

УДК 574.583:581.526.325

УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ГИДРОБИОНТОВ

**СОСТАВ, СТРУКТУРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ
И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЛЬГОСООБЩЕСТВ
р. АМУР В 2018–2020 гг.
2. ФИТОПЛАНКТОН**

И. В. Мотылькова¹ (motilkovaiv@sakhniro.vniro.ru),
С. Е. Кульбачный²

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ВНИРО»)

¹ Сахалинский филиал («СахНИРО»)
Россия, г. Южно-Сахалинск, 693023, ул. Комсомольская, 196

² Хабаровский филиал («ХабаровскНИРО»)
Россия, г. Хабаровск, 680038, Амурский бульвар, 13а

Мотылькова И. В., Кульбачный С. Е. Состав, структурные показатели и распределение альгосообществ р. Амур в 2018–2020 гг. 2. Фитопланктон // Результаты Второй Амурской экспедиции. Т. 2 : Труды «СахНИРО». – Южно-Сахалинск : «СахНИРО», 2023. – Т. 19, ч. II. – С. 214–226.

По результатам наблюдений 2018–2020 гг. дана характеристика фитопланктона основного русла среднего и нижнего Амура, а также водоемов нижеамурской поймы. Обнаружен 351 вид и разновидность водорослей из девяти отделов с преобладанием Bacillariophyta (57% от общего числа видов), Chlorophyta (15%) и Cyanobacteria (13%). Продольную динамику биомассы фитопланктона определяли диатомовые водоросли, долевое участие которых уменьшалось от среднего к нижнему Амуру. Предельные значения средневзвешенной биомассы на участке от г. Хабаровска до г. Благовещенска в 2018 г. составляли 1,3–1225,1 мг/м³, от г. Николаевска-на Амуре до г. Комсомольска-на-Амуре в 2019 г. – 91,6–856,2 мг/м³, от г. Хабаровска до г. Комсомольска-на-Амуре в 2020 г. – 1,4–49,9 мг/м³. Основными доминантами являлись *Asterionella formosa*, *Aulacoseira granulata*, *Melosira varians*, *Ulnaria ulna*. Состав и количественные характеристики фитопланктона зависят от уровня режима. Его слабое развитие наблюдалось в паводковых водах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фитопланктон, диатомовые водоросли, цианобактерии, биомасса, средний и нижний Амур.

Табл. – 2, ил. – 3, библиогр. – 40.

Motylikova I. V., Kul'bachnyi S. E. Composition, structural indicators and distribution of algae communities of Amur River in 2018–2020. 2. Phytoplankton // Results of the Second Amur expedition. Vol. 2 : Transactions of the "SakhNIRO". – Yuzhno-Sakhalinsk : "SakhNIRO", 2023. – Vol. 19, part II. – P. 214–226.

The characteristics of phytoplankton in the main course of the middle and lower Amur and reservoirs have been studied based on data surveys in 2018–2020. A total of 351 species and intraspecific taxa of algae from 9 divisions in the phytoplankton have been identified. Bacillariophyta (57% of the total number of species), Chlorophyta (15%) and Cyanobacteria (13%) dominated the species list. The diatoms determined the longitudinal distribution of phytoplankton biomass. The proportion of diatoms decreased from the middle to the lower Amur. The average biomass of phytoplankton on the area from Khabarovsk to Blagoveshchensk in 2018 varied from 1.3 to 1225.1 mg/m³; on the area from Nikolaevsk-on-Amur to Komsomolsk-on-Amur in 2019 varied from 91.6 to 856.2 mg/m³; on the area from Khabarovsk to Komsomolsk-on-Amur in 2020 varied from 1.4 to 49.9 mg/m³. *Asterionella formosa*, *Aulacoseira granulata*, *Melosira varians*, *Ulnaria ulna* are dominate. The composition and quantitative characteristics of phytoplankton depend on the level regime. Weak development of plankton algae was observed in flood waters.

KEYWORDS: phytoplankton, diatoms, cyanobacteria, biomass, middle and lower Amur.

Tabl. – 2, fig. – 3, ref. – 40.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение фитопланктона основного русла среднего и нижнего Амура, а также водоемов нижеамурской поймы проводится с 1910-х гг. (Скворцов, 1917, 1918а, б; Хахина, 1937, 1948; Ловецкая, Микулич, 1948; Микулич, 1948; Мокеева, 1963; Сиротский, Юрьев, 1985, 1989; Сиротский, 1989, 1993; Кухаренко, Наumenко, 1990; Барина, Сиротский, 1991). Изменения экологического состояния вод на фоне макроклиматических флуктуаций и экономических преобразований на Амуре требует обновления информации и получения дополнительных сведений о водорослях бассейна р. Амур. Современные данные о видовом составе, структуре и количественных показателях фитопланктона в основном русле реки имеются в работах дальневосточных исследователей (Никулина, 2014, 2019; Никулина, Кульбачный, 2021). В частности, приводятся данные о фитопланктоне основного русла р. Амур на участке от г. Хабаровска до Амурского лимана и оз. Чля (Никулина, 2014), в районе г. Благовещенска (Никулина, 2019), в районе г. Хабаровска (Никулина, Кульбачный, 2021).

Цель настоящей работы – изучить структуру и продольное распределение биомассы фитопланктона в основном русле среднего и нижнего Амура и водоемах нижеамурской поймы в 2018–2020 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение структуры биомассы фитопланктона проводилось на материалах, собранных во время подготовки и проведения Амурской комплексной ихтиологической экспедиции в среднем и нижнем Амуре. В среднем Амуре исследования, проведенные в основном русле реки с 7 по 23 июня 2018 г., охватывали участок от г. Хабаровска до г. Благовещенска. В нижнем Амуре отбор проб проводили в два этапа: первый – с 9 по 25 июня 2019 г. в основном русле реки и пойменных озерах на участке от г. Николаевска-на-Амуре до г. Комсомольска-на-Амуре, второй – с 25 августа по 9 сентября 2020 г. – в протоках, заливах и озерах от г. Хабаровска до г. Комсомольска-на-Амуре. Карта-схема района работ с указанием мест сбора материала представлена на рисунке 1 в первом сообщении (Мотылькова, Кульбачный, наст. сб.).

Всего было обработано 123 пробы фитопланктона, 103 из них – количественные. Количественные пробы фитопланктона были отобраны планктонной сетью Джеди методом проливания 50 л речной воды через сеть. Пробы,

фиксированные 2%-ным водным раствором формальдегида, концентрировали с помощью воронки обратной фильтрации через нуклеопоровые лавсановые фильтры с диаметром пор 3 мкм (**Федоров, 1979**). Методика изучения морфологии клеток описана в первом сообщении (**Мотылькова, Кульбачный, наст. сб.**). Клетки подсчитывали в камере Нахотта объемом 0,05 мл при увеличении $\times 320$. Одновременно с подсчетом клеток проводились измерения их размеров. Учитывали все водоросли, найденные в планктонной пробе.

Численность клеток (N) высчитывали по формуле:

$$N = \frac{n \text{ (кл.)} \times v \text{ (мл)}}{V_{\text{камеры}} \text{ (мл)} \times V_{\text{воды}} \text{ (л)}},$$

где n – количество клеток в камере, кл., v – объем сконцентрированной пробы, мл; V (камеры) – объем камеры, в которой осуществляются определение клеток и подсчет, мл; V (воды) – объем воды (л), процеженной через сеть (**Радченко и др., 2010**).

Биомассу фитопланктона (B) определяли как произведение численности таксона на средний объем его клетки, приравнивая удельную массу водорослей к 1 (**Методика изучения..., 1975**). Объем клеток определяли методом геометрического подобия (**Кольцова, 1970; Макарова, Пичкилы, 1970**).

К видам, формирующим доминантный комплекс, относили виды, биомасса которых равнялась или превышала 20% от общей численности или биомассы (**Коновалова, 1984**).

Частоту доминирования (DF) рассчитывали по формуле:

$$DF = \frac{D}{F} \times 100,$$

где F – общее число обработанных проб за определенный этап исследований (2018 г., 2019 г. или 2020 г.); D – число проб за определенный этап, в которых данный вид занимал доминирующее положение по значениям биомассы (**Кожова, 1970**).

Для сравнения видового состава фитопланктона и фитоперифитона исследуемого района использовали коэффициент видового сходства Чекановского-Серенсена (J):

$$J = 2a/b + c,$$

где a – число общих видов; b и c – число видов в сравниваемых списках (**Песенко, 1982**).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В составе фитопланктона за период исследований 2018–2020 гг. зарегистрирован 351 таксон рангом ниже рода из девяти отделов: диатомовые Bacillariophyta, зеленые Chlorophyta, харовые Charophyta (Chlorophyta), криптофитовые Cryptophyta, эвгленовые Euglenozoa (Euglenophyta), динофитовые Miozoa (Dinophyta), охрофитовые Ochrophyta (Chrysophyta, Xanthophyta), красные Rhodophyta и цианобактерии Cyanobacteria (Cyanoprokaryota, Cyanophyta).

По количеству видов ведущее место занимали диатомовые водоросли – 198 видов и внутривидовых таксонов (57% от общего числа таксонов). За

ними следовали зеленые (52 вида), цианобактерии (46) и харовые (25). Охрофитовые были представлены 12 видами, эвгленовые – десятью, динофитовые – пятью, криптофитовые – двумя, красные – одним.

Среди обнаруженных водорослей большое количество (55%) было представлено бентосными формами (эпифитами, эпипелитами, эпилитами, обрастателями) (Мотылькова, Кульбачный, наст. сб., сообщ. 1), занесенными в планктон мощными водными струями из донных илов и оторванными из перифитона (Барина, Сиротский, 1991). Преобладание бентосных водорослей в фитопланктоне типично для водоемов и водотоков бассейна р. Амур (Медведева, Сиротский, 2002; Никулина, Кульбачный, 2021) и свойственно для лотических экосистем, что определяется достаточно высокой их гидродинамической активностью как фактором, влияющим на структуру сообществ (Охапкин, 1997).

В среднем течении Амура на участке от г. Хабаровска до г. Благовещенска в 2018 г. в составе фитопланктона было обнаружено 214 видов и внутривидовых таксонов (Мотылькова, Кульбачный, наст. сб., сообщ. 1). Две трети видового списка (71%) формировали водоросли перифитона. Коэффициент сходства видового состава водорослей планктона и перифитона был равен 0,72. Высокой частотой встречаемости (73–100%) отличались *Dinobryon sociale*, *Encyonema minutum*, *Monoraphidium convolutum*, *Tabellaria fenestrata*, *T. flocculosa*, *Ulnaria ulna*. Биомасса фитопланктона, как и численность, сформированная преимущественно диатомовыми водорослями (63–95% от общей биомассы, 84–97% от общей численности), по станциям варьировалась в значительных пределах (табл. 1). Наблюдалась синхронность их изменений по станциям, о чем свидетельствуют высокие коэффициенты корреляции: $r=0,98$ (между общей численностью фитопланктона и численностью диатомовых водорослей) и $r=0,99$ (между общей биомассой фитопланктона и биомассой диатомовых водорослей) при $p<0,05$.

В районе Зейско-Буреинской низменности (от р. Зея до р. Буря) средневзвешенная биомасса не превышала 150 мг/м^3 (рис. 1), численность – 57 тыс. кл./л. На большей части акватории от устья р. Зея до р. Завитая показатели биомассы колебались незначительно ($73\text{--}99 \text{ мг/м}^3$), в то время как ниже устья р. Буря резко снижались, составляя в среднем 14 мг/м^3 . В роли основного доминанта (с частотой доминирования, равной 100%) в районе Зейско-Буреинской низменности выступала *Ulnaria ulna* (табл. 2). Далее вниз по течению ее сменяла *Asterionella formosa*, которая определяла продольное распределение биомассы фитопланктона. Ее активное развитие сопровождало увеличение общей численности и биомассы.

Так, в районе Буреинского хребта количественные показатели возросли почти на порядок (141 тыс. кл./л и 128 мг/м^3), а ниже впадения р. Сунгари они были максимальными (783 мг/м^3 (см. рис. 1), 967 тыс. кл./л). Участок от устья р. Сунгари вниз по течению р. Амур на протяжении 250 км, находясь под влиянием сунгарийского стока, отличается повышенным содержанием биогенных элементов и растворенных органических веществ (Лызова, 2007; Шестеркин, Шестеркина, 2012) и по качеству вод относится к загрязненной зоне (Махинов и др., 2003; Barinova et al., 2015). При этом трансграничное загрязнение вод проявляется во все фазы водного режима (Горбатенко, 2019). Очевидно, что повышенные показатели развития фитопланктона на сунгарийском участке связаны с эвтрофированием.

Таблица 1

Таксономический состав и основные количественные показатели фитопланктона в среднем и нижнем Амуре в 2018–2020 гг.

Table 1

Taxonomic composition and main quantitative indicators of phytoplankton in the middle and lower Amur in 2018–2020

Отдел	г. Хабаровск – г. Благовещенск						г. Николаевск-на-Амуре – г. Комсомольск-на-Амуре		г. Хабаровск – г. Комсомольск-на-Амуре	
	Амурская область			Еврейская автономная область			Хабаровский край			
	2018 г.			2018 г.			2019 г.		2020 г.	
	N	B		N	B		N	B	N	B
Bacillariophyta	0,05–102,96 26,51±4,95	1,33–235,65 60,00±12,10		0,53–2122,72 408,28±89,92	1,0–1223,9 275,8±54,5		7,9–1423,4 251,9±76,0	4,3–839,1 178,9±46,4	0,5–45,4 10,5±2,8	0,8–40,8 9,6±2,4
Miozoa (Dinophyta)	0,0–0,01 26,51±4,95	0,00–5,79 0,43±0,29		0,00–0,04 0,01±0,00	0,0–0,2 0,01±0,00		0,0–0,6 0,00±0,00	0,0–5,5 0,23±0,21	0,0–0,02 0,00±0,00	0,0–1,36 0,1±0,1
Charophyta (Chlorophyta)	0,00–2,30 0,36±0,11	0,00–73,99 10,65±3,26		0,00–11,42 1,01±0,44	0,0–367,3 28,8±13,9		0,0–26,7 2,9±1,3	0,0–149,2 16,6±7,2	0,0–0,9 0,1±0,05	0,0–14,8 1,8±0,9
Euglenozoa (Euglenophyta)	–	–		0,00–0,03 0,01±0,01	0,00–0,06 0,01±0,01		0,0–0,05 0,00±0,00	0,0–0,07 0,00±0,00	0,0–0,04 0,00±0,00	0,0–0,17 0,02±0,01
Chlorophyta	0,00–3,44 0,74±0,19	0,00–0,64 0,06±0,03		0,41–21,91 4,83±0,92	0,04–1,4 0,2±0,1		0,0–18,7 3,3±1,0	0,0–2,5 0,3±0,1	0,03–5,18 1,2±0,3	0,0–0,7 0,1±0,05
Ochromophyta (Chrysophyta, Xanthophyta)	0,00–14,27 3,45±0,91	0,00–5,89 1,53±0,40		0,00–120,12 15,82±4,19	0,0–39,0 5,6±1,5		0,0–220,0 27,0±10,4	0,0–71,5 10,5±3,6	0,0–17,3 2,4±0,9	0,0–8,5 1,0±0,4
Cryptophyta	–	–		–	–		0,0–0,25 0,01±0,01	0,0–0,1 0,02±0,01	0,0–0,1 0,01±0,00	0,0–0,1 0,1±0,01
Cyanobacteria (Cyanoprokaryota, Cyanophyta)	0,00–69,24 5,11±2,82	0,00–69,24 5,11±2,82		0,00–53,50 13,86±2,71	0,0–1,8 0,2±0,1		0,0–818,1 59,6±33,3	0,0–21,4 2,0±0,9	0,0–3835,0 228,1±191,9	0,0–6,1 0,5±0,3
Rhodophyta	0,00–1,11 0,10±0,06	0,00–0,22 0,02±0,01		–	–		–	–	–	–
Всего	0,44–118,62 36,28±6,00	1,35–267,32 73,11±13,77		7,92–2129,20 443,80±93,27	14,3–1225,1 310,7±59,2		98,3–1545,6 344,8±95,4	91,6–856,2 208,5±49,7	0,8–3857,0 242,3±192,6	1,4–49,9 13,1±3,1

Примечание: N – численность, тыс. кл./л, B – биомасса, мг/м³. В числителе – пределы колебаний, в знаменателе – среднее значение с ошибкой среднего.

Note: N – number, thousand cells/l, B – biomass, mg/m³. In the numerator – the limits of fluctuations, in the denominator – the average value with the error of the average.

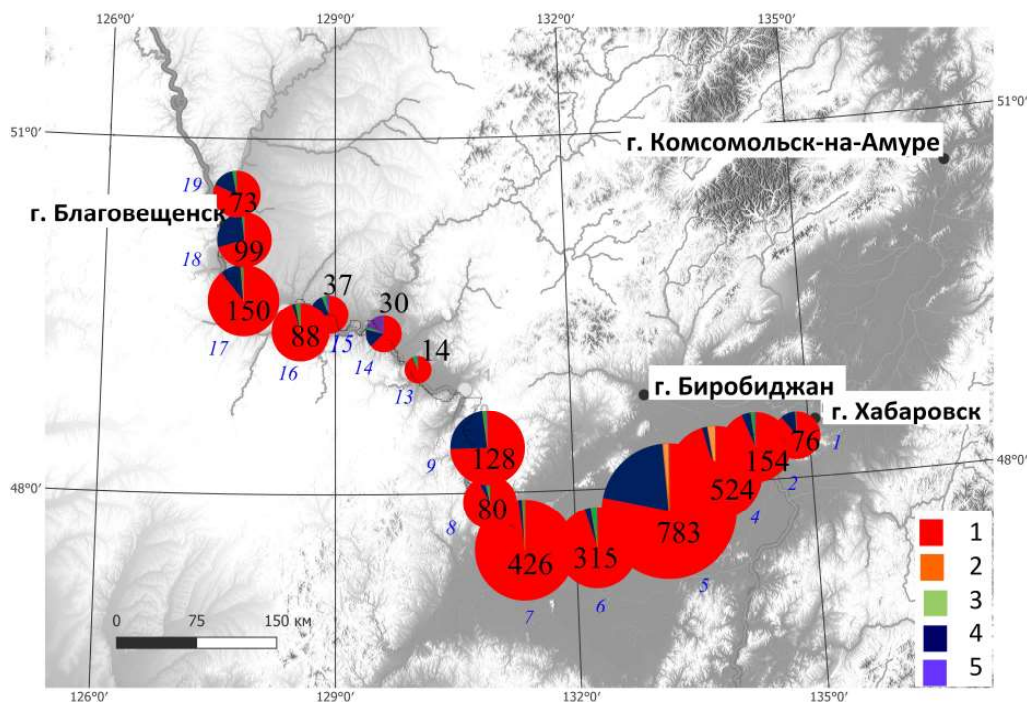


Рис. 1. Распределение биомассы фитопланктона в среднем Амуре на участке г. Хабаровск – г. Благовещенск в июне 2018 г. Обозначения легенды: 1 – диатомовые, 2 – охрофитовые, 3 – цианобактерии, 4 – харовые, 5 – прочие. Цифры: курсивом – номера станций, прямой шрифт – значения биомассы, мг/м^3

Fig. 1. Distribution of phytoplankton biomass in the middle Amur in the area Khabarovsk city–Blagoveshchensk city in June 2018. Legend designations: 1 – Bacillaryophyta, 2 – Ochrophyta, 3 – Cyanobacteria, 4 – Charophyta, 5 – others. Numbers in italics – station numbers, roman font – biomass values, mg/m^3

Комплекс доминирующих видов в среднем Амуре наряду с вышеуказанными *Ulnaria ulna* и *Asterionella formosa* формировали еще восемь видов, но их частота доминирования была низкой и не превышала 16% (см. табл. 2).

В нижнем Амуре на участке от г. Николаевска-на Амуре до г. Комсомольска-на-Амуре в 2019 г. обнаружено 128 видов и разновидностей из восьми отделов. Наибольшей частотой встречаемости отличались диатомеи *Asterionella formosa*, *Aulacoseira granulata*, *Tabellaria fenestrata*.

Биомасса фитопланктона по станциям варьировалась в пределах 91,6–856,2 мг/м^3 , численность – 98–1546 тыс. кл./л (см. табл. 2). Анализ парных корреляций показал статистически достоверную тесную связь между численностью и биомассой фитопланктона ($r=0,97$, $p<0,05$). Суммарная биомасса статистически достоверно ($p<0,05$) была положительно скоррелирована с биомассой диатомовых ($r=0,92$), харовых ($r=0,58$), криптофитовых водорослей ($r=0,73$) и цианобактерий ($r=0,65$), суммарная численность – с численностью диатомовых ($r=0,98$) и цианобактерий ($r=0,67$).

Таблица 2

**Доминирующие виды фитопланктона по биомассе в среднем
и нижнем Амуре в 2018–2020 гг.**

Table 2

**Dominant phytoplankton species by biomass in the middle
and lower Amur in 2018–2020**

Виды	Номер станции		
	г. Хабаровск – г. Благовещенск	г. Хабаровск – г. Комсомольск- на-Амуре	г. Николаевск- на-Амуре – г. Комсомольск- на-Амуре
	2018 г.	2019 г.	2020 г.
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 16	1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 18, 21, 23	–
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	–	2, 6, 7, 13, 16, 17, 19, 23	2, 5, 7, 8, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 20
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenberg) Simonsen	–		1, 13
<i>Ceratium hirundinella</i> (O. F. Müller) Dujardin	14		–
<i>Closterium kuetzingii</i> Brébisson	14		–
<i>Dinobryon sociale</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	–	21, 22	10
<i>Dinobryon divergens</i> O. E. Imhof	–	18	18
<i>Iconella capronii</i> (Brébisson & Kitton) Ruck & Nakov	1, 19	4, 13	–
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	–	–	20
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	–	1, 3, 4, 5, 7, 12, 16, 20	3, 5, 6, 15, 20
<i>Mougeotia</i> sp. ster.	1, 13, 14, 18	8	–
<i>Pinnularia major</i> (Kützing) Rabenhorst	15	–	–
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg	16	–	7
<i>Spirogyra</i> sp. ster.	1, 2, 4, 5, 9, 15, 18, 19	1, 19	3, 9, 16
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	2, 8, 13	6	–
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	1, 2, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19	1, 10, 15	1, 10, 11, 17

Примечания:

г. Хабаровск – г. Благовещенск, 2018 г.: 1–19 – номера станций в основном русле реки;

г. Николаевск-на-Амуре – г. Комсомольск-на-Амуре, 2019 г.: 1 – русло, Еремеевские острова, 2 – оз. Мачи, 3 – русло, с. Кальма (ниже острова Лейда), 4 – оз. Акиинское, 5 – русло, ниже оз. Хилка, 6 – оз. Хилка, 7 – русло, выше оз. Гера, 8 – оз. Гера, 9 – оз. Дудинское, 10 – русло, ниже оз. Кади, 11 – оз. Кади, 12 – русло, район Почтового Амура выше оз. Кадинское, 13 – оз. Кадинское, 14 – оз. Черемшаное, 15 – русло, выше оз. Черемшаное, 16 – русло, ниже оз. Хаванда, 17 – оз. Хаванда, 18 – зал. Солонцовый, 19 – русло, левый берег выше зал. Солонцовый, 20 – русло, выше о. Горина, 21 – оз. Галечное, 22 – русло, выше оз. Галечное, 23 – оз. Бельго;

г. Хабаровск – г. Комсомольск-на-Амуре, 2020 г.: протоки, заливы и озера: 1 – Амурская протока, 2 – оз. Дарга, 3 – оз. Дабанда, 4 – залив Труд, 5 – оз. Петропавловское, 6 – оз. Эхур, 7 – оз. Широкий плес, 8 – протока Пирская, 9 – протока Владимирская, 10 – р. Актар, 11 – протока Эморон, 12 – оз. Иннокентьевское, 13 – протока Мули, 14 – протока Накки, 15 – оз. Наду-Они, 16 – протока Серебряная, 17 – протока Сий, 18 – оз. Хавон, 19 – оз. Омми, 20 – оз. Хумми.

Note:

Khabarovsk city – Blagoveshchensk city, 2018: 1–19 – numbers of stations in the main channel of the river;

Nikolaevsk-on-Amur city – Komsomolsk-on-Amur city, 2019: 1 – channel, Eremeevsky Islands, 2 – Lake Machi, 3 – channel, village Kalma (below Leida Island), 4 – Lake Akshinskoye, 5 – channel, below the Lake Khilka, 6 – Lake Khilka, 7 – channel, above the Lake Gera, 8 – Lake Gera, 9 – Lake Dudinskoye, 10 – channel, below the Lake Kadi, 11 – Lake Kadi, 12 – channel, area of the Postal Amur above the Lake Kadinskoye, 13 – Lake Kadinskoye, 14 – Lake Cheremshanoye, 15 – channel, above the Lake Cheremshanoye, 16 – channel, below the Lake Khavanda, 17 – Lake Khavanda, 18 – Solontsovy Bay, 19 – channel, left bank above the Solontsovy Bay, 20 – channel, above about Gorina Island, 21 – Lake Galechnoye, 22 – channel, above the Lake Galechnoye, 23 – Lake Belgo;

Khabarovsk city – Komsomolsk-on-Amur city, 2020: channels, bays and lakes: 1 – Amur channel, 2 – Lake Darga, 3 – Lake Dabanda, 4 – Trud Bay, 5 – Lake Petropavlovskoe, 6 – Lake Ekbur, 7 – Lake Broad reach, 8 – Pirska channel, 9 – Vladimirska channel, 10 – Aktar River, 11 – Emoron channel, 12 – Lake Innokentyevskoye, 13 – Muli channel, 14 – Nakki channel, 15 – Lake Nadu-Oni, 16 – Serebryannaya channel, 17 – Siy channel, 18 – Lake Havon, 19 – Lake Ommi, 20 – Lake Hummi.

В основном русле реки, на стрежне, средневзвешенная биомасса по станциям не превышала 576 мг/м³ (рис. 2), численность – 1 427 тыс. кл./л. Максимальная биомасса при доминировании *A. formosa* (41%) и *Aulacoseira granulata* (24%) была зарегистрирована выше оз. Гера. Кроме того, высокие значения (562,8 мг/м³) при развитии *A. granulata* (20%) и *Spirogyra* sp. ster. (22%) отмечались у левого берега выше залива Солонцовый. Минимальной биомассой (62,9 мг/м³), основу которой создавала диатомовая водоросль *Melosira varians* (50%), отличалась станция в районе Почтового Амура выше оз. Кадинское (рис. 3). Основными доминантами (с частотой доминирования более 45%) в русловой части Амура от г. Николаевска-на-Амуре до г. Комсомольска-на-Амуре являлись *Asterionella formosa* и *Melosira varians* (см. табл. 2).

В пойменных озерах биомасса достигала 856 мг/м³ (см. рис. 2). Максимальные показатели развития были зарегистрированы в оз. Дудинское. Кроме того, высокой биомассой (1 491,9 мг/м³) при численности 849 тыс. кл./л отличалось оз. Мачи. Слабое развитие микроводорослей наблюдалось в оз. Гера (11,8 мг/м³, 6 тыс. кл./л), в оз. Акшинское (27,7 мг/м³, 8 тыс. кл./л), оз. Хилка (9,6 мг/м³, 19 тыс. кл./л). Биомассу в озерах определяли *A. formosa*, *A. granulata*, *Aulacoseira granulata* f. *spiralis*, *Monoraphidium convolutum*. Первые два вида из указанного списка, отличаясь высокой частотой доминирования, были основными доминантами в озерах. В разных водоемах в состав доминантного комплекса входили также *Dinobryon sociale*, *D. divergens*, *Iconella capronii*, *Melosira varians*, *Tabelaria flocculosa*, *T. fenestrata*, *Spirogyra* sp. ster., *Ulnaria ulna* (см. табл. 2).

На акватории нижнего Амура в районе от г. Хабаровска до г. Комсомольска-на-Амуре в 2020 г. совокупный список микроводорослей планктона включал 148 видов и разновидностей из восьми отделов (см. табл. 1). Почти во всех пробах были отмечены *Aulacoseira granulata*, *Monoraphidium convolutum*, *Ulnaria ulna* (см. табл. 2).

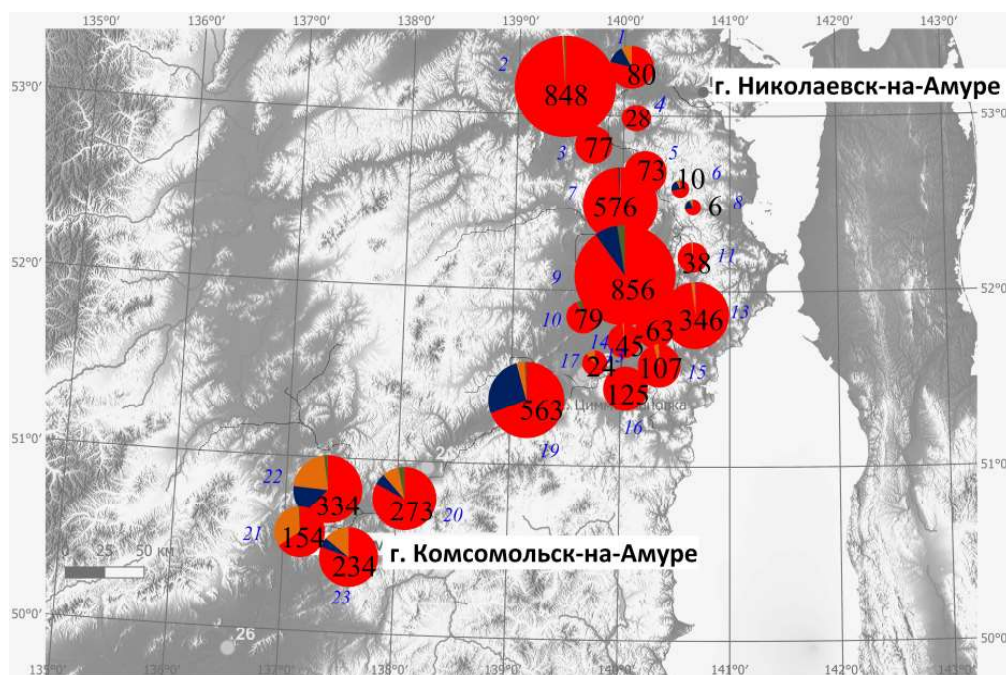


Рис. 2. Распределение биомассы фитопланктона в нижнем Амуре на участке г. Николаевск-на-Амуре – г. Комсомольск-на-Амуре в июне 2019 г. Обозначения – см. на рис. 1

Fig. 2. Distribution of phytoplankton biomass in the lower Amur in the area Nikolaevsk-on-Amur city – Komsomolsk-on-Amur city in June 2019. Designations – see fig. 1

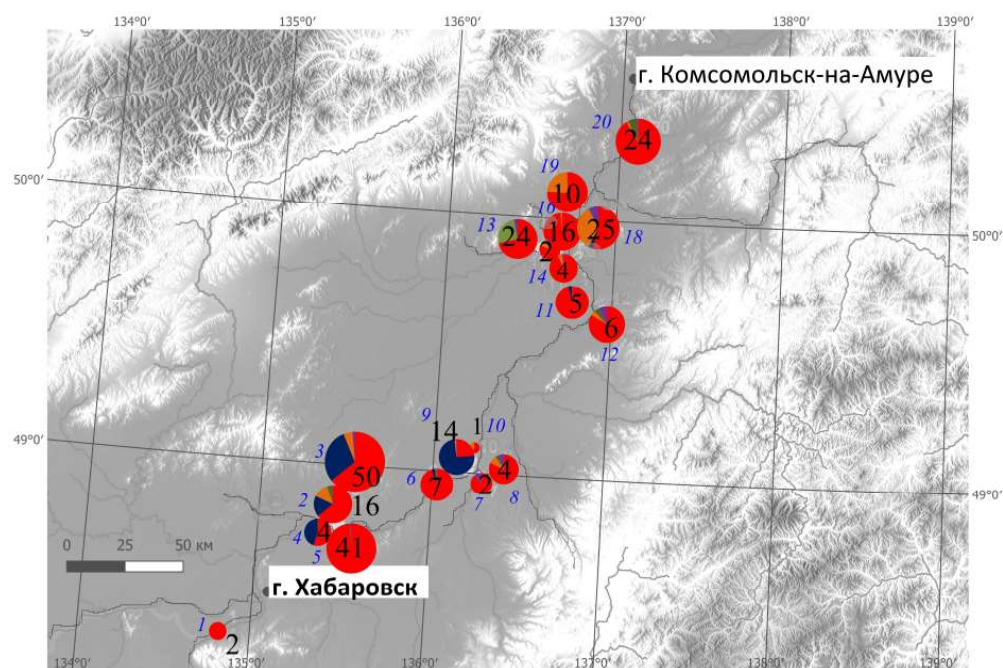


Рис. 3. Распределение биомассы фитопланктона в нижнем Амуре на участке г. Хабаровск – г. Комсомольск-на-Амуре в августе–сентябре 2020 г. Обозначения – см. на рис. 1

Fig. 3. Distribution of phytoplankton biomass in the lower Amur in the area Khabarovsk city – Komsomolsk-on-Amur city in August–September 2020. Designations – see fig. 1

Биомасса фитопланктона по станциям варьировалась в пределах 1,4–49,9 мг/м³, численность – 0,8–3857 тыс. кл./л (см. табл. 1). Продольную динамику биомассы определяли диатомовые водоросли ($r=0,95$; $p<0,05$), численности – цианобактерии ($r=0,99$; $p<0,05$).

Наибольшей биомассой при доминировании *Aulacoseira granulata* и *Melosira varians* отличались оз. Дабанда (49,9 мг/м³) и оз. Петропавловское (41,3 мг/м³) (см. рис. 3), численностью – за счет развития колониальных цианобактерий *Clathrocystis holsatica* f. Lemmermann и *Aphanocapsa holsatica* (Lemmermann) G. Cronberg & Komárek – оз. Болонь (3 857 тыс. кл./л) и оз. Хумми (604 тыс. кл./л). Виды родов *Clathrocystis*, *Aphanocapsa* были отмечены и в других водоемах участка от г. Хабаровска до г. Комсомольска-на-Амуре, но за счет мелкого размера клеток в формировании биомассы их доля не превышала 16%.

Низкими показателями развития отличались р. Актар (1,4 мг/м³ и 4,1 тыс. кл./л), Амурская протока (1,6 мг/м³ и 0,9 тыс. кл./л), протока Сий (1,9 мг/м³ и 4,1 тыс. кл./л), оз. Широкий плес (2,4 мг/м³ и 2,8 тыс. кл./л).

Комплекс доминирующих видов по биомассе формировали девять таксонов, из них наибольшей частотой доминирования (20–55%) отличались *Aulacoseira granulata*, *Melosira varians*, *Ulnaria ulna* (см. табл. 2).

Сравнительный анализ полученных нами количественных характеристик показал, что в летний период данные по биомассе, как и численности, в среднем и нижнем Амуре были сопоставимы. Однако в сентябре 2020 г. во время дождевых паводков (<https://rp5.ru/>) в нижнем Амуре наблюдалось заметное снижение биомассы. По данным гидропоста г. Комсомольска-на-Амуре, в этот период наблюдался высокий уровень воды, составлявший 285–455 см (<https://www.dvhab.ru/uroven-amura>). Очевидно, что уровень воды относится к числу лимитирующих факторов разнообразия видового состава и количественных показателей фитопланктона р. Амур, о чем свидетельствует ряд работ (Микулич, 1948; Bogatov et al., 1995; Никулина, Кульбачный, 2021).

Высокая скорость течения, разбавление, повышение концентрации взвешенных веществ в многоводную фазу (Махинов и др., 2011) – основные причины, угнетающие развитие многих видов фитопланктона в это время. Мутность вкупе с увеличением облачности во время ливневых дождей уменьшает освещенность и ослабляет естественный световой поток во всей толще воды, тем самым ухудшая световые условия для водорослей. Проведенные ранее исследования по изучению функциональных характеристик водорослей бассейна выявили, что 90% фитопланктона испытывает световое голодание при низкой прозрачности воды (Сиротский, 1986).

Наши исследования показали, что в продольном изменении структуры фитопланктона отмечается снижение долевого участия диатомей и увеличение цианобактерий в нижнем Амуре, где река на большем протяжении имеет равнинный характер, образуя сложные системы протоков, рукавов, водоемов. Цианобактерии предпочитают хорошо прогретые малопроточные водоемы (Whitton, Potts, 2000). В мелководных пойменных озерах, соединяющихся в р. Амур системой протоков, создаются благоприятные условия для развития цианобактерий. Последние служат индикатором влияния озерного фитопланктона на нижнеамурской поймы на планктонные комплексы самой реки Амур (Барина, Сиротский, 1991).

В летние месяцы, в периоды низкого уровня воды цианобактерии родов *Anabaena*, *Microcystis*, *Aphanizomenon* вызывают «цветение» воды в таких водоемах, как оз. Болонь, оз. Галечное, оз. Бельго, оз. Кади, оз. Кизи, оз. Удиль, оз. Мылка (Ловецкая, Микулич, 1948; Хахина, 1948; Баринова, Сиротский, 1991; Медведева, Сиротский, 2002). Во время наших исследований «цветение» цианобактерий в р. Амур и ее придаточной системы зарегистрировано не было, что объясняется недостаточным прогревом воды, требуемым для массового развития цианобактерий, в начале лета 2019 г. и дождевыми паводками осенью 2020 г.

Доминантами амурского фитопланктона на значительном протяжении реки являлись *Asterionella formosa*, *Aulacoseira granulata*, *Melosira varians*, *Ulnaria ulna*. Перечисленные виды и ранее характеризовались как основные представители бассейна р. Амур. Все они, за исключением *A. formosa*, являются планктонно-бентосными водорослями (Баринова и др., 2006). *A. formosa* – планктонная водоросль, активно вегетирующая в весенне-летний и летний периоды в среднем и нижнем Амуре (Баринова, Сиротский, 1991; Никулина, 2014, 2019; Никулина, Кульбачный, 2021) и часто регистрируется как массовый вид в речных экосистемах разной протяженности и трофического статуса (Охапкин, 1997; Стенина, 2019). Во время наших исследований она с *U. ulna*, обитающей в водоемах от олиготрофных до эвтрофных (Стенина, 2019), наибольшего развития достигала в среднем Амуре, *A. granulata* и *M. varians* – индикаторов повышенной трофности – в нижнем (Стенина, 2009, 2019).

Оценка трофического статуса, проведенная по уровню численности, биомассы фитопланктона, а также вкладу в общую численность диатомовых, зеленых водорослей и цианобактерий (Дмитриев и др., 1997), показала, что воды р. Амур попадают в разряд олигомезотрофных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В составе фитопланктона бассейна среднего и нижнего Амуре в 2018–2020 гг. был обнаружен 351 вид и внутривидовой таксон из девяти отделов. Наибольшее видовое богатство отмечено у диатомовых, зеленых водорослей и цианобактерий.

Предельные значения средневзвешенной биомассы на участке от г. Хабаровска до г. Благовещенска в 2018 г. составляли 1,3–1225,1 мг/м³, от г. Николаевска-на Амуре до г. Комсомольска-на-Амуре в 2019 г. – 91,6–856,2 мг/м³, от г. Хабаровска до г. Комсомольска-на-Амуре в 2020 г. – 1,4–49,9 мг/м³. В среднем течении реки на территории Амурской области средневзвешенная биомасса фитопланктона составила 73,11 мг/м³, в Еврейской автономной области – 310,7 мг/м³. В нижнем Амуре на территории Хабаровского края, включая основное русло и нижеамурские водоемы, этот показатель равен 110,8 мг/м³. Основу биомассы повсеместно создавали диатомовые водоросли. В продольном изменении структуры фитопланктона отмечалось снижение долевого участия диатомей и увеличение цианобактерий в нижнем Амуре. Основными доминирующими видами в среднем и нижнем Амуре являлись *Asterionella formosa*, *Aulacoseira granulata*, *Melosira varians*, *Ulnaria ulna*.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам «ХабаровскНИРО» О. А. Кудревскому, С. А. Пуките, А. П. Шмигирилову, сотруднику «ТИНРО» кандидату биологических наук Е. И. Барабанщикову – за собранные пробы.

ЛИТЕРАТУРА

Барина С. С., Сиротский С. Е. Биогеохимическая и продукционная характеристики фитопланктона р. Амур и водоемов его придаточной системы // Биогеохим. ореолы рассеяния хим. элементов в экосистемах Дальнего Востока. – Владивосток : ДВО АН СССР, 1991. – С. 123–145.

Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив : Рус. изд-во Piles Studio, 2006. – 498 с.

Горбатенко Л. В. Геоэкологическая характеристика водопользования в трансграничном бассейне реки Амур: точечное загрязнение и качество вод // Вестн. Дальневост. отд-ния РАН. – 2019. – № 2. – С. 119–129.

Дмитриев В. В., Мякишева Н. В., Третьяков В. Ю., Хованов Н. В. Многокритериальная оценка экологического состояния и устойчивости геосистем на основе метода сводных показателей. II. Трофический статус водных экосистем // Вестн. СПбГУ. – 1997. – Сер. 7, вып. 1, № 7. – С. 51–67.

Кожова О. М. Формирование фитопланктона Братского водохранилища // Формирование природных условий и жизни Братского водохранилища. – М. : Наука, 1970. – С. 26–160.

Кольцова Т. И. Определение объема и поверхности клеток фитопланктона // Науч. докл. высш. школы. Биол. науки. – 1970. – №. 6. – С. 114–120.

Коновалова Г. В. Структура планктонного фитоценоза залива Восток Японского моря // Биология моря. – 1984. – № 1. – С. 13–23.

Кухаренко Л. А., Науменко Ю. В. Оценка качества воды реки Амур по сапробности водорослей // Криптогамические исслед. на Дальнем Востоке. – Владивосток : ДВО АН СССР, 1990. – С. 48–59.

Ловецкая Е. А., Микулич Л. В. Материалы по количественному учету бентоса и планктона пойменных озер низовьев Амура // Изв. ТИНРО. – 1948. – Т. 27. – С. 165–186.

Лызова А. В. Влияние трансграничного загрязнения р. Амур на водные биологические ресурсы // Изв. ТИНРО. – 2007. – С. 262–274.

Макарова И. В., Пичкилы Л. О. К некоторым вопросам методики вычисления биомассы фитопланктона // Бот. журн. – 1970. – Т. 55, № 10. – С. 1488–1494.

Махинов А. Н., Караванов К. П., Болдовский Н. В. и др. Водно-экологические проблемы бассейна реки Амур. – Владивосток : ДВО РАН, 2003. – 187 с.

Махинов А. Н., Ким В. И., Шестеркин В. П. и др. Проект «Амур–Охотск»: результаты российско-японских исследований в нижнем течении реки Амур и Амурском лимане // Вестн. ДВО РАН. – 2011. – № 4. – С. 3–13.

Медведева Л. А., Сиротский С. Е. Аннотированный список водорослей реки Амур и водоемов его придаточной системы // Биогеохим. и геоэкол. исслед. наземных и пресновод. экосистем. – Владивосток : Дальнаука, 2002. – Вып. 12. – С. 130–218.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М. : Наука, 1975. – 240 с.

Микулич Л. В. Опыт количественного учета бентоса и планктона части русла Амура и некоторых пойменных водоемов // Изв. ТИНРО. – 1948. – Т. 27. – С. 139–164.

Моисеева Н. П. Новые данные о фитопланктоне среднего течения р. Амур // Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва. – 1963. – Т. 13. – С. 90–93.

Никулина Т. В. Видовой состав альгофлоры Нижнего Амура в 2005–2014 гг. и оценка качества воды по данным биологического анализа // Чтения памяти В. Я. Леванидова. – Владивосток : Дальнаука, 2014. – Вып. 6. – С. 483–500.

Никулина Т. В. Видовой состав фитопланктона и оценка качества воды р. Амур в районе г. Благовещенск (весенне–летний период 2018 г.) // Чтения памяти В. Я. Леванидова – Владивосток : Дальнаука, 2019. – Вып. 8. – С. 114–125.

Никулина Т. В., Кульбачный С. Е. Характеристика фитопланктона и оценка качества вод р. Амур в районе г. Хабаровск в безледный период 2018–2019 гг. // Изв. ТИНРО. – **2021**. – Т. 201, № 3. – С. 640–661.

Охапкин А. Г. Структура и сукцессия фитопланктона при зарегулировании речного стока: на примере р. Волги и ее притоков : Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – СПб.: Ин-т озероведения РАН, **1997**. – 48 с.

Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. – М. : Наука, **1982**. – 287 с.

Радченко И. Г., Капков В. И., Федоров В. Д. Практическое руководство по сбору и анализу проб морского фитопланктона : Учеб.-метод. пособие для студентов биол. специальностей. – М. : Мордвинцев, **2010**. – 60 с.

Сиротский С. Е., Юрьев Д. Н. Первичная продукция и фотосинтетическая активность фитопланктона р. Амур за летний период 1980 и 1982 гг. // Круговорот вещества и энергии в водоемах. Структура и продуктивность растительных сообществ : Тез. докл. VI Всесоюз. лимнологического совещ. – Иркутск : СО АН СССР, **1985**. – Вып. 2. – С. 80–81.

Сиротский С. Е. Первичная продукция реки Амур и ее зависимость от величины суммарной солнечной радиации // Донные организмы пресных вод Дальнего Востока. – Владивосток : ДВНЦ АН СССР, **1986**. – С. 134–140.

Сиротский С. Е. Продукционные характеристики фитопланктона и возможная рыбопродукция бассейна Нижнего Амура // Проблемы охраны окружающей среды Дальнего Востока : Тез. докл. науч.-техн. конф. – Хабаровск : Б. и., **1989**. – С. 51–53.

Сиротский С. Е., Юрьев Д. Н. Продукционные характеристики микроводорослей водотоков и водоемов бассейна Нижнего Амура // Геология и экология бассейна реки Амур : Тез. докл. сов.-кит. симп. – Благовещенск, **1989**. – Ч. III (2). – С. 66.

Сиротский С. Е. Закономерности формирования первичной продукции планктона в экосистеме реки Амур // Оценка продуктивности фитопланктона. – Новосибирск : Наука, **1993**. – С. 114–123.

Скворцов Б. В. О фитопланктоне озера Чья Амурской области : Материалы по флоре водорослей Азиатской России. 3 // Журн. Рус. бот. о-ва. – **1917**. – Т. 2. – С. 15–20.

Скворцов Б. В. К познанию водорослей Амурской и Забайкальской областей : Материалы по флоре водорослей Азиатской России. 10 // Журн. Рус. бот. общества. – **1918**. – Т. 3. – С. 18–22.

Скворцов Б. В. Первые сведения о фитопланктоне р. Амура : Материалы по флоре водорослей Азиатской России. 7 // Журн. Рус. бот. общества. – **1918а**. – Т. 3. – С. 1–9.

Стенина А. С. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) в озерах востока Большеземельской тундры. – Сыктывкар, **2009**. – 176 с.

Стенина А. С. Аннотированный список Bacillariophyta реки Щугор (Урал, республика Коми) // Бот. журн. – **2019**. – Т. 104, № 1. – С. 41–57.

Федоров В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. – М. : МГУ, **1979**. – 166 с.

Хахина А. Г. Фитопланктон озер нижнего течения р. Амура // Тр. Дальневост. фил. АН СССР. – **1937**. – Т. II. – С. 333–373.

Хахина А. Г. Микрофлора озера Болонь в связи с вопросами питания толстолоба // Изв. ТИНРО. – **1948**. – Т. 27. – С. 187–219.

Шестеркин В. П., Шестеркина Н. М. Пространственная и сезонная изменчивость химического состава воды среднего Амура // Вод. хоз-во России. – **2012**. – № 5. – С. 18–28.

Barinova S. S., Medvedeva L. A., Kondratieva L. M., Shesterkin V. P. Bio-indication in the Amur River, Russian Far East // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – **2015**. – No. 6. – P. 1171–1187.

Bogatov V., Sirotsky S., Yuriev D. The ecosystem of the Amur River // Ecosystems of the World. River and Stream Ecosystems. – Amsterdam : Elsevier, **1995**. – Vol. 22. – P. 601–613.

Whitton B. A., Potts M. Introduction to the Cyanobacteria // The Ecology of Cyanobacteria. – Netherlands : Kluwer Academic Publishers, **2000**. – P. 1–11.