

**ПИГМЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОРΟΣЛЕЙ  
ПЕРИФИТОНА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОДОТОКОВ ЗАПОВЕДНИКА  
«БОЛЬШЕХЕХЦИРСКИЙ» (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)**

**Н.М. Яворская<sup>1,2</sup>, М.А. Климин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, ул. Дикопольцева, 56, г. Хабаровск, 680000, Россия.*

*E-mail: yavorskaya@ivep.as.khb.ru, m\_klimin@bk.ru*

<sup>2</sup>*ФГБУ «Заповедное Приамурье», ул. Юбилейная, 8, пос. Бычиха, Хабаровский край, 680502, Россия*

Представлены результаты изучения многолетней динамики содержания фотосинтетических пигментов водорослей перифитона в водотоках заповедника «Большехехцирский». Выявлены изменения пигментных характеристик, обусловленные гидрометеорологическими условиями сезонных и межгодовых флуктуаций, а также биологическими особенностями водорослей перифитона. Трофический статус водотоков по содержанию хлорофилла *a* в водорослях перифитона оценивается как мезотрофный. По годовым величинам интегральной первичной продукции реки и ручья ООПТ характеризуются как высокопродуктивные. Современное экологическое состояние водотоков заповедника удовлетворительное, воды чистые.

**PIGMENTAL CHARACTERISTICS OF THE PERIPHYTON ALGAE  
AND THEIR USING FOR ASSESSMENT OF THE WATER CURRENT  
CONDITIONS OF THE BOLSHHEKHEKHTSIRSKY NATURE  
RESERVE (Khabarovsk Territory)**

**N.M. Yavorskaya<sup>1,2</sup>, M.A. Klimin<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Water and Ecological Problems FEB RAS, 56 Dikopoltsev St., Khabarovsk, 680 000, Russia. E-mail:*

*yavorskaya@ivep.as.khb.ru, m\_klimin@bk.ru*

<sup>2</sup>*Joint Directorate of State Natural Reserves and National Parks of the Khabarovsk Territory «Zapovednoye Priamurye», 8 Yubileynaya St., Bychikha Village, Khabarovsk Territory, 680 502, Russia*

The results of the study of long-term dynamics of the content of photosynthetic pigments in periphyton algae in the watercourses of the Bolshekhekhtsirsky reserve are presented. Changes in pigment characteristics were revealed due to hydrometeorological conditions of seasonal and interannual fluctuations, as well as biological characteristics of periphyton algae. The trophic status of watercourses according to the content of chlorophyll *a* in periphyton algae is assessed as mesotrophic. According to the annual values of the integral primary production, the rivers and streams of specially protected natural areas are characterized as highly productive. The current ecological state of the watercourses of the reserve is satisfactory, the waters are clean.

**Введение**

Заповедник «Большехехцирский» расположен в непосредственной близости от г. Хабаровск на островном низкогорном массиве Хехцир, которому свойственны флористическое богатство, пестрота и многообразие сочетаний элементов

флоры (Заповедники..., 1985). Рельеф Хехцира более ста лет назад охарактеризовал Р.К. Маак, назвавший этот горный массив «интересным во всех отношениях». Он писал: «Плывущимъ по Усури противъ теченія прежде всего представляются на правомъ берегу гряды Хѣхцырскихъ горъ, которыя вскоре уходятъ внутрь страны и уступаютъ место широкимъ равнинамъ, пересекаемымъ, въ некоторыхъ местахъ, цепями холмовъ, которые примыкаютъ къ самой реке; между темъ какъ на левомъ берегу одна такая равнина занимаетъ огромное пространство» (Маак, 1861, С. 7–8).

Реки и ручьи северного макросклона хр. Большой Хехцир, протяженностью до 15 км (рр. Быкова, Половинка, Соснинский и др.), впадают в протоку Амурская реки Амур. Горные водотоки южных склонов хребта, длиной от 10 до 20 км (рр. Одыр, Цыпа, Белая и др.) впадают в равнинную реку Чирка. С запада протекает р. Уссури, которая ограничивает хребет и территорию заповедника. В нее впадает ряд рек и ручьев длиной до 10 км (Инженерка, Грязный Кривун и др.). Водотоки северного склона берут начало на высоте 450–550 м над уровнем моря, водотоки южного – 500–650 м над уровнем моря и имеют горный характер, высокую скорость течения. Поймы почти всех рек заболочены, берега низкие, русла извилистые каменистые, продольный профиль в пределах гор ступенчатый. Во время прохождения дождевых паводков высокой обеспеченности и в период весеннего снеготаяния происходит резкий подъем уровней воды, обусловленный большой крутизной склонов, изометрической формой бассейнов и значительными уклонами русел. Спад воды продолжается до конца ноября – начала декабря. В сухие периоды водотоки сильно мелеют и пересыхают. Горные водотоки характеризуются низкими температурами воды, бурным потоком, большими скоростями течения и незначительной мутностью в течение большей части года (Махинов, 2011; Флора..., 2011). По химическому составу поверхностные воды хребта являются гидрокарбонатными кальциевыми, по величине минерализации (от 21,0 до 70,4 мг/дм<sup>3</sup>) – ультрапресными (Шестеркина и др., 2005).

Основная роль в функционировании водных экосистем, их устойчивости, формировании качества водной среды принадлежит водорослям. В предгорных притоках бассейна р. Амур главным продуцентом органического вещества служит перифитон, преимущественно диатомовые водоросли (Леванидов, 1969). Менее распространены другие отделы: динофитовые, эвгленофитовые, золотистые, желтозеленые и красные водоросли (Протасов, 1994). В настоящее время в водных объектах заповедника насчитывается 357 видов водорослей (включая разновидности и формы – 376) из 7 отделов, 61 семейства и 139 родов, среди которых наиболее многочисленно и разнообразно представлены диатомовые – 169 видов (включая разновидности и формы – 188) и харовые водоросли – 69 видов (Медведева, 2019). Растительные пигменты являются маркерами физиологического состояния растительных организмов и функционирования экосистемы в целом (Сигарева, 2012). Информация о качественных и количественных характеристиках растительных пигментов водорослей перифитона позволяет решать задачи контроля санитарно-биологического состояния водных объектов и определять возможные пути их регулирования (Медведева, 2020). Известно много работ по изучению биомассы и пигментных показателей водорослей перифитона в водотоках США, Канады, Швейцарии, Новой Зеландии, Японии, Франции, России и стран СНГ (Беляева, 2017). Однако пигментные характеристики водорослей перифитона в бассейне р. Амур изучены недостаточно, а сведения о них в реках и ручьях заповедника «Большехехцирский» ограничены (Яворская, 2016).

Цель работы – выявить сезонную динамику фотосинтетических пигментов водорослей перифитона водотоков заповедника «Большехехцирский» и дать оценку качества их вод.

### Материал и методика

Исследования проводили в апреле–ноябре 2014 г., мае–ноябре 2015 г., апреле–ноябре 2016–2018 г., апреле, июне–июле 2019 г. Материалом для определения фотосинтетических пигментов послужили водоросли перифитона, населяющие гравийно-галечный субстрат в реках и ручьях северного (Быкова, Половинка, Соснинский), южного (Золотой, Одыр, Цыпа, безымянный, Белая Речка) и западного (Куркуниха, Головина, Грязный Кривун, Шереметьевский, Синюгинский, безымянный, Пилка, Чирка, Инженерка, Уссури, Дворовый) склонов хр. Большой Хехцир (рис. 1).

С глубины 0,1–0,3 м методом случайной выборки доставали 5–12 камней, с которых водоросли перифитона счищали щеткой в определенном объеме воды. Затем определяли площадь камней по их проекции весовым методом (Богатов, 1994). Водоросли перифитона концентрировали из 0,02–0,85 л воды через мембранные фильтры «Владипор» типа МФАС-ОС-3 и фильтры обеззоленные синяя лента (ТУ 6-09-1678-77). Определение пигментов перифитона проводили по стандартной спектрофотометрической методике (ГОСТ 17.1.4.02–90) с учетом методических уточнений М.А. Климина и С.Е. Сиротского (2005). Измерения выполняли с помощью спектрофотометра UV мини-1240 фирмы Shimadzu на базе Центра коллективного пользования при ИВЭП ДВО РАН. Всего обработано 122 пробы водорослей перифитона, в т.ч. в водотоках, стекающих с северного склона хр. Большой Хехцир – 54 пробы, западного – 56, южного – 12 проб.

Концентрацию хлорофилла *a* ( $C_{\text{хл } a}$ ) рассчитывали по S.W. Jeffrey и G.F. Humphrey (Jeffrey, Humphrey, 1975); хлорофиллов *b*,  $c_1+c_2$  ( $C_{\text{хл } b}$ ,  $C_{\text{хл } c_1+c_2}$ ),

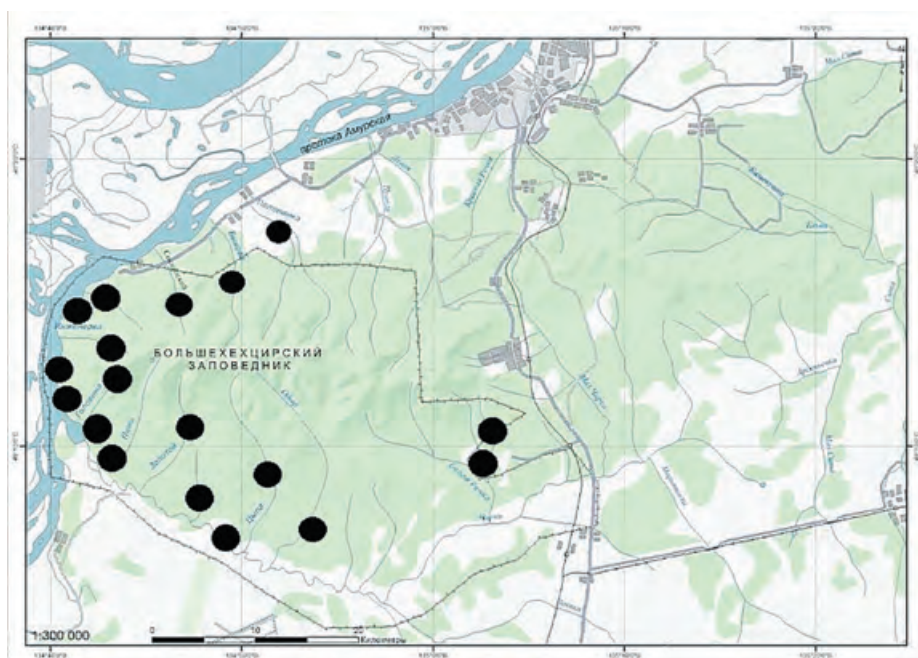


Рис. 1. Карта-схема заповедника «Большехехцирский» с указанием мест сбора материала

каротиноидов ( $C_k$ ), пигментный индекс ( $I_{430/664}$ ) по методикам ГОСТа (ГОСТ 17.1.4.02–90); пигментное отношение ( $O_{480/664}$ ) по R.A. Watson и P.L. Osborne (Watson, Osborne, 1979). Расчет первичной продукции под  $1\text{ м}^2$  и определение трофического статуса водотоков произведены согласно работам Г.Г. Винберга и В.В. Бульона (Винберг, 1960; Бульон, 1983). Оценка качества воды по концентрации хлорофилла  $a$  в перифитоне водотоков проведена по работе С.Е. Сиротского и Д.Н. Юрьева (Сиротский, Юрьев, 2000). Построение карты осуществлено в программе ArcGIS10.1.

В настоящей работе обобщены данные количественного учета бокоплавов, поденок, ручейников, хириноид, веснянок. Пробы бентоса отбирали складным бентометром (площадь захвата  $0,063\text{ м}^2$ ) и обрабатывали по общепринятой методике (Тиунова, 2003). Для оценки состояния сообществ зообентоса использовали численность ( $N$ , экз./ $\text{м}^2$ ) и биомассу ( $B$ , г/ $\text{м}^2$ ).

### Результаты и обсуждение

Результаты измерений концентраций фотосинтетических пигментов водорослей перифитона рек и ручьев заповедника «Большехецирский» представлены в таблице.

Хлорофилл  $a$  содержится у всех растений (Минеева, 2014). В фонде зеленых пигментов водорослей перифитона в водотоках северного, южного и западного склонов хр. Большой Хехцир преобладает хлорофилл  $a$ , относительное содержание дополнительных хлорофиллов немного ниже. По результатам всех наблюдений в трофогенной зоне рек концентрация основного пигмента растительной клетки – хлорофилла  $a$  – колебалась в широких пределах: от  $0,6$  (сентябрь 2018 г., руч. Куркуниха) до  $130,2\text{ мг/м}^2$  (ноябрь 2017 г., р. Половинка), составив в среднем  $17,6\text{ мг/м}^2$ . Содержание хлорофилла  $a$  достигало  $77\%$  от суммарного количества хлорофиллов ( $a + b + c$ ).

Наличие дополнительных пигментов (хлорофилл  $b$  и хлорофилл  $c$ ) зависит от систематической принадлежности растительных организмов. Примерно треть общего количества хлорофиллов у зеленых водорослей (отдел Chlorophyta) составляет хлорофилл  $b$  (Минеева, 2014). Концентрация хлорофилла  $b$  варьировала от  $0$  (сентябрь 2018 г., р. Быкова) до  $19,2\text{ мг/м}^2$  (ноябрь 2014 г., р. Половинка) (в среднем  $2,6\text{ мг/м}^2$ ).

Хлорофилл  $c$  содержится только у диатомовых (Bacillariophyta), золотистых (Chrysophyta), динофитовых (Dinophyta), криптофитовых (Cryptophyta) и бурых (Phaeophyta) водорослей (Минеева, 2014). Содержание хлорофилла  $c$  колебалось от  $0$  (апрель, май 2017 г., руч. Соснинский; апрель 2017 г., руч. Головина) до  $27,5\text{ мг/м}^2$  (ноябрь 2016 г., р. Половинка) (в среднем  $2,6\text{ мг/м}^2$ ).

Каротиноидные пигменты (каротин и ксантофиллы) – желтые фотосинтетические пигменты перифитона (Ермолаев, 1989). Количество каротиноидов изменялось от  $0,7$  (май 2015 г., руч. Дворовый; сентябрь 2016 г., р. Быкова) до  $133,5\text{ мг/м}^2$  (ноябрь 2016 г., р. Половинка), среднее значение этого показателя составило  $11,3\text{ мг/м}^2$ .

Наименьшие значения пигментного отношения ( $0,4$ ) были отмечены в безымянном ручье (южный склон хр. Большой Хехцир), р. Чирка (июнь 2015 г.), р. Быкова (июль 2016 г.), р. Половинка (август 2016 г.); наибольшие ( $3,5$ ) – в руч. Куркуниха (сентябрь 2018 г.). Пигментное отношение в среднем составляло  $0,8$ . Данные показатели характеризуют нормальное физиологическое состояние водорослей, обитающих при достаточной обеспеченности биогенным питанием (Сиротский, Медведева, 1996).

Пигментный индекс отражает пигментное разнообразие водорослевого сообщества (Margalef, 1960). Пигментный индекс может служить и как индикатор старения фитопланктонного сообщества – тогда его значение повышается (Ермолаев, 1989). Считается, что для нормально функционирующего фитопланктона этот коэффициент обычно равен 1,25–4,0, а наибольшие его значения (10–20 и выше) характерны для перифитона, обогащенного растительным детритом (Бульон, 1983). За период наших исследований минимальное значение пигментного индекса (1,2) зафиксировано в р. Половинка (апрель, 2014 г.), максимальное (8,0) – руч. Куркуниха (сентябрь, 2018 г.), среднее – 2,4.

Таким образом, содержание хлорофилла *a* в обследованных водотоках заповедника сопоставимо с таковым в других реках горного и полугорного типа Дальнего Востока России, США, Канады и в большинстве случаев составляет от 10 до 100 мг/м<sup>3</sup> (Богатов, 1994; Сиротский, 1993, 1998, 2014; Сиротский, Медведева, 1996; Яворская, Климин, 2019). Необходимо отметить, что полученные сведения по содержанию хлорофилла *a* также совпадают с подобными протоки Амурская р. Амур (от 6,5 до 93,6 мг/м<sup>3</sup>) (Яворская, 2017).

**Сезонная и межгодовая динамика пигментов.** Отмечено (Алимов и др., 2013), что в каждом географическом районе отдельные организмы и речные экосистемы исторически адаптированы к особенностям водного режима реки (совокупное изменение во времени расходов и уровней воды, уклонов и скоростей течения, термического и ледового режимов, химического состава природных вод и других характеристик). Известно, что динамика водности рек и ручьев хр. Хехцир в разные сезоны отличается. С крутого западного склона хребта стекают короткие ручьи, а с более пологих северного и южного склонов – длинные. В связи с тем, что реки и ручьи, стекающие с южного склона, являются наиболее труднодоступными объектами, за период исследований в них собрано небольшое количество проб водорослей перифитона, причем в лучшем случае (р. Одыр) ежегодно в течение четырех лет. Наиболее часто удалось исследовать водотоки, стекающие с северного склона хребта. Учитывая достаточно близкие морфометрические характеристики водотоков северного и южного склонов хребта, сравнительно близка в них должна быть и динамика концентрации фотосинтетических пигментов водорослей перифитона. В реках и ручьях, стекающих с южного склона хр. Большой Хехцир, в среднем за 2014–2017 гг. количество хлорофиллов *a*, *b*, *c* водорослей перифитона составляло соответственно 18,0; 2,6; 2,0 мг/м<sup>2</sup>, каротиноидов – 9,9 мг/м<sup>2</sup>. Как видно из данных, приведенных в таблице, результаты разовых исследований состава пигментов в водотоках южного склона хр. Большой Хехцир близки к средним данным для таковых в водотоках северного склона.

В водотоках заповедника, стекающих с северного склона хр. Большой Хехцир, общее содержание пигментов водорослей перифитона с 2014 по 2018 гг. стабильно увеличивалось в июне и ноябре, в периоды межени (рис. 2).

Исключениями являются лишь данные 2017 г., когда в ноябре резкого увеличения пигментов не произошло, а также хорошо выраженный апрельский максимум 2014 г. В первом случае причиной может быть поздний паводок, во втором, вероятно, это следствие аномального увлажнения территории Приамурья после катастрофического наводнения на р. Амур в 2013 г. В среднем за 2014–2018 гг. в реках и ручьях заповедника, стекающих с северного склона хр. Большой Хехцир, количество хлорофиллов *a*, *b*, *c* водорослей перифитона составляло соответственно 21,4, 2,9 и 3,1 мг/м<sup>2</sup>, каротиноидов – 14,2 мг/м<sup>2</sup>.

Таблица 1

Содержание в водорослях перифитона водотоков заповедника «Большехехцирский» фотосинтетических пигментов и величины их соотношений, 2014–2019 гг.

Водоток, t <sub>воды</sub>	Год	C <sub>хл.а</sub> , мг/м <sup>2</sup>	C <sub>хл.р</sub> , мг/м <sup>2</sup>	C <sub>хл.е</sub> , мг/м <sup>2</sup>	C <sub>р</sub> , мг/м <sup>2</sup>	O <sub>480/664</sub>	I <sub>430/664</sub>
Северный склон хр. Бол. Хехцир							
Половинка, 1–20 (11)	2014	14,3–122,5 (49,8)	3,1–19,2 (7,1)	1,6–16,6 (6,5)	7,8–69,3 (28,1)	0,5–0,7 (0,6)	1,2–2,3 (1,9)
	2015	2,5–58,9 (22,9)	1,0–6,4 (3,3)	0,3–8,5 (3,6)	1,2–39,0 (15,6)	0,5–0,9 (0,7)	2,1–2,6 (2,3)
	2016	2,4–130,2 (35,1)	0,5–13,4 (4,3)	0,4–27,5 (5,7)	1,7–133,5 (28,3)	0,4–1,2 (0,8)	1,4–2,5 (2,1)
	2017	29,9	12,0	3,6	15,1	0,6	2,2
Быкова, 1–17,8 (10)	2016	1,1–7,5 (4,1)	0,1–1,7 (0,7)	0,1–1,0 (0,5)	0,7–5,4 (2,5)	0,4–1,0 (0,7)	1,9–4,1 (2,5)
	2017	1,2–30,9 (6,8)	0,7–3,6 (1,5)	0,1–2,3 (0,7)	1,2–19,0 (5,2)	0,7–1,3 (1,0)	1,9–3,4 (2,8)
	2018	4,7–71,6 (21,6)	0–4,1 (1,2)	0,9–9,7 (3,2)	3,2–43,4 (14,1)	0,6–1,0 (0,8)	2,0–2,8 (2,5)
	2015	2,8	0,4	0,3	1,5	0,6	2,0
Соенинский, 1–22 (10)	2016	4,1–46,0 (25,1)	1,6–3,4 (2,5)	0,5–11,5 (6,0)	2,7–27,7 (15,2)	0,7–0,7 (0,7)	1,5–2,1 (1,8)
	2017	0,8–9,8 (5,1)	0,5–2,3 (1,4)	0–1,2 (0,4)	1,4–5,3 (3,2)	0,6–1,9 (1,0)	2,0–4,7 (2,8)
Южный склон хр. Бол. Хехцир							
Одыр, 7–17 (13)	2014	5,7	2,0	0,8	3,6	0,7	2,2
	2015	4,3	2,1	0,5	2,1	0,6	2,1
	2016	5,9	1,6	0,8	4,0	0,8	2,3
	2017	8,6	2,0	1,0	4,6	0,6	2,1
Цыпа, 14–16 (15)	2014	8,2	2,7	0,8	4,3	0,6	2,0
	2017	7,2	1,9	0,8	4,0	0,6	2,1
Золотой, 14	2015	7,1	1,4	0,7	3,6	0,6	2,0
	2014	66,0	6,1	3,9	34,1	0,6	1,9
Чирка, 18–23 (21)	2015	23,0	1,5	2,3	9,1	0,4	2,0
	2017	7,5	2,3	0,7	5,1	0,8	2,4
Белая Речка, 9	2016	58,3	2,5	10,3	39,5	0,8	1,7
	2015	13,9	5,3	1,6	5,6	0,4	2,0

Водоток, $t_{\text{водн}}$	Год	$C_{\text{хл.а}}$ , мг/м <sup>2</sup>	$C_{\text{хл.б}}$ , мг/м <sup>2</sup>	$C_{\text{хл.с}}$ , мг/м <sup>2</sup>	$C_k$ , мг/м <sup>2</sup>	$O_{480/664}$	$I_{430/664}$
Западный склон хр. Бол. Хехцир							
Уссури, 12-26 (23,6)	2017	11,6-27,1 (17,1)	2,5-4,0 (3,5)	1,9-3,5 (2,5)	8,0-14,8 (10,5)	0,6-0,8 (0,7)	2,1-2,8 (2,5)
Пилка, 1-16,3 (9,7)	2018	8,0-37,3 (15,9)	0,5-4,2 (2,6)	0,5-6,3 (3,2)	4,5-24,7 (10,9)	0,6-1,2 (0,8)	2,1-2,8 (2,3)
	2019	54,5-67,3 (60,9)	4,7-9,5 (7,1)	7,8-9,5 (8,6)	34,2-51,2 (42,7)	0,7-1,0 (0,8)	2,1-4,4 (3,3)
Головина, 1-18 (7,8)	2015	1,6-5,0 (3,5)	0,3-0,7 (0,5)	0,3-1,2 (0,7)	1,1-3,2 (2,2)	0,7-0,8 (0,7)	2,3-2,4 (2,4)
	2016	6,3-10,5 (8,4)	2,7-6,5 (4,6)	0,8-1,9 (1,4)	3,9-7,4 (5,7)	0,7-0,8 (0,7)	2,3-2,7 (2,5)
	2017	4,3-79,0 (25,5)	1,3-13,6 (4,7)	0-12,6 (3,3)	3,5-46,1 (15,2)	0,7-1,0 (0,8)	1,8-2,6 (2,4)
	2018	4,5-8,2 (6,0)	0,9-2,0 (1,5)	0,9-2,4 (1,5)	3,5-6,3 (5,1)	0,5-1,3 (0,9)	2,4-3,2 (2,7)
	2019	6,2	1,4	0,8	4,0	0,7	2,2
Куркунха, 2-17,9 (9,6)	2018	0,6-13,7 (6,8)	0,2-1,7 (1,0)	0,4-2,8 (1,2)	2,0-8,7 (4,9)	0,6-3,5 (1,6)	2,2-8,0 (4,2)
	2019	16,3	0,5	3,8	11,0	0,8	2,4
Дворовой, 12	2015	0,9	0,2	0,1	0,7	0,8	2,3
	2018	1,9-6,2 (4,1)	0,5-1,3 (0,9)	0,7-1,0 (0,9)	1,9-5,2 (3,5)	0,9-1,1 (1,0)	3,1-3,1 (3,1)
Синюгинский, 13,9	2018	2,8	0,7	0,8	2,0	0,8	2,6
Безымянный, 15	2018	19,8	1,5	4,6	10,7	0,6	2,5
Инженерка, 2-12 (6)	2015	2,8-16,8 (8,0)	0,8-1,6 (1,1)	0,4-1,9 (1,0)	1,7-9,3 (4,5)	0,5-0,8 (0,7)	1,9-2,3 (2,1)
Грязный Кривун, 4-12 (7,2)	2015	4,8-15,3 (9,5)	0,9-4,3 (2,0)	0,4-3,1 (1,5)	0,4-1,7 (1,3)	0,5-0,7 (0,6)	1,9-2,3 (2,0)
Шереметьевский, 11-12 (11,5)	2018	24,9-29,2 (27,1)	2,0-3,1 (2,6)	4,1-7,4 (5,7)	13,3-17,8 (15,5)	0,6-0,7 (0,6)	2,1-2,4 (2,2)

Примечание: пределы колебаний и средние показатели (в скобках) температуры воды и содержания фотосинтетических пигментов и величин их соотношений;  $C_{\text{хл.а}}$  – концентрация хлорофилла а;  $C_{\text{хл.б}}$  – концентрация хлорофилла б;  $C_{\text{хл.с}}$  – концентрация хлорофилла с;  $C_k$  – концентрация каротиноидов;  $O_{480/664}$  – значения пигментного отношения;  $I_{430/664}$  – значения пигментного индекса.

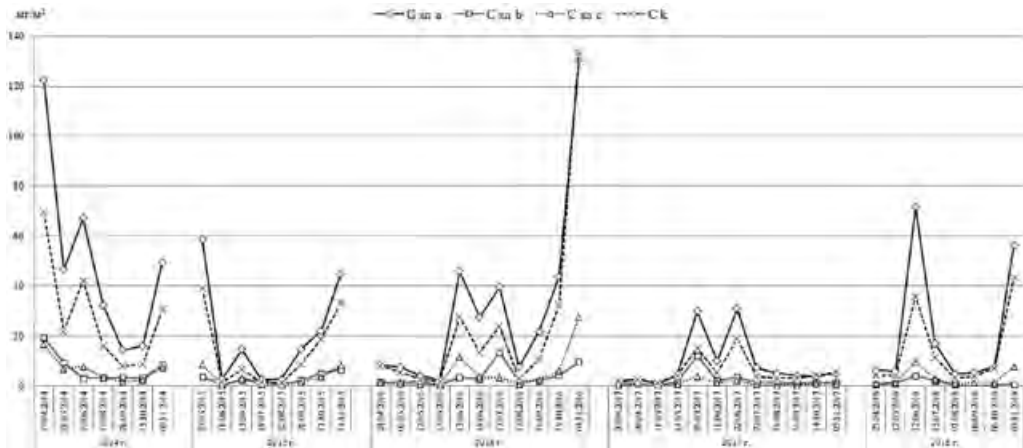


Рис. 2. Сезонная динамика концентрации фотосинтетических пигментов водорослей перифитона в водотоках, стекающих с северного склона хр. Большой Хехцир заповедника «Большехехцирский», 2014–2018 гг.

В водотоках, стекающих с западного склона хр. Большой Хехцир, общее содержание пигментов водорослей перифитона с 2015 по 2019 гг. заметно повышалось во время межени весной и летом (рис. 3).

По результатам четырех отборов, сделанных осенью (2015 и 2018 гг.), зафиксировано лишь небольшое увеличение пигментов, что может быть связано с характеристиками водотоков, приведенными выше. В среднем за 2015–2019 гг. в реках и ручьях заповедника, стекающих с западного склона хр. Большой Хехцир, количество хлорофиллов *a*, *b*, *c* водорослей перифитона составляло соответственно 13,8, 2,3 и 2,2 мг/м<sup>2</sup>, каротиноидов – 8,8 мг/м<sup>2</sup>.

Межгодовые сезонные различия динамики концентрации фотосинтетических пигментов водорослей перифитона в водотоках заповедника хорошо выражены, имеют несколько весенне-летне-осенних максимумов, которые определяются гидрологическими факторами, сложившимися в каждый конкретный год, влияние которых хорошо прослеживается (рис. 4).

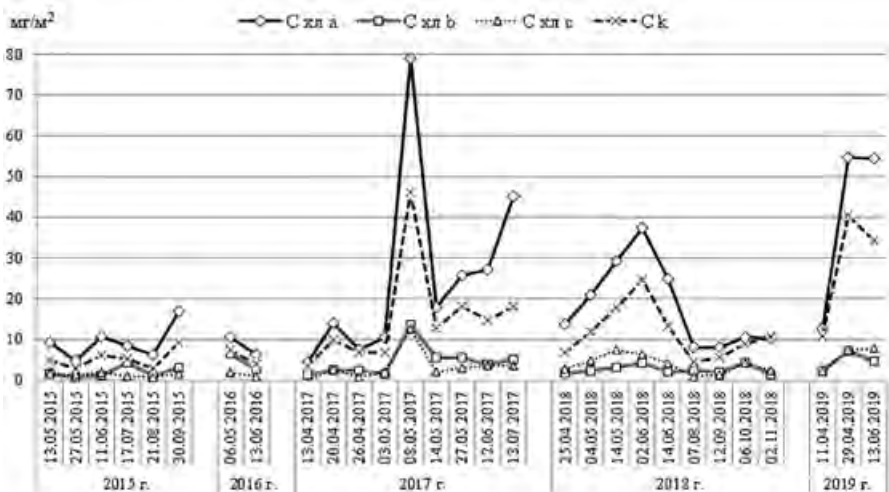


Рис. 3. Сезонная динамика концентрации фотосинтетических пигментов водорослей перифитона в водотоках, стекающих с западного склона хр. Большой Хехцир заповедника «Большехехцирский», 2015–2019 гг.



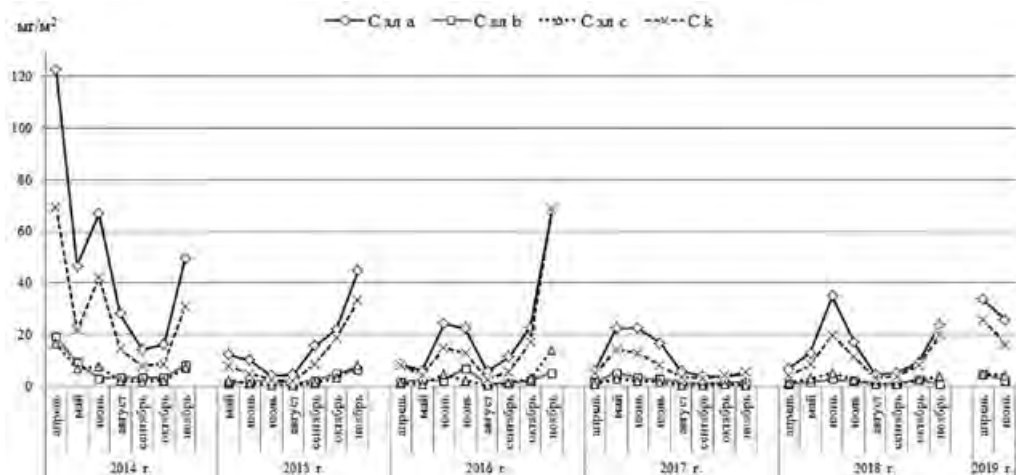


Рис. 4. Многолетняя динамика осредненных концентраций фотосинтетических пигментов водорослей перифитона в водотоках заповедника «Большехехчирский», 2014–2019 гг.

В 2014 г. зафиксировано три пика – апрель, июнь, ноябрь. Следует отметить, что в апреле наблюдались самые высокие концентрации растительных пигментов за весь шестилетний период исследований водотоков. Это объясняется особенностями гидрометеорологических условий весны данного года (повышенный фон температуры воздуха, большой дефицит жидких осадков), способствовавших интенсивному снеготаянию, раннему сходу снежного покрова и раннему вскрытию рек (Государственный доклад..., 2015).

В 2015 г. содержание фотосинтетических пигментов в июле–августе оказалось наиболее низким почти за весь период наблюдений, близки к этим минимальным значениям августовские данные 2016–2018 гг. Тем не менее, в этот год отмечался небольшой пик в мае и хорошо выраженный – в ноябре. Это связано с затяжной и холодной весной, с температурами около и на 1–2 °С ниже нормы, с преобладанием дождливой погоды. Лето было дождливое, а осенью преобладала относительно теплая и умеренно дождливая погода (Государственный доклад..., 2016).

В 2016 г. зафиксированы пики максимумов в июне–июле и ноябре. Причем в мае выявлены очень низкие значения содержания растительных пигментов. В этот год апрель и май характеризовались неустойчивым температурным режимом. Май был дождливым, осадков выпало в 1,5–2,5 раза больше обычного. Лето также было дождливым, умеренно теплым. В сентябре уровень температуры воздуха был повышенным, но с началом октября резко похолодало и отмечался дефицит осадков (Государственный доклад..., 2017).

В 2017 г. в мае и июне отмечены одинаковые значения хлорофилла *a*, являющиеся максимальными в этот год. К тому же осенью не зарегистрирован сильный рост растительных пигментов. В этот год весной сохранялся повышенный фон температуры воздуха, а лето началось на неделю позже обычных сроков и было холодным. Осадков выпало около и больше нормы. В конце сентября отмечались сильные осадки. В октябре–ноябре были резкие колебания температуры воздуха, причем наиболее холодными, на 1–4 °С ниже нормы, были первые две декады октября, а в начале ноября температура воздуха была на 4–6 °С выше обычной (Государственный доклад..., 2018).

В 2018 г. зафиксированы пики максимумов хлорофилла *a* в июне и ноябре. Весной отмечался повышенный фон температуры воздуха, дефицит осадков, который

сохранялся до конца первой декады июня. Наибольшее количество осадков (120–170% месячной нормы) выпало в июле. В начале сентября прошли сильные и очень сильные дожди и наступило резкое похолодание. Со второй половины месяца и до конца ноября установилась теплая погода без осадков. Среднемесячная температура воздуха осенью превышала норму на 2–5 °С (Государственный доклад..., 2019).

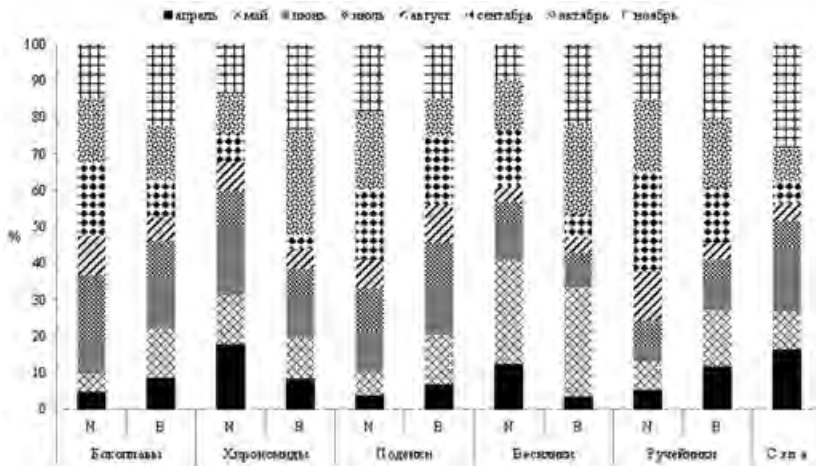
В 2019 г. обследования проводились только в апреле и июне, но полученные результаты хорошо показывают некоторый спад содержания растительных пигментов от апреля к июню, после прохождения дождей.

Резюмируя сказанное, в динамике содержания хлорофилла *a* и общего количества пигментов в течение теплого сезона года отмечено два–три максимума, количество и выраженность которых обусловлены характером увлажнения территории, однако более контрастно проявились они в реках северного склона хр. Большой Хехцир. Для рек и ручьев заповедника характерно относительно равномерное распределение водорослей всех отделов, т.е. по динамике фотосинтетических пигментов хорошо прослеживается сезонная сукцессия видов водорослей. Полученные результаты сезонной динамики водорослей перифитона водотоков заповедника «Большехехцирский» вполне сопоставимы с таковыми заказника «Хехцирский» (Яворская, Климин, 2019).

**Динамика содержания хлорофилла *a* и количественных показателей зообентоса.** Развитие популяций водных насекомых напрямую зависит от степени развития популяций организмов-продуцентов органического вещества, таких, как водоросли перифитона и фитобентоса. Активно потребляя органическое вещество растительного происхождения и будучи одним из основных компонентов питания рыб, личинки амфибиотических насекомых активно участвуют в трансформации вещества и энергии от продуцентов к высшим трофическим уровням (Голубков, 2000). В основу изучения динамики зообентоса положена плотность и биомасса бокоплавов, поденок, веснянок, ручейников и хирономид, в связи с их практически 100% встречаемостью в донных сообществах рек и ручьев заповедника «Большехехцирский».

В водотоках, стекающих с северного склона хр. Большой Хехцир, в мае, на фоне небольшого снижения концентрации хлорофилла *a*, плотность беспозвоночных в общем увеличивалась, благодаря отрождению их молоди. Исключение составили хирономиды, у которых в мае происходил вылет стенотермных видов имаго (рис. 5).

В июне одновременно выросли концентрация хлорофилла *a* и плотность бокоплавов, хирономид, поденок благодаря отрождению их молоди. В июле, после прохождения паводковых вод, снизилась концентрация хлорофилла *a*, а также по причине вылета имаго хирономид и веснянок уменьшилась плотность их личинок в бентосе, но продолжала расти плотность бокоплавов, поденок, ручейников, что связано с появлением их молоди. В августе, после прохождения дождей, вновь произошло небольшое снижение концентрации хлорофилла *a* и плотности бентоса. Исключением является увеличение численности ручейников. В сентябре, после паводка, с гальки был смыт слой накопившегося в межень наилка, совсем немного возросла концентрация хлорофилла *a*, и выросла плотность бокоплавов, поденок, веснянок, ручейников, вероятно, поступивших с других участков русла. В октябре начали повышаться концентрация хлорофилла *a*, а также плотность личинок хирономид и поденок при небольшом ее снижении у бокоплавов, веснянок и ручейников. В ноябре, во время установившегося меженного периода, выросла только концентрация хлорофилла *a* и плотность хирономид. Оставшиеся бентосные организмы заранее стали покидать участки осушения и промерзания русла.

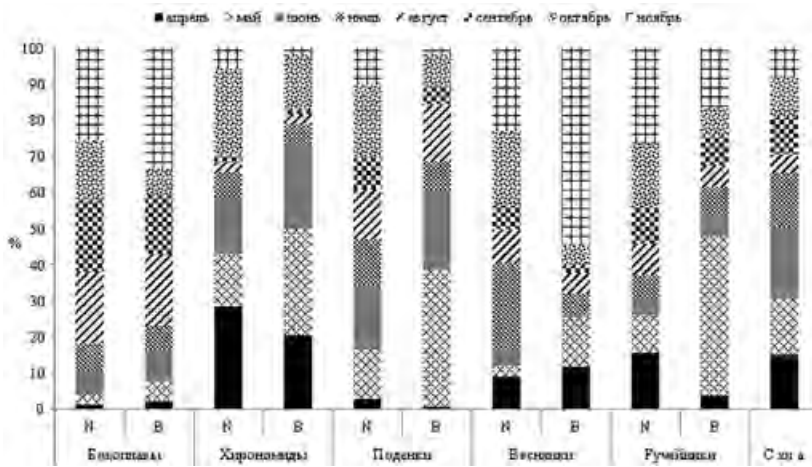


**Рис. 5.** Сезонная динамика осредненных значений плотности (N, экз./м<sup>2</sup>) и биомассы (B, г/м<sup>2</sup>) бокоплавов, хирономид, поденок, веснянок, ручейников и концентрации хлорофилла *a* (мг/м<sup>2</sup>) в водотоках, стекающих с северного склона хр. Большой Хехцир заповедника «Большехехцирский», 2014–2018 гг.

Динамика биомассы бокоплавов, личинок поденок, веснянок, ручейников, хирономид в водотоках, стекающих с северного склона хребта, имеет свои особенности. Так, в мае, на фоне снижения концентрации хлорофилла *a*, наблюдался рост биомассы у всех беспозвоночных, что связано с их жизненными циклами. В июне снизилась только биомасса у веснянок и ручейников в связи с вылетом их имаго. Но уже в июле произошло снижение биомассы всего донного населения по причине смыва их паводковыми водами и вылетом имаго амфибиотических насекомых. В августе, в результате взросления особей, возросла биомасса личинок веснянок. В сентябре произошел рост биомассы почти у всех гидробионтов, за исключением хирономид, а в октябре исключение составили только поденки. В ноябре, в период межени, вместе с ростом концентрации хлорофилла *a*, происходило увеличение биомассы бокоплавов, поденок, ручейников, что связано с особенностями их биологии.

В реках и ручьях, стекающих с западного склона хр. Большой Хехцир, в мае, одновременно с ростом концентрации хлорофилла *a*, росла плотность бокоплавов и личинок поденок, благодаря отрождению их молоди. Вылет имаго в этот период у хирономид, веснянок и ручейников способствовал снижению их плотности (рис. 6).

В июне, после прохождения паводковых вод, увеличилась концентрация хлорофилла *a* и плотность донных беспозвоночных, за исключением ручейников, у которых продолжался вылет имаго. В июле произошло снижение концентрации хлорофилла *a*, а также плотности хирономид и поденок, как в результате вылета имаго, так и смыва их паводковыми водами. В августе концентрация хлорофилла *a* продолжала снижаться, но выросла плотность бокоплавов, поденок и ручейников в результате отрождения их молоди и поступления гидробионтов с других участков водотоков. Хирономиды и веснянки снизили свою плотность отчасти в результате вылета их имаго. В сентябре, после прекращения дождей, немного возросли концентрация хлорофилла *a* и плотность ручейников, частично за счет их перемещения с других участков рек. В октябре, после прохождения дождей, концентрация хлорофилла *a* еще немного возросла и увеличилась плотность личинок амфибиотических насекомых благодаря появлению их молоди и поступле-



**Рис. 6.** Сезонная динамика средних значений плотности (N, экз./м<sup>2</sup>) и биомассы (B, г/м<sup>2</sup>) бокоплавов, хирономид, поденок, веснянок, ручейников, и концентрации хлорофилла *a* (мг/м<sup>2</sup>) в водотоках, стекающих с западного склона хр. Большой Хенцир заповедника «Большехецирский», 2015–2019 гг.

нию с других участков водотоков. В ноябре, в межень, на течении образовались пакеты из листового опада и выросла плотность бокоплавов, веснянок и ручейников. Одновременно наблюдалось понижение концентрации хлорофилла *a* и плотности хирономид и поденок, ввиду их перемещения на более глубокие участки русла рек.

В мае отмечался одновременный рост биомассы у всех беспозвоночных за счет подрастающего поколения. В июне биомасса выросла только у бокоплавов, благодаря рождению их молоди. У других насекомых в это время, вероятно, происходил массовый вылет их имаго. В июле, на фоне летней межени, отмечен рост биомассы веснянок и ручейников. В августе наблюдался рост биомассы у бокоплавов, поденок, веснянок. В сентябре немного выросла биомасса ручейников. В октябре, после прохождения паводковых вод, снизилась биомасса только у бокоплавов и ручейников. В ноябре, в период межени, отмечен всплеск биомассы бокоплавов, веснянок и ручейников, что связано с благоприятными абиотическими и биотическими факторами.

Заметим, что паводковые воды в водотоках западного склона хр. Большой Хенцир проходят быстрее, чем в реках северного склона хребта. В связи с этим, в водотоках, стекающих с западного склона хребта, в сезонной динамике отмечено только два пика плотности личинок хирономид, а в водотоках северного склона – три пика. Объясняется этого более экстремальными условиями, которые наблюдаются в водотоках, стекающих с западного склона хребта, благодаря чему жизненный цикл амфибиотических насекомых проходит в достаточно сжатые сроки между межненным и паводковым периодами, либо они погибают, не успев его завершить до пересыхания водотоков. Отмечено (Богатов, 1994), что в периоды паводков личинки насекомых и ракообразные способны пропускать очередные линьки, а в условиях межени – ускорять онтогенез. Амфиподы, планарии и личинки насекомых способны заблаговременно покидать осушающиеся участки русла. Выявлено (Алимов и др., 2013), что в период межени, связанной с пересыханием русла, одна часть гидробионтов способна перемещаться в подрусловый поток, другая – впадать в покоящиеся стадии развития, третья – скапливаться на непересыхающих участках русла.

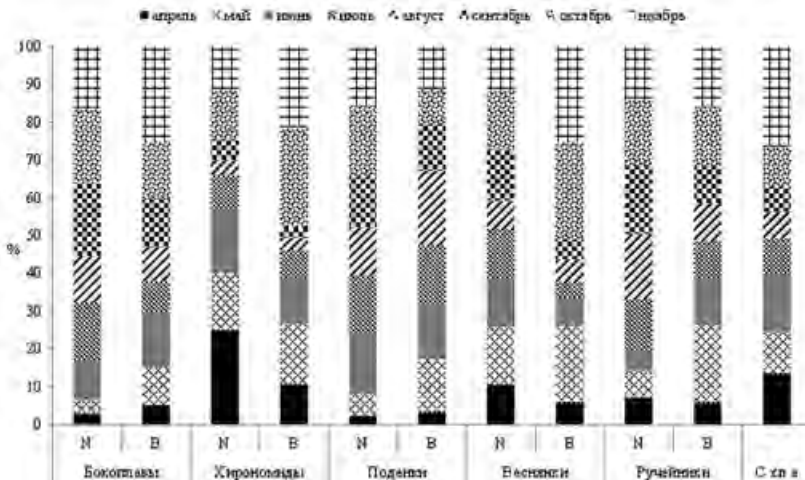
Во всех обследованных реках и ручьях заповедника «Большехехцирский» содержание хлорофилла *a* и плотность бокоплавов, личинок поденок, веснянок, ручейников, хирономид в течение вегетационного сезона значительно изменялись (рис. 7).

Так, концентрация хлорофилла *a* в водотоках увеличивалась в июне, октябре, ноябре, а снижение зафиксировано в мае, июле–сентябре, что связано с прохождением паводковых вод. На этом фоне увеличение плотности хирономид отмечено в июне, сентябре–октябре, снижение – в мае, июле–августе, ноябре. У бокоплавов рост плотности происходил в мае–июле, сентябре–октябре. Плотность поденок увеличивалась в мае–июле, сентябре–октябре. Плотность ручейников росла в мае, июле–сентябре. Плотность личинок веснянок выросла в мае, июле, сентябре–октябре, благодаря отрождению их молоди и снижалась в июне, августе, ноябре.

Весной наблюдалось увеличение биомассы у всех донных беспозвоночных. Рост биомассы бокоплавов происходил в мае–июне и с августа по ноябрь. У хирономид биомасса увеличивалась только в мае и октябре, в остальные месяцы она плавно снижалась благодаря вылету имаго. Биомасса поденок почти стабильно высокой была в мае–августе, ноябре. Биомасса веснянок росла в мае, августе, октябре–ноябре. Ручейники по биомассе увеличивались в мае и августе–ноябре, вылет их имаго происходил в июне–июле.

Между тем, в реках и ручьях заповедника образование хлорофилла *a* происходит в большом количестве и донные беспозвоночные не успевают полностью его потреблять. Сезонная динамика концентрации хлорофилла *a* и биомассы зообентоса представляет собой чередование их спадов и подъемов (рис. 8).

В мае относительно апреля биомасса бентоса увеличивалась благодаря росту беспозвоночных, а концентрация хлорофилла *a* уменьшалась, что связано как с проходящими дождями, так и с прессом потребителей. С.М. Голубковым (2000) выявлено, что высокий пресс личинок амфибиотических насекомых, относящихся по типу питания к соскребателям, тормозит сукцессию перифитона или даже «возвращает» сообщество на раннюю стадию развития. В июне, в период межени, наблюдался подъем концентрации хлорофилла *a* и совсем небольшой спад биомассы зообентоса в результате вылета имаго амфибиотических насекомых. В июле спад



**Рис. 7.** Сезонная динамика осредненных значений плотности (N, экз./м<sup>3</sup>), биомассы (B, г/м<sup>3</sup>) бокоплавов, хирономид, поденок, веснянок, ручейников и концентрации хлорофилла *a* (мг/м<sup>3</sup>) в водотоках заповедника «Большехехцирский», 2014–2019 гг.

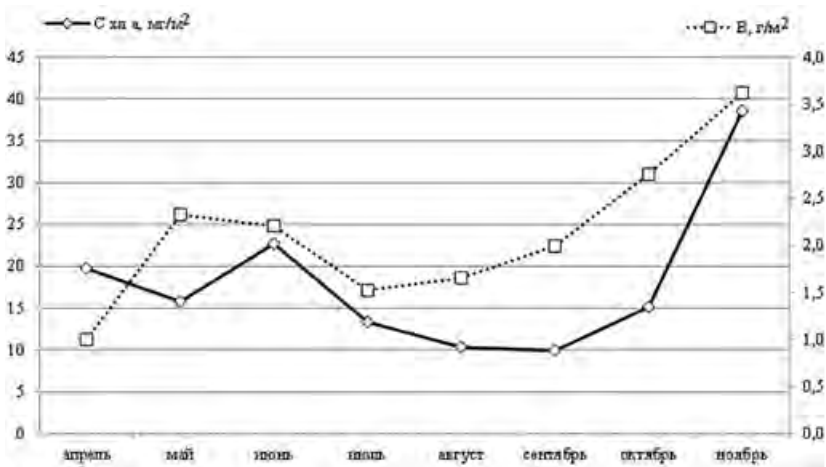


Рис. 8. Сезонная динамика осредненных значений биомассы (В) зообентоса и концентрации хлорофилла *a* (С хл а) в водотоках заповедника «Большехехцирский», 2014–2019 гг.

биомассы бентоса обусловлен массовым вылетом насекомых, а также дождевыми паводками. С июля по сентябрь, в период летнего половодья, концентрация хлорофилла *a* снижалась, и только в межень, в октябре–ноябре, она начала снова расти. Причем биомасса донного населения с августа и вплоть до ноября довольно плавно увеличивалась, достигнув максимума в конце осени, что связано с ростом и размножением беспозвоночных.

За период исследований 2014–2019 гг. характер изменения содержания пигментов соответствовал динамике плотности и биомассы зообентоса только в 2015 г. В остальные годы на фоне увеличения концентрации хлорофилла *a* наблюдались разнонаправленные колебания количественных показателей бентоса. Только в 2018 г. отмечен рост плотности беспозвоночных на фоне снижения их биомассы, при этом концентрация хлорофилла *a* была на уровне 2017 г. Следует отметить, что в водохранилищах характер динамики пигментов в донных отложениях в целом согласуется с характером динамики численности и биомассы макрозообентоса (Сигарева и др., 2020).

Полученные результаты указывают на то, что внутренние и внешние (по отношению к экосистеме) факторы среды вполне благоприятны для развития сообществ водорослей перифитона. Причем стимулирование первичной продукции водорослей за счет выедания животными поверхностного слоя перифитона может улучшить пищевые условия и стимулировать скорость роста и продукцию животных соскребателей фитообрастаний (Голубков, 2000). Таким образом, в сезонной динамике содержания хлорофилла *a* отмечено три пика максимумов (июнь, август, ноябрь), плотности зообентоса – один пик (июнь), биомассы зообентоса – три пика (июнь, август, ноябрь), что связано с гидрологическими условиями (межень, паводок) в период исследований и особенностями экологии донных беспозвоночных (сроки размножения, появление новых генераций, вылет имаго амфибиотических насекомых, выедание рыбами и др.).

**Трофический статус и состояние экосистемы.** Трофический статус водотоков заповедника «Большехехцирский» по средневзвешенным за вегетационные периоды значениям концентрации хлорофилла *a* в водорослях перифитона оценивается как мезотрофный (II класс качества, воды чистые). Годовые показатели продукции находятся в пределах от 9 до 1901 г С/м<sup>2</sup> или от 107 до 22 236 ккал/м<sup>2</sup>,

средние – 257 г С/м<sup>2</sup> или 3001 ккал/м<sup>2</sup>; вылов рыб составляет 0,18% от первичной продукции. В целом, по величинам первичной продукции реки и ручья заповедника «Большехехцирский» относятся к водотокам эвтрофного типа.

### Заключение

Впервые в результате многолетних исследований выявлено, что в предгорных и равнинных реках и ручьях заповедника «Большехехцирский» наблюдаются благоприятные условия для фотосинтеза и развития водорослей перифитона, относящихся к основным первичным продуцентам в речных экосистемах. Среди зеленых пигментов преобладает хлорофилл *a*. Содержание хлорофиллов *b* и *c* меньше, т.к. их количество зависит от систематической принадлежности растительных организмов.

Установлены ежегодные чередования подъемов и спадов концентраций растительных пигментов. Выявлены сезонные и межгодовые колебания пигментных характеристик водорослей перифитона, которые обусловлены их биологическими особенностями, а также гидрологическим режимом (паводки, вызванные сильными дождями). Максимальные концентрации хлорофилла *a* и, соответственно, величин первичной продукции, наблюдались в весенний период и в летнюю межень, что связано с активным развитием водорослей перифитона, минимальные – в середине-конце лета, после прохождения паводков, вызванных муссонными дождями и в начале осени – при понижении температуры воды. Изменения в физиологическом состоянии водорослей не выявлены. Средние многолетние показатели содержания хлорофиллов *a*, *b*, *c* составили 17,6, 2,6, 2,6 мг/м<sup>2</sup>, каротиноидов – 13,1, пигментного отношения – 0,8, пигментного индекса – 2,4.

Показано, что в сезонной динамике пики максимумов содержания хлорофилла *a* (июнь, август, ноябрь) полностью совпадают с таковыми биомассы зообентоса и частично – с его плотностью (июнь), что вполне закономерно для благоприятного развития сообществ водорослей перифитона, подверженного выеданию животными, жизненный цикл которых зависит от экологических факторов.

Полученные результаты подтверждают целесообразность использования данных о развитии зообентоса в совокупности с данными по фотосинтетическим пигментам водорослей перифитона для выявления изменений трофического статуса рек и ручьев заповедника.

По годовым величинам интегральной первичной продукции водотоки заповедника характеризуются как высокопродуктивные. Современное экологическое состояние рек и ручьев на основе пигментных характеристик водорослей перифитона можно оценить как удовлетворительное, воды чистые. Представленные сведения отражают нативное состояние водной биоты и в дальнейшем могут использоваться в качестве «регионального фона» при оценке состояния водных экосистем при антропогенном воздействии.

Таким образом, результаты исследования фотосинтетических пигментов водорослей перифитона в водотоках заповедника «Большехехцирский» согласуются с известными в гидробиологии закономерностями и дополняют представления об индикаторном значении растительных пигментов водорослей перифитона при изучении пресноводных экосистем.

### Благодарности

Авторы благодарны за организацию экспедиционных работ на территории заповедника «Большехехцирский» С.В. Спиридонову и к.б.н. Р.С. Андроновой.

Мы признательны сотрудникам заповедника – А.М. Долгих, А.И. Лукину, С.В. Лагутину, А.Н. Кадышеву, А.В. Готванскому, Ю.Н. Кя, Э.Ю. Власову, А.Н. Марчукову, Р.В. Дворянкину, В.В. Репяхову, С.Н. Глухову, И.М. Заикину, И.А. Бурдакову и другим за помощь в ходе выполнения работ (филиал «Большехехцирский» ФГБУ «Заповедное Приамурье») и к.г.н. А.В. Остроухову (ИВЭП ДВО РАН) за изготовление карты.

## Литература

- Алимов А.Ф., Богатов В.В., Голубков С.М. 2013. Продукционная гидробиология. Наука. 339 с.
- Беляева П.Г. 2017. Фотосинтетические пигменты фитоперифитона реки Сылва (Средний Урал) // Биология внутренних вод. № 1. С. 52–59.
- Богатов В.В. 1994. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука. 218 с.
- Бульон В.В. 1983. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука. 150 с. (Тр. Зоол. ин-та АН СССР. Т. 98).
- Винберг Г.Г. 1960. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во АН БССР. 329 с.
- Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2014 году. 2015. Хабаровск: ООО «Принт». 219 с.
- Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2015 году. 2016. Хабаровск: ООО «Принт-2». 256 с.
- Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2016 году. 2017. Ижевск: ООО «Принт-2». 226 с.
- Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2017 году. 2018. Воронеж: ООО «Фаворит». 250 с.
- Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2018 году. 2019. Хабаровск: ООО «Издательский дом «Гранд–Экспресс». 256 с.
- Голубков С.М. 2000. Функциональная экология личинок амфибиотических насекомых. Труды ЗИН РАН. Т. 284. СПб. 294 с.
- ГОСТ 17.1.04.02–90. ВОДА. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. 1990. М.: Издательство стандартов. 14 с.
- Ермолаев В.И. 1989. Фитопланктон водоемов бассейна озера Сартлан. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение. 96 с.
- Заповедники Дальнего Востока СССР. 1985. М.: Мысль, 319 с.
- Климин М.А., Сиротский С.Е. 2005. Распределение фотосинтетических пигментов в профиле торфяных отложений как отражение колебаний климата в голоцене // Биогеохимические и геоэкологические процессы в экосистемах. Вып. 15. Владивосток: Дальнаука. С. 237–248.
- Леванидов В.Я. 1969. Воспроизводство амурских лососей и кормовая база их молоди в притоках Амура // Известия ТИНРО. Т. 67. 242 с.
- Маак Р.К. 1861. Путешествие по долине реки Уссури. Т. 1. СПб., 203 с.
- Махинов А.Н. 2011. Физико-географическая характеристика // Флора и растительность Большехехцирского заповедника. Хабаровск: Издательский дом «Частная коллекция». С. 7–22.
- Медведева Л.А. 2019. Новые данные о флоре пресноводных водорослей Большехехцирского заповедника (Хабаровский край) // Биота и среда заповедных территорий. № 2. С. 5–26.
- Медведева Л.А. 2020. Цианобактерии и водоросли // Биота и почвы национального парка «Удэгейская легенда». Владивосток: Дальнаука. С. 219–229.
- Минева Н.М. 2014. Первичная продукция водных экосистем // Экологический мониторинг. Ч. VIII. Современные проблемы мониторинга пресноводных экосистем. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета. С. 208–225.
- Протасов А.А. 1994. Пресноводный перифитон. Киев: Наукова Думка. 307 с.
- Сигарева Л.Е. 2012. Хлорофилл в донных отложениях волжских водоемов. М.: Товарищество научных изданий КМК. 217 с.
- Сигарева Л.Е., Перова С.Н., Тимофеева Н.А. 2020. Многолетняя динамика макрозообентоса и растительных пигментов в донных отложениях Рыбинского водохранилища // Известия РАН. Серия биологическая. № 1. С. 77–84.
- Сиротский С.Е. 1993. Значение первичной продукции в оценке состояния водной экосистемы реки Амур // Биохимическая экспертиза состояния окружающей среды. Владивосток: Дальнаука. С. 49–69.



- Сиротский С.Е. 1998.** Первичная продукция водотоков и водоемов как биоиндикатор качества водных экосистем // Теоретические основы биогеохимической экспертизы окружающей среды. Владивосток–Хабаровск: Дальнаука. С. 50–63.
- Сиротский С.Е. 2014.** Фотосинтетические пигменты в перифитоне водотоков бассейнов рек Зeya и Бурея // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Вып. 6. Владивосток: Дальнаука, С. 619–628.
- Сиротский С.Е., Медведева Л.А. 1996.** Пигментные характеристики водорослей перифитона водотоков Дальнего Востока // Биогеохимические и экологические исследования природных и техногенных экосистем Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, С. 86–96.
- Сиротский С.Е., Юрьев Д.Н. 2000.** Трофический статус водных объектов бассейна Амура по содержанию хлорофилла «а» в автотрофных организмах // Геохимические и эколого-биогеохимические исследования в Приамурье. Вып. 10. Владивосток: Дальнаука. С. 111–129.
- Тиунова Т.М. 2003.** Методы сбора и первичной обработки количественных проб // Методические рекомендации по сбору и определению зообентоса при гидробиологических исследованиях водотоков Дальнего Востока России: метод. пособие / под ред. Т.М. Тиуновой. М.: ВНИРО. С. 5–13.
- Шестеркина Н.М., Форица Ю.А., Шестеркин В.П. 2005.** Гидрохимия малых рек хребта Большой Хехцир // Биогеохимические и геоэкологические процессы в экосистемах. Владивосток: Дальнаука. Вып. 15. С. 201–208.
- Флора и растительность Большехехцирского заповедника. 2011.** Хабаровск: Частная коллекция. 192 с.
- Яворская Н.М. 2016.** Фотосинтетические пигменты водорослей перифитона как показатели трофического состояния водотоков Большехехцирского заповедника (Хабаровский край) // Научные исследования в заповедниках и национальных парках России / Тез. всерос. науч.-практич. конф. с международ. участием, посвященной 25-летию юбилею биосферного резервата ЮНЕСКО «Национальный парк «Водлозерский», 29 августа – 4 сентября 2016 г. Петрозаводск. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С. 266–267.
- Яворская Н.М. 2017.** Содержание фотосинтетических пигментов в водорослях перифитона протоки Амурской (Хабаровский край) // Региональные проблемы. Т. 20, № 1. С. 5–10.
- Яворская Н.М., Климин М.А. 2019.** Зообентос реки Правая (заказник «Хехцирский», Хабаровский край) // Вестник ДВО РАН. № 1. С. 34–43.
- Jeffrey S.W., Humphrey G.F. 1975.** New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c*<sub>1</sub> and *c*<sub>2</sub> in higher plants algae and natural phytoplankton // Biochem. Physiol. Pflanz. V. 167. № 2. P. 191–194.
- Margalef R. 1960.** Valeur indicatrice de la composition des pigment du phytoplankton sur la productivite, composition taxonomique et proprietes dynamiques des populations // Rapp. et process – verbaus reunions. Commiss. Intern. Explorat Sci. Mer. Mediterranee. № S. V. 15, fasc. 2. P. 277–281.
- Watson R.A., Osborne P.L. 1979.** An algal pigment ratio as an indicator of the nitrogen supply to phytoplankton in three Norfolk broads // Freshwater Biol. V. 9. N6. P. 585–594.