Генкал, Романов, 2012; Многолетняя..., 2014) установлено, что видовое богатство фитопланктона Новосибирского водохранилища возросло на 30 ВВТ или на 11.4% от предыдущего значения (262 ВВТ), впервые в водохранилище найдено 96 новых ВВТ.

Таблица 3. Степень флористического сходства (%) различных частей Новосибирского водохранилища по составу доминирующих комплексов фитопланктона летом 2016–2018 гг.

Часть водохранилища	2016	2017	2018
Верхняя–средняя	62	67	46
Верхняя–нижняя	46	59	57
Средняя–нижняя	67	53	53
Верхняя–Бердский залив	46	50	33
Средняя–Бердский залив	67	20	15
Нижняя–Бердский залив	67	40	29

Увеличение видового богатства и значительная доля (32.9%) новых для водоема ВВТ свидетельствуют об интенсивно идущей сукцессии фитопланктона. При исследовании фитопланктона рек Волги (Охапкин, 1997) и Иртыша (Баженова, 2005; Bazhenova, Gulchenko, 2017) установлено, что высокая скорость сукцессии его видового состава наблюдается при ускорении процесса антропогенного эвтрофирования их экосистем.

В исследованиях фитопланктона ведущее место по значимости занимает выделение и анализ комплекса доминирующих видов. Еще в начале XXI века для доминирующего комплекса фитопланктона Новосибирского водохранилища была характерна стабильность видового состава (Мно-

голетняя..., 2014). На современном этапе существования водоема в доминирующий комплекс по-прежнему входили все виды-доминанты, установленные в предшествующих исследованиях, но по сравнению с 1995 г., его состав увеличился почти в 2 раза – с 11 до 21. Процесс расширения состава доминирующего комплекса фитопланктона за счет цианопрокариот, в том числе безгетероцистных, наблюдается во многих водохранилищах в процессе их многолетнего существования: в бассейне рек Волги (Корнева, 2015), Иртыша (Сукцессии..., 2010), Ангары (Кожова, Башарова, 1984), Енисея (Кожевникова, 2001). По всей акватории водохранилища отмечены высокие показатели доминирования в фитопланктоне видов, служащих при массовом развитии признанными индикаторами антропогенного эвтрофирования – *Dolichospermum flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Aphanocapsa holsatica*, *Aulacoseira granulata*, *Stephanodiscus hantzschii* (Трифонов, 1990; Анциферова, 2005; Баженова, 2005).

Для современного этапа развития фитопланктона в Новосибирском водохранилище характерно массовое развитие по всей акватории безгетероцистных цианопрокариот (*Aphanocapsa holsatica*, *Anathece clathrata*, *Phormidium* sp., *Planktolingbya limnetica*, *Snowella lacustris*, *Woronichinia compacta*). Установлено, что это явление наблюдается на заключительных стадиях олиго-эвтрофной сукцессии и свидетельствует об увеличении трофиче-

Таблица 4. Категория трофности Новосибирского водохранилища летом 2016–2018 гг.

Часть водохранилища	Биомасса фитопланктона, г/м ³	Категория трофности	
		по: (Оксиюк и др., 1993)	по: (Китаев, 2007)
2016 г.			
Верхняя	0.91 ± 0.06	Мезотрофная	Олиготрофная
Средняя	1.76 ± 0.34	Та же	α-мезотрофная
Нижняя	2.38 ± 0.60	Эвтрофная	β-мезотрофная
Бердский залив	15.30 ± 12.01	Политрофная	β-эвтрофная
В среднем по водохранилищу	5.09 ± 3.42	Эвтрофная	α-эвтрофная
2017 г.			
Верхняя	4.54 ± 0.46	Эвтрофная	α-эвтрофная
Средняя	5.41 ± 2.20	Та же	Та же
Нижняя	3.27 ± 0.58	»	β-мезотрофная
Бердский залив	10.33 ± 4.08	Политрофная	β-эвтрофная
В среднем по водохранилищу	5.89 ± 1.54	Эвтрофная	α-эвтрофная
2018 г.			
Верхняя	3.53 ± 0.64	Эвтрофная	β-мезотрофная
Средняя	3.73 ± 1.00	Та же	Та же
Нижняя	2.28 ± 0.03	»	»
Бердский залив	7.43 ± 2.40	»	α-эвтрофная
В среднем по водохранилищу	4.24 ± 0.96	Эвтрофная	Та же

ского статуса вод (Корнева, 2015; Корнева, Глушенко, 2020).

Присутствие в доминирующем комплексе фитопланктона случайно-планктонных нитчатых водорослей *Ulothrix zonata* и *Spirogyra* sp. связано с их массовой вегетацией в прибрежной мелководной зоне, откуда они попадают в планктон из-за перемешивания поверхностных и глубинных вод, вызванного высокой проточностью водохранилища и ветро-нагонными явлениями. Вхождение в состав доминантов нитчатых водорослей имеет особое значение для оценки современного состояния экосистемы Новосибирского водохранилища. Известно, что массовое развитие нитчатых зеленых водорослей в прибрежных зонах водоемов служит характерным признаком и одним из последствий эвтрофирования, а если оно появилось и развивается в течение относительного короткого отрезка времени, как в нашем случае, то это становится специфичным для антропогенного эвтрофирования (Россолимо, 1975). Как яркий пример последних лет можно привести массовую вегетацию спирогиры в некоторых районах оз. Байкал. Одной из причин этого явления в оз. Байкал был сброс неочищенных сточных вод, богатых соединениями азота и фосфора. Авторы (Тимошкин и др., 2014) связывают массовую вегетацию спирогиры с началом эвтрофирования участков прибрежной зоны оз. Байкал, приуроченных к ряду населенных пунктов.

Высокое флористическое сходство доминирующего комплекса летнего фитопланктона на разных участках водохранилища свидетельствует о значительной однородности его состава по всей акватории водоема, исключая Бердский залив. В многолетнем аспекте происходит распространение цианопрокариот, входящих в доминирующий комплекс фитопланктона, на верхнюю часть водохранилища, что также вызвано ускорением процесса эвтрофирования водохранилища из-за повышения уровня антропогенной нагрузки в бассейне р. Оби (Пузанов и др., 2017).

Значительные межгодовые колебания численности и биомассы летнего фитопланктона по продольной оси Новосибирского водохранилища вызваны возрастающим уровнем эвтрофирования. Это отмечено нами уже в верхней речной части водоема, где ранее (Многолетняя..., 2014) наблюдали стабильность показателей обилия фитопланктона. Указанное явление характерно для ряда водохранилищ, в которых зарегистрирован прогрессирующий характер антропогенного воздействия: Бухтарминского, расположенного в верхнем течении р. Иртыш (Баженова, 2005; Сукцессии..., 2010), Красноярского (Гольд и др., 1998), ангарских (Воробьева, 1995). Как указывает Л. Г. Корнева (2015), в трендах многолетней динамики отдельных структурных компонентов фито-

планктона в ходе эвтрофирования наблюдается значительное сходство, что свидетельствует об однонаправленности этих изменений в различных водохранилищах крупных рек, расположенных в разных природно-климатических зонах.

Трофический статус Новосибирского водохранилища постепенно возрастал с начала его заполнения. В годы заполнения (1957–1959 гг.) по показателям развития фитопланктона оно характеризовалось как олиго-мезотрофное. После 22 лет существования водохранилища его трофический статус не изменился (Куксн, Чайковская, 1985). С 1981 по 2007 гг. по среднему содержанию хлорофилла *a* водоем большую часть года оставался мезотрофным, в 2007–2018 гг. статус повысился до эвтрофной категории. При продвижении по продольной оси водохранилища трофность водоема в верхней и средней частях соответствовала мезотрофному уровню, в нижней части повышалась до эвтрофного, достигая политрофного или гипертрофного в Бердском заливе (Кириллов, Чайковская, 1985; Кириллова, Котовщиков, 2009; Котовщиков, Яныгина, 2018). Эти данные согласуются с оценкой трофического статуса водохранилища по биомассе фитопланктона согласно комплексной экологической классификации (Оксиюк и др., 1993). Применение классификации трофности вод по Китаеву (2007) дает более низкую оценку трофического статуса различных частей Новосибирского водохранилища – от олиготрофной категории верхней части в 2016 г. до α - и β -эвтрофной в Бердском заливе. По мнению Корневой (2015), разница в полученных результатах могла заключаться в различной трактовке уровня трофии вод, которую можно оценивать по разным критериям.

Выводы. Летом 2016–2018 гг. в фитопланктоне Новосибирского водохранилища выявлено 292 видовых и внутривидовых таксона водорослей из восьми отделов. Основу видового богатства формировали диатомовые (51.0%) и зеленые (26.4%) водоросли, доля остальных отделов колебалась в пределах 1–7%. По сравнению с концом XX века, отмечены возрастание (на 11.4%) видового богатства фитопланктона и значительная доля (32.9%) новых для водоема ВВТ.

Доминирующий комплекс фитопланктона формировал 21 вид, преобладали цианопрокариоты (11 видов). С конца XX века состав доминирующего комплекса увеличился почти в 2 раза – с 11 до 21. Впервые в состав доминантов вошли нитчатые зеленые (*Ulothrix zonata*) и харовые (*Spirogyra* sp.) водоросли. По всей акватории водохранилища зарегистрированы высокие показатели доминирования видов-индикаторов антропогенного эвтрофирования (*Dolichospermum flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Aphanocapsa holsatica*, *Aulacoseira granulata*, *Stephanodiscus hantzschii*) и наблюдается

массовое развитие безгетероцистных цианопрокариот (*Aphanocapsa holsatica*, *Anathece clathrata*, *Phormidium* sp., *Planktolingbya limnetica*, *Snowella lacustris*, *Woronichinia compacta*). Отмечено высокое флористическое сходство доминирующего комплекса при продвижении от верхней части к нижней, за исключением Бердского залива. Трофический статус водоема постепенно возрастал от олиго-мезотрофного в начале заполнения и до эвтрофного в настоящее время. Прогнозы стабилизации темпов антропогенного эвтрофирования Новосибирского водохранилища, данные в конце XX века, не оправдались. Интенсивная сукцессия видового состава фитопланктона, возрастание количества доминирующих видов и преобладание в их составе цианопрокариот, увеличение обилия нитчатых водорослей и безгетероцистных цианопрокариот по сравнению с концом XX века обусловлены ускорением процесса антропогенного эвтрофирования Новосибирского водохранилища, вызванного возросшим антропогенным воздействием в бассейне реки Оби и изменениями климата.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках проекта Института водных и экологических проблем СО РАН “Пространственно-временная организация водных экосистем и оценка влияния природных и антропогенных факторов на формирование гидробиоценозов и качество поверхностных вод бассейна Оби и Обь-Иртышского междуречья”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анциферова Г.А.* 2005. Биоиндикация в геоэкологии: об эвтрофировании межледниковых, голоценовых и современных поверхностных водных экосистем бассейна Верхнего Дона // Вестник Воронеж. ун-та. Геология. № 1. С. 240.
- Баженова О.П.* 2005. Фитопланктон Верхнего и Среднего Иртыша в условиях зарегулированного стока. Омск: Изд-во Омского гос. аграрного ун-та.
- Волошко Л.Н.* 2017. Золотистые водоросли водоемов Севера России. Санкт-Петербург: Реноме.
- Воробьева С.С.* 1995. Фитопланктон водоемов Ангары. Новосибирск: Наука. Сибирская издат. фирма РАН.
- Генкал С.И., Левадная Г.Д.* 1980. Новые данные к флоре диатомовых водорослей реки Оби // Новости систематики низших растений. С. 3.
- Генкал С.И., Романов Р.Е.* 2012. Центрические диатомовые (Centrophyceae, Bacillariophyta) водотоков и водоемов юго-востока Западно-Сибирской равнины и Приполярного Урала // Сиб. экол. журн. № 4. С. 541.
- Гольд З.Г., Мучкина Е.Я., Грабовенко И.С. и др.* 1998. Динамика состояния экосистемы глубоководного водоема в условиях прогрессирующего антропогенного воздействия (на примере Красноярского водохранилища) // Состояние водных экосистем Сибири и перспективы их использования: Матер. науч. чтений, посвященных памяти проф. Б.Г. Иоганзена. Томск: ООО Дельтаплан. С. 320.
- Горбулин О.С.* 2012. Комплексы доминантных форм фитопланктона разнотипных водоемов // Альгология. № 3. С. 303.
- Ермолаева Н.И., Зарубина Е.Ю., Баженова О.П. и др.* 2019. Влияние абиотических и трофических факторов на суточную горизонтальную миграцию зоопланктона в литоральной зоне Новосибирского водохранилища // Биология внутренних вод. Т. 53. № 4(1). С. 50. <https://doi.org/10.1134/S0320965219040053>
- Кириллов В.В., Чайковская Т.С.* 1985. Пигментные характеристики фитопланктона Новосибирского водохранилища // Комплексные исследования Новосибирского водохранилища. Москва: Гидрометеоздат. С. 84.
- Кириллова Т.В., Котовицков А.В.* 2009. Растительные пигменты как показатели экологического состояния Новосибирского водохранилища // Мир науки, культуры, образования. № 1. С. 26.
- Китаев С.П.* 2007. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН.
- Кожевникова Н.А.* 2001. Видовая структура фитопланктона Красноярского водохранилища (1977–2000 гг.) // Современные проблемы гидробиологии Сибири: Тезисы докл. Всерос. конф. Томск. С. 48.
- Кожова О.М.* 1970. Формирование фитопланктона Братского водохранилища // Формирование природных условий и жизни Братского водохранилища. Москва: Наука. С. 26.
- Кожова О.М., Башарова Н.И.* 1984. Продуктивность ангарских водохранилищ // Биологические ресурсы внутренних водоемов Сибири и Дальнего Востока. Москва: Наука. С. 175.
- Кольцова Т.И.* 1970. Определение объема и поверхности фитопланктона // Научные доклады высшей школы. Сер. биол. № 6. С. 114.
- Корнева Л.Г.* 2009. Формирование фитопланктона водоемов бассейна Волги под влиянием природных и антропогенных факторов: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Санкт-Петербург.
- Корнева Л.Г.* 2014. Биологические последствия эвтрофирования // Розенберг Г.С. и др. Экологический мониторинг. Часть VIII. Современные проблемы мониторинга пресноводных экосистем. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского гос. ун-та. С. 113.
- Корнева Л.Г.* 2015. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги. Кострома: Костромской печатный дом.
- Корнева Л.Г., Глущенко Г.Ю.* 2020. Состав и сезонная сукцессия фитопланктона Таганрогского залива

- Азовского моря и нижнего течения р. Дон в условиях изменяющегося климата // Биология внутренних вод. № 1. С. 18.
<https://doi.org/10.31857/S032096522001009X>
- Котовищikov А.В., Яныгина Л.В. 2018. Пространственная неоднородность содержания хлорофилла *a* в Новосибирском водохранилище // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. № 3. С. 46.
- Краxмальный А.Ф. 2011. Динофитовые водоросли Украины (иллюстрированный определитель). Киев: Альтерпрес.
- Куксн М.С. 1965. Фитопланктон Новосибирского водохранилища и его формирование: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск.
- Куксн М.С., Чайковская Т.С. 1985. Межгодовые колебания видового состава и биомассы фитопланктона Новосибирского водохранилища // Комплексные исследования Новосибирского водохранилища. Москва: Гидрометеиздат. С. 76.
- Куксн М.С., Левадная Г.Д., Попова Т.Г. и др. 1972. Водоросли Оби и ее поймы // Водоросли и грибы Сибири и Дальнего Востока. Ч. 2 (4). Новосибирск: Наука. С. 3.
- Лакин Г.Ф. 1990. Биометрия. Москва: Высшая школа.
- Макаревич В.Н. 1966. Голландские методы учета обилия видов по де Фризу в сравнении с другими методами определения участия видов в луговых травостоях // Бот. журн. № 2. С. 293.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. 1975. Москва: Наука.
- Михайлов В.В., Баженова О.П. 2019. Оценка качества вод Новосибирского водохранилища по показателям развития фитопланктона, обилие и особенности его распределения // Вестник Оренбургского гос. пед. ун-та. № 1(29). С. 11.
<https://doi.org/10.32516/2303-9922.2019.29.2S>
- Михеева Т.М. 1992. Структура и функционирование фитопланктона при эвтрофировании вод: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Минск.
- Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища. 2014. Новосибирск: Изд-во СО РАН.
- Мэггаран Э. 1992. Экологическое разнообразие и его измерение. Москва: Мир (Magurran A. 1983. Ecological diversity and its measurement. London-Sydney: CROOM HELM Royal Society University Research Fellow University College of North Wales).
- Науменко Ю.В. 1995. Водоросли фитопланктона реки Оби. Новосибирск: Препринт.
- Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский П.Н. и др. 1993. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. Т. 29. № 4. С. 62.
- Охапкин А.Г. 1997. Структура и сукцессия фитопланктона при зарегулировании речного стока (на примере р. Волги и ее притоков): Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Санкт-Петербург.
- Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Винокуров Ю.И. и др. 2017. Современное состояние водных ресурсов и водохозяйственного комплекса Обь-Иртышского бассейна // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: Труды III Всероссийской научной конференции с международным участием. Барнаул: ООО Пятъплюс. Т. 1. С. 3.
- Пузаченко Ю.Г. 2004. Математические методы в экологических и географических исследованиях. Москва: Academia.
- Россолимо Л.Л. 1975. Антропогенное эвтрофирование водоемов // Итоги науки и техники. ВИНТИ АН СССР. Общая экология. Биогеоценология. Гидробиология. Т. 2. Москва. С. 8.
- Савкин В.М., Двуреченская С.Я. 2018. Влияние многолетнего комплексного использования водных ресурсов на экосистему Новосибирского водохранилища // Вода и экология: проблемы и решения. № 1. С. 71.
- Савкин В.М., Двуреченская С.Я., Кондакова О.В. 2018. Грани гидрологии при современном использовании стока Верхней Оби // Третьи Виноградские чтения. Грани гидрологии: Сборник докладов международной научной конференции памяти Ю.Б. Виноградова, 28–30 марта 2018 г. Санкт-Петербург: Изд-во Научное знание. С. 781.
- Садчиков А.П. 2003. Методы изучения пресноводного фитопланктона: методическое руководство. Москва: Университет и школа.
- Сукцессии биоценозов Бухтарминского водохранилища. 2009. Омск: Изд-во Омского гос. аграрного ун-та.
- Тимошкин О.А., Бондаренко Н.А., Волкова Е.А. и др. 2014. Массовое развитие зеленых нитчатых водорослей родов *Spirogyra* и *Stigeoclonium* (Chlorophyta) в прибрежной зоне Южного Байкала // Гидробиол. журн. Т. 50. № 5. С. 15.
- Трифоновна И.С. 1990. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Ленинград: Наука.
- Федоров В.Д., Капков В.И. 2000. Руководство по гидробиологическому контролю качества природных вод. Москва: Христианское изд-во.
- Эльяшев А.А. 1957. О простом способе приготовления высокопреломляемой среды для диатомового анализа // Труды НИИ геологии Арктики. № 4. С. 74.
- Vazhenova O.P., Gulchenko Ya.I. 2017. Long-Term Succession of the Phytoplankton of the Irtysh River Middle Flow (Omsk, Russia) // Intern. J. Algae. V. 19. № 1. P. 85.
<https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v19.il.80>
- Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. 2020. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org> (дата обращения 20.02.2021).

Phytoplankton as an Indicator of the Modern Ecological State of the Novosibirsk Reservoir

O. P. Bazhenova^{1, *} and V. V. Mikhailov²

¹ *Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia*

² *Omsk Agricultural Research Center, Omsk, Russia*

**e-mail: olga52@bk.ru*

Based on the materials of summer phytoplankton studies in 2016–2018, an assessment of the ecological state of the Novosibirsk reservoir is given. A total of 292 species and intraspecific taxa (SIT) from 8 divisions were identified, the basis of the species richness is formed by diatoms and green algae. For the first time, 96 SIT were found in the reservoir. The dominant phytoplankton complex and its changes in the interannual aspect along the longitudinal axis of the reservoir are characterized. The trophic status of the reservoir generally corresponds to the eutrophic category of water. Analysis of the structural indicators of phytoplankton and changes in the dominant complex in comparison with the end of the 20th century showed that the process of anthropogenic eutrophication is accelerating in the reservoir.

Keywords: phytoplankton, species composition, dominant complex, trophic status, Novosibirsk Reservoir