

УДК 574.52:556.11

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ р. ЧУСОВАЯ
ПО ЭПИЛИТОНУ И ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ
(В РАЙОНЕ г. ЧУСОВОЙ)**

П. Г. Беляева¹, Р. А. Аристова²

¹ *Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН –
филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН
Россия, 614081, Пермь, Голева, 13
E-mail: belyaeva@psu.ru*

² *Центр детского творчества «Ровесник»
Россия, 618206, Пермский край, Чусовой, Юности, 20*

Поступила в редакцию 07.02.2020 г., после доработки 28.06.2020 г., принята 07.07.2020 г.

Беляева П. Г., Аристова Р. А. Экологическое состояние р. Чусовая по эпилинтону и гидрохимическим показателям (в районе г. Чусовой) // Поволжский экологический журнал. 2020. № 3. С. 259 – 270. DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-3-259-270>

В результате исследований получены данные о структуре эпилинтон и физико-химических параметрах вод р. Чусовая за 2017 – 2018 гг. в районе г. Чусовой. Изучена таксономическая структура, количественные характеристики, доминантные виды, особенности распределения основных групп водорослей. В составе альгофлоры зарегистрирован 191 таксон водорослей рангом ниже рода (168 видов) из 6 отделов 10 классов, 24 порядков 51 семейства и 86 родов. Основу таксономического спектра составляют диатомовые – 67.5% от общего числа, зеленые водоросли – 21% и цианобактерии – 9%. В эколого-географическом аспекте эпилинтон представлен преимущественно широко распространенными бентосными и планктонно-бентосными видами, имеющими оптимум в слабощелочных или нейтральных водах, индифферентными к солености воды. Эпилинтон р. Чусовая достигал довольно высокого уровня развития. Значения общей биомассы изменялись от 1.46 до 46.32 г/м², численности – от 1.5 до 31.7 млрд кл./м². На богатые в видовом отношении и сбалансированные альгоценозы р. Чусовая указывает индекс видового разнообразия (средний 3.22±0.18), причем летом индексы в 1.9 – 2.2 раза ниже, чем осенью. Доминантные виды водорослей отличались по сезонам, по численности представлены диатомовыми водорослями или цианобактериями, по биомассе – диатомовыми. В пробах воды со смывом эпилинтон отмечены более высокие концентрации химических веществ (NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻, Fe_{общ}), чем в воде реки, свидетельствующие о способности эпилинтон аккумулировать вещества. Выявлены достоверные изменения биомассы и/или численности эпилинтон от содержания химических веществ в воде и смывах обрастаний. По величине индекса сапробности (от 1.34 до 2.27) санитарно-биологическое состояние воды р. Чусовая оценивается как удовлетворительно чистое – II–III класса качества вод, зона сапробности – α - β , β -мезосапробная.

Ключевые слова: р. Чусовая, эпилинтон, структура сообщества, доминантные виды, гидрохимические показатели.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-3-259-270>

ВВЕДЕНИЕ

При изучении речных экосистем особое значение имеют исследования влияния антропогенных факторов на состав и структуру сообществ гидробионтов, их функционирование, а также поиск закономерностей взаимосвязей этих показателей с физико-химическими показателями качества вод. Особенности структурной организации прикрепленных водорослей в речных экосистемах зависят от условий среды, из которых основное значение принадлежит гидродинамическому режиму и обеспеченности биогенами (Охапкин, Юлова, 1996; Русанов, Хромов, 2016). Эпилитон (водоросли обрастаний каменистых субстратов) свободен от кратковременного влияния случайных локальных изменений гидрологического и гидрохимического режима и достаточно точно отражает состояние водной экосистемы, что делает его подходящим объектом для изучения энергетического баланса, общего состояния и индикации качества вод (Комулайнен, 2004; Беляева, 2014).

В районе г. Чусовой береговая зона р. Чусовая является стоянкой для туристов и отдыха местных жителей, частные дома находятся на территории водоохранной зоны. Источниками загрязнения реки являются поверхностный сток с частного сектора (дачи, пос. Чунжино), г. Чусовой и сток с многочисленных несанкционированных свалок по берегам.

Цель исследования – оценить экологическое состояние р. Чусовая по эпилитону и выявить зависимость гидролого-гидрохимических и структурных характеристик эпилитона в районе г. Чусовой.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Приток р. Камы первого порядка р. Чусовая впадает в Чусовской залив Камского водохранилища. Длина реки 735 км. Площадь водосбора 47216 км². Типичная предгорная река, с извилистым руслом, чередованием длинных плёсов с короткими перекатами, преимущественно с валунно- и гравийно-галечными грунтами, скорости течения в прибрежье изменялись от 0.01 до 0.25 м/с. Чусовая относится к рекам гидрокарбонатно-кальциевых вод с большим количеством сульфатов, характеризуется снеговым питанием и коротким периодом стока талых вод, для летне-осеннего периода характерны дождевые паводки (Ресурсы..., 1973). Материалом послужили пробы фитоперифитона, отобранные в октябре 2017, июне и октябре 2018 г. с каменистых грунтов (эпилитон): 1 – фоновый участок (58°15'35.1"N, 57°54'49.7"E), 2 – район дачного поселка (58°15'51.1"N, 57°53'23.5"E), 3 – выше пос. Чунжино (58°16'52.6"N 57°51'44.8"E), 4 – ниже пос. Чунжино (58°17'06"N, 57°50'27"E), 5 – район г. Чусового (58°17'01.3"N, 57°48'16.2"E). Сбор, обработку и анализ материала проводили по стандартным методикам (Методика..., 1975; Вассер и др., 1989). Таксономическую принадлежность различных групп водорослей устанавливали по определителям и справочникам (Определитель..., 1951 – 1982; Komarek, Fott, 1983; Starmach, 1983; Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991 *a, b*; Komarek, Anagnostidis, 1999, 2005). Эколого-географическая характеристика эпилитона составлена по наиболее разработанным системам, принятым в экологии и биогеографии водорослей (Прошкина-Лавренко, 1953; Давыдова, 1985; Вассер и др., 1989; Барнинова и др., 2006; Sladeček, 1973).

Доминирующими в сообществах эпилимнтона считали виды с биомассой и/или численностью, большей и равной 15% от общих показателей сообщества. Для каждой пробы эпилимнтона вычисляли индекс видового разнообразия – Шеннона (Песенко, 1982). Связь численности, биомассы и видового разнообразия с факторами среды оценивали при помощи линейной корреляции. Для оценки степени органического загрязнения вод применяли метод Пантле и Букка в модификации Сладечека (Унифицированные методы..., 1983).

Одновременно с отбором проб эпилимнтона проводили отбор проб воды и воды со смывом эпилимнтона для гидрохимических анализов (ионы железа, аммония, нитратов, фосфатов, pH и удельная электропроводность) по стандартным методикам (Пименова, 2011).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В эпилимноте р. Чусовая за период исследований обнаружено 168 видов (191 таксон водорослей внутривидового ранга, включая номенклатурный тип вида) из 6 отделов, 10 классов, 24 порядков, 51 семейства и 86 родов (табл. 1). Основу таксономического спектра составляют Bacillariophyta (67.5% от общего числа), Chlorophyta (21%) и Cyanophyta/Cyanoprokaryota (9%), что является характерным для речных экосистем (Комулайнен, 2004; Никулина, 2006; Беляева, 2011). Количество видов в р. Чусовая соразмерно с данными для перифитона других водотоков (Степина, 2004; Беляева, 2011, 2014 и др.). Наибольшим видовым разнообразием характеризуется фоновый участок реки, расположенный выше населенных пунктов, ниже – число видов уменьшается на 10%.

Таблица 1. Таксономическая структура эпилимнтона р. Чусовая
Table 1. Taxonomic structure of epilithon in the Chusovaya river

Отдел	Порядок	Семейство	Род	Вид	Внутривидовые таксоны	Таксоны, идентифицированные до рода	Всего	%
Cyanoprokaryota	3	10	13	14	0	3	17	9.0
Chrysophyta	1	1	1	1	0	1	2	0.5
Bacillariophyta	13	23	43	116	6	7	129	67.5
Xantophyta	1	1	1	1	0	0	1	1.0
Euglenophyta	1	2	2	2	0	0	2	1.0
Chlorophyta	2	11	20	28	1	2	34	18.0
Charophyta	3	3	5	3	0	3	6	3.0
Всего	24	51	85	165	7	16	191	100

По богатству видов водорослей выделяются порядки Cymbellales (37), Chlorococcales (31), Fragilariales (26), в которых сосредоточено 50% общего разнообразия фитоперифитона Чусовой. Наиболее крупные по числу видов 5 семейств включают 85 видов водорослей, что составляет 50% общего состава водорослей эпилимнтона (Fragilariaceae (11.5%), Neidiaceae (7.9%), Naviculaceae, Scenedesmaceae и Selenastraceae (по 5.5% видового состава), Cymbellaceae и Bacillariaceae (по 4.8%), Surirellaceae (4.2%). Ведущие по видовому обилию 6 родов (*Gomphonema*, *Nitzschia*,

Navicula, *Cymbella*, *Surirella*, *Pinnalaria*) диатомовых водорослей объединяют 56 видов, что составляют 65% от общего видового состава. Одно – двух видовые семейства составляют 55% от общего количества видов. Центрические диатомовые имеют подчиненное положение, чаще отмечены ниже поступления стоков (*Stephanodiscus hantschii* Grun. in. Cl. Grun., *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *Puncticulata radiosa* (Grun.) H. Hakansson, *Melosira varians* C. Agardh, *Campylodiscus noricus* Ehrenb. ex Kütz.). Из зеленых водорослей самыми распространенными и представленными являются рода *Desmodesmus*, *Monoraphidium*, *Pediastrum*, на долю которых приходилось 60 – 80% зеленых водорослей. Цианобактерии на исследуемом участке реки представлены 17 таксонами, рангом ниже рода, более разнообразны в пробах, отобранных ниже поступления стоков. Большинство из них относятся к родам *Anabaena* (*Dolichospermum*) и *Oscillatoria*, реже отмечены *Nostoc*, *Rivularia* и *Pseudoanabaena*. Из желто-зеленых водорослей встречается *Tribonema viride* Pascher, из эвгленовых – единично *Trachelomonas intermedia* P. A. Dang. и *Phacus* sp. Золотистые представлены двумя видами рода *Kephyrion*.

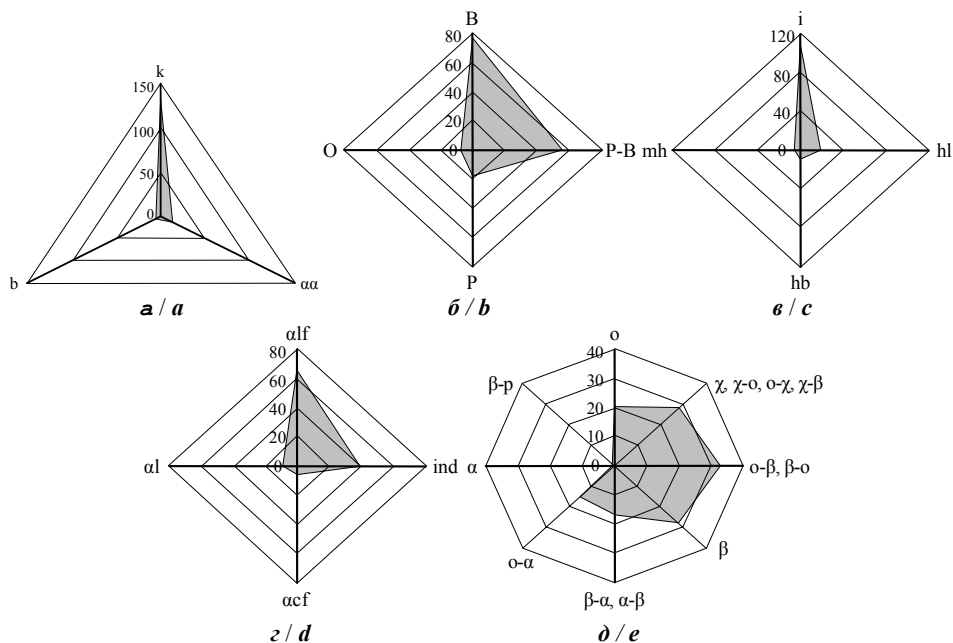
В эколого-географическом отношении эпилитон р. Чусовой на исследованном участке достаточно однороден и сформирован в основном обитателями бентали и планктонно-бентосными видами. Основу флористического списка эпилитона создают пресноводные формы, имеющие оптимум в слабощелочных или нейтральных водах, в большинстве своем космополиты (рисунок). Большинство обнаруженных водорослей (75.5%) являются индикаторными организмами, что позволяет судить о сапробности р. Чусовая. Индикаторы β -мезосапробной степени загрязнения составляют 20%; показатели меньшей степени органического загрязнения в целом составляют 67% видов, а более сильного – 13%. Более трети видов-индикаторов сапробности (35%) обладают высокой степенью толерантности к содержанию органических веществ (χ - β , о- β , β -о, о- α) и могут успешно вегетировать как в чистых, так и в загрязненных органикой водах, что свойственно для водоемов с высоким потенциалом самоочищающей способности.

Эпилитон р. Чусовая достигает довольно высокого уровня количественного развития. За время наблюдений величина общей биомассы перифитона изменялась от 1.46 до 46.32 г/м², численность – от 1.5 до 31.7 млрд кл./м², но не превышали величин, приводимых в литературе (Комулайнен, 2004; Стенина, 2004; Беляева, 2011; Stevenson, 1996). Биомасса выше на фоновом участке реки – 35 г/м², в районе дачных поселков – ниже и минимальна в районе влияния стоков с г. Чусовой (1.4 – 12.4 г/м²). Распределение численности соответствует изменениям биомассы эпилитона (табл. 2).

Являясь постоянным компонентом эпилитона, диатомовые водоросли доминируют на фоновом участке реки как по биомассе (*Epithemia sorex* Kütz., *Surirella librile* (Ehrenb.) Ehrenb., *Cymbella cistula* (Ehrenb.) O. Kirch.), так и по численности (группа «*Achnanthes*»: *Achnantheidium minutissimum* (Kütz.) Czarnecki, *Achnanthes affinis* Grun., *Planothidium lanceolatum* (Breb.) Lange-Bertalot, *P. rostratum* (Østrup) Lange-Bertalot). На станциях, расположенных в населенных пунктах или ниже, в начале лета по биомассе доминируют диатомовые (*Didymosphenia geminata* (Lyngb.), *Gomphonema olivaceum* (Lyngb.) Kütz), по численности – диатомовые, циа-

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ р. ЧУСОВАЯ ПО ЭПИЛИТОНУ

нобактерии *Oscillatoria planctonica* Wolos., *Lyngbya* spp., *Nostoc* sp., *Rivularia* sp., или *Mougeotia* из харовых. Осенью преобладают диатомовые *Rhoicosphenia abbreviata* (C. Agardh) Lange-Bertalot, *Fragilaria capucina* Desm., *Staurosirella pinnata* (Ehrenb.) D. M. Will. & Round, «*Achnanthes*», *Coccones placentula* Ehrenb.



Экологический спектр эпилитона р. Чусовая: *a* – географические спектры (*α-α* – аркто-альпийский, *b* – бореальный, *k* – космополит); *b* – соотношение различных экологических групп водорослей (*O* – обрастатель, *B* – бентосный, *PB* – планктонно-бентосный, *P* – планктонный); *c* – отношение к минерализации (группа олигогалобов: *i* – индифферент, *hl* – галофил, *hb* – галофоб и *mh* – мезогалобов); *d* – отношение к pH (*ind* – индифферент, *alf* – алкалифил, *alb* – алкалибионт, *acf* – ацидофил); *e* – отношение к содержанию органических веществ (*χ* – ксено-, *o* – олигосапробионт, *β* – бета-, *α* – альфа-мезосапробионт, *ρ* – полисапробионт)

Figure. Ecological spectrum of epilithon of the Chusovaya river: *a* – geographic spectra (*α-α* – arcto-alpian, *b* – boreal, *k* – cosmopolitan); *b* – the ratio of various ecological algae groups (*O* – fouling, *B* – benthic, *PB* – plankton-benthic, *P* – plankton); *c* – attitude to mineralization (a group of oligohalobes: *i* – indifferent, *hl* – halophil, *hb* – halophobe, and *mh* – mesohalobes); *d* – attitude to pH (*ind* – Indifferent, *alf* – alkaliphil, *alb* – alkalibiont, *acf* – acidophile); *e* – attitude to the content of organic substances (*χ* – xeno-, *o* – oligosaprobiont, *β* – beta-, *α* – alpha-mesosaprobiont, *ρ* – polysaprobiont)

Величина индекса видового разнообразия изменялась от 0.60 до 4.76, среднее – 3.22 ± 0.18 , что указывает на богатые в видовом отношении и сбалансированные альгоценозы эпилитона р. Чусовая. Летом индекс (2.52 и 2.21 по биомассе и численности соответственно) ниже в 1.9 – 2.2 раза, чем осенью (4.40 и 4.89 соответ-

ственно). Его минимальные значения отмечены летом, при массовом развитии зеленых нитчатых водорослей или одного-двух представителей цианопрокариот, максимальные индексы характерны для эпилимниона с полидоминантными комплексами. При попадании небольшого количества биогенных стоков на станциях 2 – 4 наблюдается увеличение разнообразия альгоценозов. Снижение индекса в районе г. Чусовой связано с техногенной нагрузкой и указывает на упрощение структуры эпилимниона.

Таблица 2. Основные структурные характеристики эпилимниона р. Чусовая
Table 2 Main structural characteristics of epilithon in the Chusovaya river

Показатели	Участок 1	Участок 2	Участок 3	Участок 4	Участок 5	Среднее
Численность, млрд кл./м ²	<u>20.5–32.6</u> 29.6±1.4	<u>2.8–9.4</u> 5.1±1.1	<u>1.5–10.3</u> 6.0±2.1	<u>4.6–18.4</u> 9.4±3.6	<u>2.8–22.6</u> 10.3±4.1	12.1±4.0
Биомасса, г/м ²	<u>19.21–46.30</u> 35.81±6.99	<u>3.93–9.14</u> 5.26±0.59	<u>1.82–12.43</u> 6.61±2.15	<u>7.94–15.28</u> 11.89±1.74	<u>1.45–8.87</u> 4.52±1.32	15.82±3.89
Индекс сапробности	<u>1.31–2.12</u> 1.57±0.12	<u>1.40–1.92</u> 1.60±0.12	<u>1.43–1.81</u> 1.63±0.10	<u>1.41–1.90</u> 1.63±0.10	<u>1.32–2.40</u> 1.85±0.14	1.66±0.045

Примечание. В числителе – *min* – *max*, в знаменателе – средние величины со стандартной ошибкой.

Note. *Min* – *max* in the numerator, mean values with their standard errors in the denominator.

Средние значения индекса сапробности (Пантле и Букка) по эпилимниону (по численности) изменялись от 1.34 до 2.27, что соответствует α - β - мезосапробному типу с водой II – III класса качества – воды удовлетворительной чистоты, умеренно загрязненные. Повышенные значения индекса характерны для осеннего периода от (1.80±0.04) и ниже летом (1.41±0.05).

За исследуемый период температура воды изменялась в соответствии с ее естественным годовым ходом (13 – 15°C в июне и 4 – 5°C в октябре). Минерализация вод 68 – 176 мг/дм³. Осенью в пробах воды обнаружена высокая концентрация железа, превышающая норму в 10 – 70 раз, летом значения ниже (табл. 3). Среднее содержание ионов NH₄⁺ в пробах незначительно выше ПДК, наиболее значимое превышение наблюдается в пробах воды со смывом эпилимниона в зоне поступления стоков, здесь количество ионов аммония в 2.0 – 3.5 раз больше, чем в поверхностных пробах. Содержание нитратов в исследуемой воде соответствуют ПДК для вод хозяйственно-бытового значения, их максимальная концентрация – более 6 мг/дм³ – отмечена сразу после впадения стоков. Содержание фосфатов в воде и смыве ниже нормы, причем в смыве эпилимниона в 1.5 – 2.4 раза выше, чем в воде реки. Значительная роль в формировании эпилимниона принадлежит химическому составу вод Чусовой, сказывается и антропогенное загрязнение. В пробах воды со смывом эпилимниона отмечены повышенные концентрации веществ, свидетельствующие о его способности к их аккумуляции и участию в процессе самоочищения вод.

Корреляционный анализ показал статистически значимое увеличение биомассы и численности эпилимниона при повышении концентрации фосфатов в воде со смывом эпилимниона ($r = 0.91$ и 0.87 при $p \leq 0.05$ для численности и биомассы соответственно), наибольшую связь с фосфатами имеют зеленые водоросли (табл. 4).

Значения коэффициента корреляции между содержанием нитратов в воде р. Чусовой и развитием эпилитона также высоки ($r = 0.83$ и 0.98 при $p \leq 0.05$ для численности и биомассы соответственно). Зависимость структурных характеристик фитоперифитона р. Чусовая с аммонием и нитратами значима для общей численности эпилитона и разнообразия зеленых водорослей.

Таблица 3. Гидролого-гидрохимические показатели в р. Чусовая

Table 3. Hydrological and hydrochemical indicators of the Chusovaya river

Показатель	pH	NH_4^+ , мг/дм ³	NO_3^- , мг/дм ³	PO_4^{3-} , мг/дм ³	$\text{Fe}_{\text{общ}}$, мг/дм ³	УЭП, мкСм/см
Вода	7.7±0.2	0.19±0.09	1.57±0.68	0.13±0.08	1.00±0.94	236±49
Смыв эпилитона	6.9±0.4	0.65±0.35	1.82±0.46	0.21±0.06	3.75±3.67	200±78
Среднее	6.8–8.5 7.3±0.2	≤0.01–2.00 0.43±0.09	0.70–6.71 1.73±0.26	0.04–0.49 0.16±0.02	0.3–21.5 2.54±0.98	60–367 226±18

Примечание. Условные обозначения см. табл. 2.

Note. See Table 2 for designations.

При рассмотрении зависимости диатомовых водорослей эпилитона от биогенов в наших исследованиях не установлен отклик этих водорослей на изменения трофических условий, аналогичные выводы делают и другие авторы (Русанов, Хромов, 2016; Berthon et al., 2011; Gottschalk, Kahlert, 2012; Stenger-Kovács et al., 2013). Однако количественное развитие водорослей эпилитона (численность) статистически значимо снижалось при увеличении pH: $r = 0.88$ для диатомовых, $r = 0.79$ для зеленых и $r = 0.81$ для цианобактерий. Зависимость биомассы и численности эпилитона и отдельных отделов водорослей от содержания железа в воде неоднозначно. Некоторые коэффициенты корреляции достаточно высоки, но указывают лишь на возможную интерпретацию параметров модели (см. табл. 4).

Таблица 4. Коэффициенты корреляции гидролого-гидрохимических и структурных характеристик эпилитона р. Чусовая

Table 4. Correlation coefficients of the hydrological-hydrochemical and structural characteristics of epilithon in the Chusovaya river

Показатель	pH	$t^{\circ}\text{C}$	NH_4^+ , мг/дм ³	NO_3^- , мг/дм ³	PO_4^{3-} , мг/дм ³	$\text{Fe}_{\text{общ}}$, мг/дм ³
<i>B</i> эпилитона	-0.89*	0.60	-0.22	-0.42	0.67*	-0.52
<i>B</i> _{Bacillariophyta}	0.43	-0.68	0.34	-0.35	0.49	-0.10
<i>B</i> _{Chlorophyta}	-0.44	0.52	-0.31	-0.34	0.90*	-0.4*
<i>B</i> _{Cyanoprokaryota}	-0.28	0.53	-0.33	-0.28	0.87*	-0.4*
<i>N</i> эпилитона	-0.65*	0.66*	-0.33*	-0.43*	0.87*	-0.6*
<i>N</i> _{Bacillariophyta}	-0.88*	0.65*	-0.29	-0.41	0.40	-0.5
<i>N</i> _{Chlorophyta}	-0.79*	0.60*	-0.22	-0.38	0.66*	-0.5*
<i>N</i> _{Cyanoprokaryota}	-0.81*	0.48	-0.20	-0.41	0.32	-0.46
Число таксонов	-0.32*	-0.36	-0.07	0.75*	-0.94*	0.58
Число _{Bacillariophyta}	-0.69	0.10	-0.38	0.59	-0.14	0.71*
Число _{Chlorophyta}	0.46	-0.90	0.53*	0.59*	-0.68	0.86
Число _{Cyanoprokaryota}	-0.19	0.58	0.31	-0.49	0.81	-0.63

Примечание. *B* – общая биомасса; *N* – общая численность; * – различия достоверны при $p \leq 0.05$.

Note. *B* is the total biomass; *N* – the total abundance; * – differences are significant when $p \leq 0.05$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Состав альгофлоры перифитона р. Чусовая в районе г. Чусовой достаточно разнообразен и представлен 191 таксоном рангом ниже рода. Ведущей группой водорослей по богатству видов являются *Vacillariophyta*. В составе индикаторных организмов эпилитона преобладают широкораспространенные, пресноводные и алкалифильные виды.

Эпилитон р. Чусовая достигает довольно высокого уровня развития. Значения общей биомассы изменялись от 1.46 до 46.32 г/м², численности – от 1.5 до 31.7 млрд кл./м². Диатомовые водоросли доминируют по биомассе на всем исследованном участке, но имеют отличия в составе в летние и осенние периоды. По численности осенью доминируют диатомовые, летом – цианобактерии и зеленые водоросли.

Индекс сапробности от 1.34 до 2.27 характеризует воды р. Чусовая как α -, β -мезосапробные, что соответствует II – III классу качества вод – удовлетворительно чистые. Повышенные значения индекса наблюдаются в осенний период.

Развитие водорослей эпилитона зависит от антропогенного влияния, что хорошо прослеживается при изменении гидролого-гидрохимических показателей. Достоверное увеличение биомассы и/или численности эпилитона наблюдается при повышении концентрации фосфатов в воде со смывом эпилитона; нитратов, аммония и железа в воде. Самые высокие значения корреляции отмечены для зеленых водорослей.

Авторы выражают благодарность А. Нелюбину за помощь при отборе проб эпилитона и воды и заведующей химической лаборатории кафедры экологии Пермской сельскохозяйственной академии им. Д. Н. Прянишникова К. А. Быстрых за помощь в проведении химического анализа воды.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН (регистрационный номер НИОКТРАААА-А19-119112290008-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. Тель-Авив : PiliesStudio, 2006. 498 с.

Беляева П. Г. Структура фитоперифитонных сообществ в речных экосистемах (обзор) // Изв. Пенз. гос. пед. ун-та им. В. Г. Белинского. 2011. № 25. С. 480 – 488.

Беляева П. Г. Состав и структура фитоперифитона реки Сытва (Пермский край) // Бот. журн. 2014. Т. 99, № 8. С. 903 – 916.

Вассер С. П., Кондратьева Н. В., Масюк Н. П., Паламарь-Мордовинцева Г. М., Ветрова З. И., Кордюм Е. Л., Мошкова Н. А., Приходькова Л. П., Коваленко О. В., Ступина В. В., Царенко П. М., Юнгер В. П., Радченко М. И., Виноградова О. Н., Бухтиярова Л. Н., Разумна Д. Ф. Водоросли. Справочник. Киев : Наук. думка, 1989. 608 с.

Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. 244 с.

Комулайнен С. Ф. Экология фитоперифитона малых рек Восточной Финляндии. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2004. 182 с.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М. : Наука, 1975. 239 с.

Никулина Т. В. Альгофлора острова Монерон // Растительный и животный мир острова Монерон : материалы междунар. сахалинского проекта. Владивосток : Дальнаука, 2006. С. 21 – 44.

Определитель пресноводных водорослей СССР : в 14 т. М. ; Л. : Сов. наука, 1951 – 1986. Т. 1 – 14. 2500 с.

Охапкин А. Г., Юлова Г. А. Эколого-флористические особенности фитопланктона эвтрофированных водотоков системы Средней Волги // Эколого-физиологические исследования водорослей. Ярославль : Изд-во Ярослав. гос. техн. ун-та, 1996. С. 77 – 79.

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

Пименова Е. В. Химические методы анализа в мониторинге водных объектов. Пермь : Изд-во Перм. гос. с.-х. академии, 2011. 136 с.

Прошкина-Лавренко А. И. Диатомовые водоросли – показатели солености воды // Диатомовый сборник. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1953. С. 186 – 205.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидробиологические характеристики. Т. 11. Средний Урал и Предуралье. Вып. 1. Кама. Л. : Гидрометеиздат, 1973. 650 с.

Русанов А. Г., Хромов В. М. Продольное распределение водорослей перифитона в реке Москве в условиях эвтрофирования // Водные ресурсы. 2016. Т. 43, № 3. С. 1 – 10.

Стенина А. С. Диатомовые водоросли в двух уральских притоках Печоры // Сиб. экол. журн. 2004. № 6. С. 849 – 858.

Унифицированные методы исследования качества вод : методы биологического анализа вод. М. : СЭВ, 1983. Т. 3. 371 с.

Berthon V., Bouchez A., Rimet F. Using Diatom Life Forms and Ecological Guilds to Assess Organic Pollution and Trophic Level in Rivers : A Case Study of Rivers in South-Eastern France // Hydrobiologia. 2011. Vol. 673. P. 259 – 271. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0786-1>

Gottschalk S., Kahlert M. Shifts in Taxonomical and Guild Composition of Littoral Diatom Assemblages Along Environmental Gradients // Hydrobiologia. 2012. Vol. 694. P. 41 – 56. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1128-7>

Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 1. Teil. Chroococcales. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Jena : Gustav Fischer, 1999. Bd. 19/1. 548 S.

Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 2. Teil. Oscillatoriales. Süßwasserflora von Mitteleuropa. München : Elsevier, 2005. Bd. 19/2. 759 S.

Komárek J., Fott B. Chlorophyceae (Gruenalgen). Ordnung : Chlorococcales. Bd. 16. Stuttgart : Schweizerbart, 1983. 1044 S.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. T. 1. Naviculaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2/1. Jena : Gustav Fischer Verlag, 1986. 876 S.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. T. 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2/2. Stuttgart ; New York : Gustav Fischer Verlag, 1988. 596 S.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. T. 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2/3. Stuttgart ; Jena : Gustav Fischer, 1991 a. 576 S.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. T. 4. Achnanthaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2/4. Stuttgart ; Jena : Gustav Fischer, 1991 b. 437 S.

Sládeček V. System of Water Quality from the Biological Point of View // Achieves für Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie. 1973. Bd. 7, № 1. S. 1 – 218.

Starmach K. Euglenophyta – Eugleniny. T. 3. Flora Śląskowodna Polski. Warszawa ; Krakow : PWN, 1983. 594 p.

Stenger-Kovács C., Lengyel E., Crossetti L.O., Üveges V., Padisák J. Diatom Ecological Guilds as Indicators of Temporally Changing Stressors and Disturbances in the Small Torna-stream, Hungary // Ecological Indicators. 2013. Vol. 24. P. 138 – 147.

Stevenson R. J. The Stimulation and Drag of Current : Algal Ecology : Freshwater Benthic Ecosystems / eds. R. J. Stevenson, M. L. Bothwell, R. L. Lowe. San Diego : Academic Press, 1996. P. 321 – 340.

П. Г. Беляева, Р. А. Аристова

**Ecological Status of the Chusovaya River by Its Epilithon
and Hydrochemical Indices (near the Chusovoy Town)**

Polina G. Belyaeva¹, <https://orcid.org/0000-0001-6741-0424>; belyaeva@psu.ru

Roza A. Aristova², belyaeva@psu.ru

¹ *Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms
of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences
13 Golev St., Perm 614081, Russia*

² *Children's Creativity Center "Rovesnik"
6 per. Chunzhinsky, Chusovoy, Perm Territory 618201, Russia*

Received 7 February 2020, revised 28 June 2020, accepted 7 July 2020

Belyaeva P. G., Aristova R. A. Ecological Status of the Chusovaya River by Its Epilithon and Hydrochemical Indices (near the Chusovoy Town). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2020, no. 3, pp. 259–270 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-3-259-270>

As a result of our study, data were obtained on the structure of the epilithon and the physicochemical parameters of the waters in the Chusovaya river near the town of Chusovoy for 2017–2018. The taxonomic structure, quantitative characteristics, dominant species, features of the distribution of the main groups of algae were studied. The algal flora includes 191 infrageneric algal taxa (168 species) from 6 divisions, 10 classes, 24 orders, 51 families and 86 genera. The taxonomic spectrum is based on diatoms (67.5% of the total numbers), green algae (21%), and cyanobacteria (9%). In the environmental and geographical aspects, the epilithon is mainly represented by widespread salinity-indifferent benthic and plankton-benthic species, having an optimum in slightly alkaline or neutral waters. The epilithon of the Chusovaya river has reached a fairly high level of development. The values of the total biomass varied from 1.46 to 46.32 g/m², and the abundance did from 1.5 to 31.7 billion cells/m². The species diversity index (an average of 3.22±0.18) indicates species-rich and balanced algocenoses of the Chusovaya river, while in summer the indices are 1.9–2.2 times lower than in autumn. The dominant algae species differed in seasons, they were represented by diatoms or cyanobacteria in terms of their number, and by diatoms in terms of their biomass. In water samples with epilithon flushing, higher concentrations of chemical substances (NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻, and Fe_{tot}) were noted than in river water, indicating the ability of the epilithon to accumulate substances. Significant changes in the biomass and/or abundance of epilithon as a function of the content of chemical substances in water and fouling washes were revealed. By the value of the saprobity index (from 1.34 to 2.27), the sanitary-biological state of the water in the Chusovaya river is assessed as satisfactorily pure (II–III water quality classes), the saprobity zone is α-β-, β-mesosaprobic.

Keywords: Chusovaya River, epilithon, community structure, dominant species, hydrochemical indicators.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-3-259-270>

Acknowledgments: This study was partially supported by the state assignment of the Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences (No. NIOKTRAAAA-A19-119112290008-4).

REFERENCES

- Barinova S. S., Medvedeva L. A., Anisimova O. V. *Biodiversity of Algae Which Are the Indicators of Environmental Conditions*. Tel-Aviv, PiliesStudio, 2006. 498 p. (in Russian).
- Belyaeva P. G. Structure of communities in phytoperiphyton river ecosystem (Review). *Izvestia Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*, 2011, no. 25. pp. 484–492 (in Russian).
- Belyaeva P. G. The Composition and Structure of Phytoperiphyton of the Sylva River (Perm Region). *Botanicheskiy zhurnal*, 2014, vol. 99, no. 8, pp. 903–916 (in Russian).
- Vasser S. P., Kondrat'eva N. V., Masyuk N. P., Palamar'-Mordvintseva G. M., Vetrova Z. I., Kordyum E. L., Moshkova N. A., Prihod'kova L. P., Kovalenko O. V., Stupina V. V., Tsarenko P. M., Yunger V. P., Radchenko M. I., Vinogradova O. N., Buhtiyarova L. N., Razumna L. F. *Vodorosli. Spravochnik* [Algae. Manual]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1989. 608 p. (in Russian).
- Davydova N. N. *Diatomovyye vodorosli – indikator prirodnkh usloviy vodoymov v golotsene* [Diatoms Algae – Indicators of Environmental Conditions of Water Bodies in the Holocene]. Leningrad, Nauka Publ., 1985. 244 p. (in Russian).
- Komulainen S. F. *Ekologiya fitoperifitona malykh rek Vostochnoi Fennoskandii* [Ecology of Phytoperiphyton of Small Rivers of Eastern Fennoscandia]. Petrozavodsk, Karelskii nauchnyi tsentr RAN Publ., 2004. 182 p. (in Russian).
- Metodika izucheniia biogeotsenozov vnutrennikh vodoymov* [Methodology for the Study of Inland Waters' Biogeocenosis]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 239 p. (in Russian).
- Nikulina T.V. Algal Flora of Moneron Island. *Flora and Fauna of Moneron Island: Materials of International Sakhalin Island Project*. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2006, pp. 21–44 (in Russian).
- Opredelitel' presnovodnykh vodoroslei SSSR: v 14 t.* [Guide to Freshwater Algae of the USSR]. Moscow, Leningrad, Sovetskaya nauka Publ., 1951–1986, vol. 1–14. 2500 p. (in Russian).
- Okhapkin A. G., Yulova G. A. Ecological and Floristic Features of Phytoplankton of Eutrophic Streams of the Middle Volga System. *Ekologo-fiziologicheskie issledovaniia vodoroslei* [Ecological and Physiological Studies of Algae]. Yaroslavl, Izdatel'stvo Iaroslavskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 1996, pp. 77–79 (in Russian).
- Pesenko Yu. A. *Printsipy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniyakh* [Principles and Methods of Quantitative Analysis in Faunistic Studies]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 287 p. (in Russian).
- Pimenova E. V. *Khimicheskie metody analiza v monitoringe vodnykh ob'ektov* [Chemical Analysis Methods in Monitoring Water Bodies]. Perm, Izdatel'stvo Permskoi gosudarstvennoi sel'skokhoziaistvennoi akademii, 2011. 136 p. (in Russian).
- Proshkina-Lavrenko A. I. Diatoms as Indicators of the Salinity of Water. In: *Diatomovyi sbornik* [The Diatom Collection]. Leningrad, Izdatel'stvo Leningradskogo universiteta, 1953, pp. 186–205 (in Russian).
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Osnovnye gidrobiologicheskie kharakteristiki. T. 11. Srednii Ural i Predural'e. Vyp. 1. Kama* [Surface Water Resources of the USSR: Basic Hydrobiological Characteristics, vol. 11: Middle Urals and Cis-Urals, iss. 1: Kama]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975. 650 p. (in Russian).
- Rusanov A. G., Khromov V. M. Longitudinal Distribution of Periphyton Algae in the Moskva River under Eutrophication. *Water Resources*, 2016, vol. 43, iss. 3, pp. 513–521.
- Stenina A. S. Diatoms in Two Ural Tributaries of the Pechora River. *Siberian J. of Ecology*, 2004, no. 6. pp. 849–858 (in Russian).
- Unifitsirovannye metody issledovaniia kachestva vod: metody biologicheskogo analiza vod* [Unified Methods of Water Quality Research: Methods of Biological Water Analysis]. Moscow, SEV Publ., 1983, vol. 3. 371 p. (in Russian).

- Berthon V., Bouchez A., Rimet F. Using Diatom Life Forms and Ecological Guilds to Assess Organic Pollution and Trophic Level in Rivers: A Case Study of Rivers in South-Eastern France. *Hydrobiologia*, 2011, vol. 673, pp. 259–271. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0786-1>
- Gottschalk S., Kahlert M. Shifts in Taxonomical and Guild Composition of Littoral Diatom Assemblages Along Environmental Gradients. *Hydrobiologia*, 2012, vol. 694, pp. 41–56. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1128-7>
- Komárek J., Anagnostidis K. *Cyanoprokaryota. Teil 1. Chroococcales. Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Jena, Gustav Fischer, 1999. Bd. 19. 548 S.
- Komárek J., Anagnostidis K. *Cyanoprokaryota. Teil 2. Oscillatoriales. Süßwasserflora von Mitteleuropa*. München, Elsevier, 2005. Bd. 19. 759 S.
- Komárek J., Fott B. *Chlorophyceae (Gruunalgen). Ordnung: Chlorococcales*. Stuttgart, Schweizerbart, 1983, Bd. 16. 1044 S.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. *Bacillariophyceae. Teil 1. Naviculaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Jena, Gustav Fischer Verlag, 1986. Bd. 2. 876 S.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. *Bacillariophyceae. Teil 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Stuttgart, New York, Gustav Fischer Verlag, 1988. Bd. 2. 596 S.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. *Bacillariophyceae. Teil 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Stuttgart, Jena, Gustav Fischer, 1991 a. Bd. 2. 576 S.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. *Bacillariophyceae. Teil 4. Achnanthaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Stuttgart, Jena, Gustav Fischer, 1991 b. Bd. 2. 437 S.
- Sládeček V. System of Water Quality from the Biological Point of View. *Achieves für Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie*, 1973, vol. 7, no. 1, pp. 1–218.
- Starmach K. *Euglenophyta – Eugleniny. T. 3. Flora Ślaskowodna Polski*. Warszawa, Krakow, PWN, 1983. 594 p.
- Stenger-Kovács C., Lengyel E., Crossetti L. O., Üveges V., Padisák J. Diatom Ecological Guilds as Indicators of Temporally Changing Stressors and Disturbances in the Small Torna-stream, Hungary. *Ecological Indicators*, 2013, vol. 24, pp. 138–147.
- Stevenson R. J. *The Stimulation and Drag of Current: Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems* / eds. R. J. Stevenson, M. L. Bothwell, R. L. Lowe. San Diego, Academic Press, 1996, pp. 321–340.