

## ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПИГМЕНТЫ ВОДОРΟΣЛЕЙ ПЕРИФИТОНА ВОДОТОКОВ ЗАПОВЕДНИКА «БАСТАК» (ЕВРЕЙСКАЯ АВТОНОМНАЯ ОБЛАСТЬ)

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. Серышева, 60, г. Хабаровск, 680038, Россия

Получены первые данные о пигментных характеристиках водорослей перифитона в водотоках заповедника «Бастак» (ЕАО). Установлено, что в пигментном фонде преобладали хлорофиллы, основу его составлял хлорофилл *a* (70–82 %). Выявлена большая изменчивость содержания фотосинтетических пигментов водорослей перифитона в водотоках в зависимости от гидрометеорологических условий. Отмечено, что сезонная динамика пигментов имела циклический характер. Так, весной и в начале лета, непосредственно до прохождения паводков, наблюдалось увеличение содержания пигментов, а во время паводков в середине лета, а также осенью, после их прохождения, концентрация пигментов существенно снижалась. Трофический статус водотоков по средневзвешенным за вегетационный период значениям содержания хлорофилла *a* ( $45,5 \pm 9,4$  мг/м<sup>2</sup>) оценивался как евтрофный (третий–четвертый классы качества, воды от умеренно-загрязненных до загрязненных).

## PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN PERIPHYTON ALGAE OF WATER COURSES OF THE BASTAK RESERVE (JEWISH AUTONOMOUS REGION)

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 Str., Khabarovsk, 680000, Russia. E-mail:

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

<sup>2</sup>Federal State Budgetary Institution «Zapovednoe Priamurye», 60 Seryshev Str., Khabarovsk 680038, Russia

The first data on the pigment characteristics of periphyton algae in the watercourses of the Bastak Nature Reserve (Jewish Autonomous Region) have been obtained. It has been established that chlorophylls predominated in the pigment pool, mainly chlorophyll *a* (70–82 %). High variability in the content of photosynthetic pigments of periphyton algae in the watercourses was revealed depending on hydrometeorological conditions. It was noted that the seasonal dynamics of pigments had a cyclical nature. Thus, in spring and early summer, immediately before the floods, an increase in the pigment content was observed, and during the floods in mid-summer, as well as in autumn, after their passage, the pigment concentration significantly decreased. The trophic status of the watercourses, based on the average weighted values of chlorophyll *a* content for the growing season ( $45.5 \pm 9.4$  mg/m<sup>2</sup>), was assessed as eutrophic (third–fourth quality classes, water from moderately polluted to polluted).

### Введение

В лотических системах Дальнего Востока доминируют прикрепленные водоросли (фитоперифитон, эпифитон), способные выдерживать воздействие потока воды. Альгоценозы обрастаний характерны для малых рек, где наличие твердого

субстрата и высокие скорости течения ограничивают развитие других экологических группировок водорослей (Комулайнен, 2004; Медведева, Семенченко, 2019). Перифитон – это специфическая экологическая группировка гидробионтов, жизнедеятельность которых протекает на разделе жидкой (вода) и твердой (субстрат различного характера и происхождения) фаз, в сообществах которых прикрепленные формы являются эдафирующими (Протасов, 1994). Во многих реках перифитон представляет собой единственный источник первичной продукции (Алимов, 1989). Изучение растительных пигментов, прежде всего хлорофилла, – одно из направлений продукционных работ. В современных гидробиологических исследованиях выявляют закономерности пространственно-временного распределения концентрации хлорофилла как показателя биомассы, интенсивности фотосинтеза и первичной продукции органического вещества фитопланктона, фитоперифитона, микрофитобентоса, макрофитов. Интерес к пигментам обусловлен также первостепенной ролью фотосинтетического аппарата водных и наземных растений в адаптации к условиям внешней среды (Сигарева, Тимофеева, 2023). Помимо этого, перифитон служит источником пищи для многих беспозвоночных и позвоночных животных, участвует в самоочищении водоемов и водотоков и биотическом балансе водных экосистем.

Наши исследования выполнялись на основном Центральном участке заповедника «Бастак» (ЕАО), который охватывает юго-восточные отроги Буреинского хребта и северо-западную окраину Среднеамурской низменности в бассейнах рр. Тунгуска и Бира (левые притоки р. Амур). Климат ультраконтинентальный (Петров и др., 2000). Зима малоснежная и холодная, лето теплое и влажное. Гидрографическая сеть густая и представлена в основном водотоками длиной менее 20 км и незначительным количеством озер с площадью водного зеркала до 1 км<sup>2</sup>. Питание рек преимущественно дождевое, на его долю приходится до 70 % формирования объема стока. Водный режим рек характеризуется невыраженным весенним половодьем, летними и осенними паводками и летней и зимней меженью. Дождевые паводки обусловлены обильными дождями, начинаются со второй половины лета, отдельные, значительные паводки формируются не просто дождями, а так называемыми паводкообразующими дождями повышенной интенсивности (ливнями) или длительности (обложными). Количество дождевых паводков на отдельных реках может достигать 10, средняя продолжительность паводков на реках изменяется от 10 до 37 суток (Аношкин, 2018; Заповедник «Бастак»..., 2017).

Сведения о составе цианобактерий и водорослей заповедника «Бастак» представлены в работах Л.А. Медведевой, И.Н. Саватеева (2007), Л.А. Медведевой (2023, 2024, и др.). Изучение пигментных характеристик водорослей перифитона водотоков заповедника «Бастак» проведено впервые.

Цель настоящей работы – оценить трофический статус водотоков заповедника «Бастак» по содержанию фотосинтетических пигментов водорослей перифитона.

### Материал и методика

Материалом для настоящей работы послужили результаты исследований водорослей перифитона десяти водотоков заповедника «Бастак» в 2024 г.: рр. Мал. Сореннак, Сред. Сореннак, Бол. Сореннак, Бастак, Глинянка, Грязнушка, Митрофановка, руч. без названия-1, руч. без названия (около кордона 39 км), руч. без названия-2. В р. Митрофановка пробы отобраны в июле-сентябре, руч. без названия-2 – мае-июне, сентябре, руч. без названия-1 – в сентябре. На остальных

водотоках наблюдения проводили с мая по сентябрь, за исключением периода паводка в августе на р. Бастак (рис. 1).

Река Бастак относится к быстротекущим рекам заповедника. Протекает она в центральной его части. Берет начало в отрогах Буреинского хребта. В верховье – это горная река, в низовье – предгорная. Исток ее находится на высоте около 900 м. Уклон реки 11,4 м/км. Начиная от истока, примерно две трети длины реки имеют общее направление течения с севера на юг, затем направление меняется на юго-восточное. Площадь водосбора 202 км<sup>2</sup>, средняя скорость течения 0,47 м/сек. Ширина реки в верхнем течении 4–5 м, в устьевой части – 11–13 м. Глубина реки варьирует от 0,2–0,5 м в верхнем течении до 1–1,5 м в среднем и нижнем. Верхняя часть водосбора горно-холмистая, покрыта лесом, нижняя часть представляет собой сильно заболоченную равнину с безлесными маревыми участками (Макаренко, Бебешко, 2017). Цвет воды светло-желтый.

К равнинным рекам заповедника относится р. Глинянка. Течение плавное и спокойное, русло сильно меандрирующее. Образуется при слиянии двух небольших водотоков, берущих начало в Красных Сопках на высоте около 150 м, течет с северо-запада на юго-восток. Водосбор на 75–80 % заболочен и покрыт обширной кочковатой марью с болотной растительностью (Бебешко, Макаренко, 2016). Цвет воды темно-желтый.

Общая характеристика обследованных водотоков (Государственный водный реестр) заповедника «Бастак» представлена в таблице 1.

С глубины от 5 до 60 см доставали от 2 до 18 камней (или гальки) методом случайной выборки и с их поверхности щеткой счищали водоросли перифитона (Богатов, Федоровский, 2017). Водоросли перифитона концентрировали из определенного объема воды на обеззоленные фильтры – синяя лента (ТУ 6-09-1678-77).

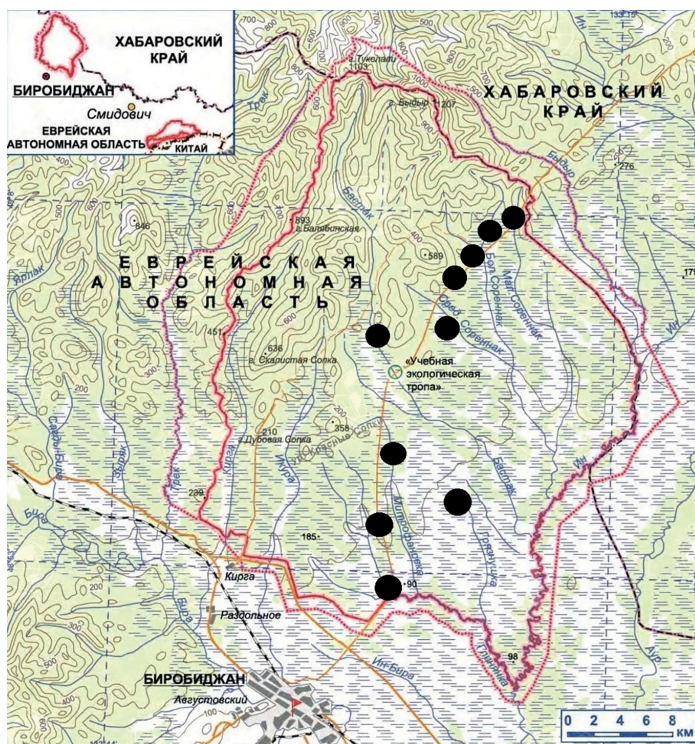


Рис. 1. Карта-схема заповедника «Бастак» с указанием мест отбора проб водорослей перифитона (взято из: <https://geoportal.rgo.ru/record/4616>)

Таблица 1

Основные характеристики обследованных водотоков заповедника «Бастак»

Водоток	Длина, км	Впадает	t <sub>воды</sub> , °C	Грунт дна; цвет воды
р. Бастак	52	С правого берега в р. Бол. Ин на 175 км от устья	5–10	Гравийно-галечный с примесью песка, встречаются валуны; вода прозрачная, в паводок мутная
р. Глинянка	30	С правого берега в р. Бол. Ин на 147 км от устья	10–20	Галечно-песчаный; темно-желтый
р. Бол. Сореннак	37	С правого берега в р. Бол. Ин на 182 км от устья	4–10,5	Гравийно-галечный с примесью песка, встречаются валуны; светло-желтый
р. Сред. Сореннак	Менее 10	С правого берега в р. Бол. Сореннак	4–15	Песчано-галечный, встречаются валуны; темно-желтый
р. Мал. Сореннак	28	С левого берега в р. Бол. Сореннак на 7 км от устья	3–13	Песчаный, встречается галька, валуны; светло-желтый
руч. без названия (кордон 39 км)	Менее 10	С правого берега в р. Бол. Сореннак	3–13	Песчаный, встречается гравий, галька, валуны; светло-желтый
руч. без названия-1	Менее 10	С правого берега в р. Бол. Сореннак	11	Песчано-галечный, встречаются валуны, светло-желтый
руч. без названия-2	Менее 10	С левого берега в р. Глинянка	1–13,5	Песчаный с примесью гравия и гальки; светло-желтый
р. Митрофановка	24	С левого берега в р. Глинянка на 17 км от устья	9,5–17	Песчаный, встречается гравий и галька; светло-желтый
р. Грязнушка	17	С левого берега в р. Глинянка на 8 км от устья	4–15,5	Песчано-галечный, встречаются валуны; темно-желтый

Пигменты анализировали по стандартной спектрофотометрической методике с учетом методических уточнений (ГОСТ 17.1.4.02-90; Климин, Сиротский, 2005). Содержание пигментов водорослей перифитона определяли на спектрофотометре UV мини-1240 фирмы Shimadzu на базе Центра коллективного пользования при ИВЭП ДВО РАН. Всего обработана 41 проба водорослей перифитона.

Расчет концентрации хлорофиллов *a* (С хл *a*), *b* (С хл *b*), *c* (С хл *c*), каротиноидов (С *k*), индекса Маргалефа ( $I_{430/664}$ ) и пигментного отношения ( $O_{480/664}$ ) проводили по формулам (ГОСТ 17.1.4.02-90; Jeffrey, Humphrey, 1975; Watson, Osborne, 1979). Расчет первичной продукции и определение трофического статуса выполняли согласно уравнениям (Винберг, 1960; Бульон, 1983). Оценка качества воды по трофическому статусу и содержанию хлорофилла *a* в водорослях перифитона в водотоках осуществлена соответственно классификации (Сиротский, Юрьев, 2000). После знака «±» приведена стандартная ошибка (ошибка средней).

Результаты и обсуждение

Хлорофилл *a* вмещает в себя все без исключения растительные фотосинтезирующие клетки. Он считается универсальным эколого-физиологическим маркером, который характеризует биомассу, фотосинтетическую активность, продукционные



возможности водорослей, а также экологическое состояние водоема. Присутствие дополнительных пигментов специфично для различных систематических групп. Хлорофилл *b* составляет примерно треть общего количества хлорофилла у высших растений и зеленых водорослей; хлорофилл *c* находится в клетках диатомовых, золотистых, динофитовых, криптофитовых и бурых водорослей. Цианопрокариоты (цианобактерии или синезеленые водоросли) содержат только хлорофилл *a*, а также синие пигменты фикобилины (фикоцианин и фикоэритрин) (Крылов и др., 2024).

Результаты измерений концентраций фотосинтетических пигментов водорослей перифитона в реках и ручьях заповедника «Бастак» представлены в таблице 2.

Основной вклад в суммарное содержание хлорофиллов вносил основной пигмент зеленых растений хлорофилл *a* (80 %), что является типичным для водорослей перифитона предгорных рек ДВР (Сиротский, 2014 и др.; Яворская, 2017; Яворская, Климин, 2019, 2021, 2023). Самое высокое его количество отмечалось в июне–июле и сентябре (по 82 %) – непосредственно в меженный период. Такие величины характерны для горных и предгорных рек (Богатов, 1994).

Дополнительные пигменты не участвуют в фотосинтетических реакциях, но играют роль дополнительных светосборщиков, передающих поглощенную световую энергию хлорофиллу *a*, благодаря чему более полно используется видимый спектр (Крылов и др., 2024). Содержание дополнительных пигментов не превышало количества основного пигмента, причем было значительно ниже. Высокий уровень хлорофилла *b* наблюдался в мае–июне и немного возрастал в августе после паводка, хлорофилла *c* – в мае–июне, что характеризуется составом водорослей перифитона. Согласно Н.А. Гаевскому (2003), это позволяет выделить группу зеленых, эвгленовых, харовых, содержащих хлорофилл *a* и хлорофилл *b*, и группу ксантофитовых и рафидофитовых с хлорофиллом *a* и хлорофиллом *c*.

Состав желтых пигментов каротиноидов многообразен (в природных системах идентифицировано около 500 желтых пигментов) и специфичен. Каротиноиды

Таблица 2

**Среднее содержание пигментов, пигментного отношения и пигментного индекса водорослей перифитона в водотоках заповедника «Бастак»**

Водоток	C хл <i>a</i> , мг/м <sup>2</sup>	C хл <i>b</i> , мг/м <sup>2</sup>	C хл <i>c</i> , мг/м <sup>2</sup>	C <i>k</i> , мг/м <sup>2</sup>	O <sub>480/664</sub>	I <sub>430/664</sub>
р. Бастак	25,5 ± 15,0	2,2 ± 0,9	2,3 ± 1,5	17,6 ± 10,5	0,8 ± 0,02	2,3 ± 0,1
р. Глинянка	29,3 ± 8,6	6,5 ± 2,0	2,6 ± 1,1	16,1 ± 5,2	0,6 ± 0,1	2,1 ± 0,1
р. Бол. Сореннак	50,9 ± 25,8	4,7 ± 2,5	7,5 ± 3,9	29,7 ± 17,0	0,6 ± 0,1	2,2 ± 0,1
р. Сред. Сореннак	50,2 ± 22,5	9,0 ± 6,9	4,1 ± 1,9	29,3 ± 14,3	0,6 ± 0,1	2,0 ± 0,1
р. Мал. Сореннак	51,8 ± 30,1	3,8 ± 2,7	5,0 ± 3,4	29,2 ± 17,4	0,6 ± 0,1	1,9 ± 0,03
руч. без названия (кордон 39 км)	41,8 ± 26,1	2,2 ± 1,7	2,6 ± 1,8	17,5 ± 10,4	0,5 ± 0,1	1,9 ± 0,2
руч. без названия-1	1,8	0,02	0,2	0,9	0,6	2,2
руч. без названия-2	62,1 ± 26,9	9,0 ± 3,2	7,1 ± 3,5	33,0 ± 13,8	0,6 ± 0,01	2,1 ± 0,1
р. Митрофановка	1,3 ± 0,6	0,1 ± 0,05	0,3 ± 0,1	1,2 ± 0,3	1,4 ± 0,5	3,9 ± 1,1
р. Грязнушка	90,2 ± 54,3	20,0 ± 10,8	9,4 ± 6,4	63,3 ± 42,9	0,6 ± 0,1	1,8 ± 0,1

образуются *de novo* только у растений и фотосинтезирующих бактерий, а животные приобретают каротиноидную пигментацию при потреблении пищи. Растительные каротиноиды выполняют светособирающую, светозащитную и стабилизирующую функции, предохраняя хлорофилл от фотоокисления (Крылов и др., 2024). Этим объясняется рост каротиноидов в водотоках заповедника в начале летнего периода в период межени. Содержание каротиноидов в водорослях перифитона изменялось соответственно хлорофиллу *a* и не превышало его уровня, что указывает на нормальное соотношение пигментов и свидетельствует о физиологическом благополучии водорослей перифитона, так же, как и фитопланктона водоемов (Беляева, 2014; Минеева, 2020). Преобладание хлорофиллов в общем пигментном фонде рассматривают как признак улучшения физиологического состояния водорослей, связывая его с более высокой обеспеченностью биогенным питанием, в частности азотом, что соответствует особенностям евтрофных вод (Минеева, 2009). По соотношению желтых и зеленых пигментов водотоки заповедника «Бастак» относятся к водотокам «хлорофильного» типа, в которых содержание хлорофилла выше, чем каротиноидов, и соответствует направленности метаболизма сообщества или баланса органического вещества в экосистеме: отрицательный (первичная продукция ниже деструкции) (Бокова, 1988).

Помимо абсолютного и относительного содержания фотосинтетических пигментов в водных объектах важное биоиндикационное значение имеют пигментные индексы, отражающие физиологическое состояние фитопланктона и развитие продукционных / деструкционных процессов в водоеме (Кутявина, 2024). В водотоках заповедника значения индекса Маргалефа изменялись от 1,4 до 6,0 (в среднем 2,2), т. е. водоросли перифитона находились в состоянии физиологического благополучия. Величиной 6,0 этот индекс характеризовался для песчаного дна р. Митрофановка, что, вероятно, связано с более быстрой деградацией хлорофилла на аэрируемых песчаных участках (Минеева, 2004). Величина пигментного отношения в реках и ручьях заповедника колебалась от 0,3 (руч. без названия, кордон 39 км, июль) до 2,3 (р. Митрофановка, август), составив в среднем 0,7. Полученные значения индексов говорят о высоком разнообразии водорослей перифитона с преобладанием в них жизнеспособных активных клеток и достаточном обеспечении их минеральным азотным питанием.

Известно, что для рек, расположенных в зоне муссонного климата, основную роль в динамике концентрации фотосинтетических пигментов играет гидрологический режим водотоков (Богатов, Федоровский, 2017). Даже во время кратковременного паводка средней силы (при подъеме воды более 0,5 м) русло рек быстро освобождается от водорослевых обрастаний грунта. В связи с изложенным, в водотоках заповедника «Бастак» содержание фотосинтетических пигментов водорослей перифитона тесно связано с периодами прохождения летних паводков, при этом рост концентрации пигментов не совпадал с летним повышением температуры воды (рис. 2).

Самые высокие концентрации пигментов зафиксированы в мае и июне, когда средняя температура воды в реках составляла 4 °C и 8,9 °C, в июле средняя температура воды повысилась до 14 °C, при этом содержание пигментов резко упало в результате прохождения дождевого паводка. Только осенью во многих реках и ручьях заповедника наблюдалось одновременное снижение и средней температуры воды (до 11 °C) и содержания фотосинтетических пигментов водорослей перифитона. Строго говоря, естественный ход температуры в водоемах связан

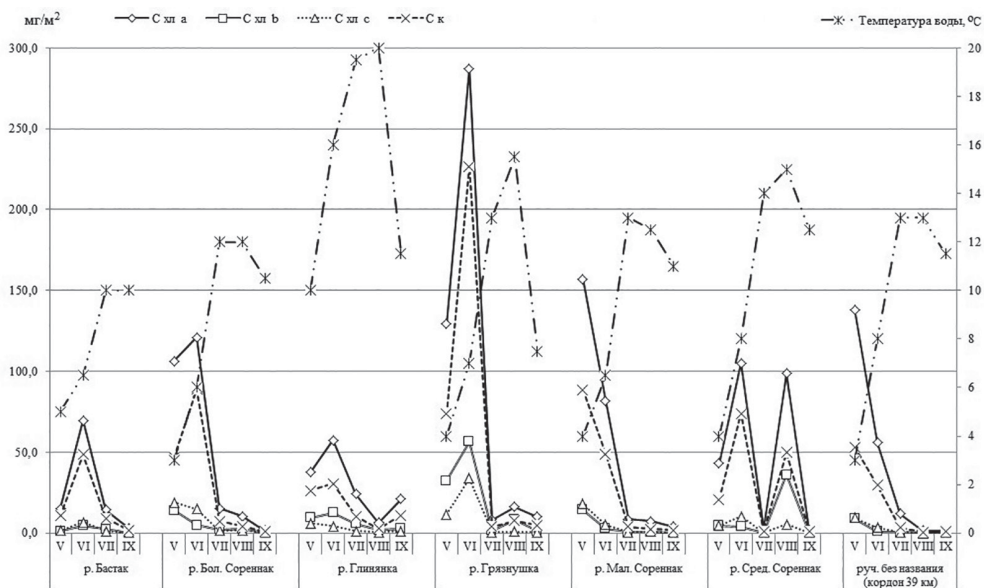


Рис. 2. Сезонная динамика концентрации хлорофиллов а, b, c, каротиноидов k и температуры воды в водотоках заповедника «Бастак»

с изменяющейся по сезонам интенсивностью солнечной радиации, поэтому в них трудно выделить влияние именно фактора температуры (Протасов, 1994).

Свет, как известно, является одним из наиболее важных абиотических факторов, контролирующих уровень первичной продукции перифитона в реках (Hill et al., 1995). Водное зеркало многих водотоков заповедника плотно закрыто пологом деревьев. В наших исследованиях как в сильно затененных водотоках (рр. Мал. Сореннак, Сред. Сореннак, Митрофановка, руч. без названия (кордон 39 км), руч. без названия-1), так и в незатененных, содержание пигментов стремительно снижалось только в периоды прохождения паводковых вод летом. Установлено, что для дальневосточных рек отмечается отрицательный баланс органических веществ, в т. ч. и в области ритрали, что не соответствует положениям концепции речного континуума (Богатов, 1994).

Самой высокой цветностью, а, следовательно, и наибольшей продуктивностью, характеризовалась р. Грязнушка. Цветность обусловлена присутствием гуминовых соединений, которые ухудшают световые условия и трудно поддаются биологическому окислению, однако, подобно гиббереллинам, могут стимулировать развитие водорослей. Окрашенное растворенное органическое вещество может стать доступным для водорослей после микробной или фотохимической деструкции. Добавление его в воду может стимулировать рост водорослей, меняя доступность азота, фосфора и неорганического углерода (Гусева, 1966; Минеева, 2012; Харкевич, 1960; Guminski, 1983; и др.). Сезонная динамика концентрации пигментов водорослей перифитона в р. Грязнушка не отличалась от динамики пигментов в остальных реках заповедника: июнь характеризовался самым большим подъемом, в июле их количество резко упало, в августе был отмечен слабый рост, и в сентябре их концентрация вновь пошла на убыль.

Как видим, в сезонном цикле максимальные показатели концентрации пигментов водорослей перифитона в реках и ручьях заповедника преобладали в весенне-летней межени (май–июнь). В июле, после прохождения дождевых паводков, произошло резкое их снижение, но окончательный спад наступил осенью,

за исключением небольшого подъема в августе в реках Сред. Сореннак и Грязнушка, а также в сентябре – в р. Глинянка. В свою очередь, во всех водотоках, за исключением р. Мал. Сореннак и руч. без названия (кордон 39 км), в июне отмечена высокая концентрация каротиноидов, что связано с избыточной освещенностью у поверхности, учитывая светозащитную функцию каротиноидов.

Трофический статус водотоков заповедника «Бастак» по средневзвешенным за вегетационный период значениям содержания хлорофилла *a* ( $45,5 \pm 9,4$  мг/м<sup>2</sup>) оценивался как евтрофный (третий-четвертый классы качества, воды от умеренно-загрязненных до загрязненных). Показано, что в водотоках заповедника пигментные характеристики изменялись в тесной взаимосвязи с основным пигментом. Это отражает общебиологические закономерности фотосинтетической продуктивности альгоценозов (Минеева, 2004). Нами выявлено, что на территории Еврейской автономной области трофический статус лососевых рек и ключей, расположенных рядом с Тепловским рыбоводным заводом (пр. оз. Теплое, р. Бира) и Биджанским (ключи Лопатин, Федоткин, Большой) по среднему содержанию хлорофилла *a*, соответственно, 76,6 мг/м<sup>2</sup> и 68,3 мг/м<sup>2</sup>, оценивались как «политрофные». Так, содержание хлорофиллов *b* и *c* в протоке оз. Теплое (р. Тепловка) и р. Бира составляло, соответственно, 27,0 и 1,7; 13,9 и 3,6 мг/м<sup>2</sup>, каротиноидов – 83,3 и 22,0 SPU/м<sup>2</sup> (Яворская, Макаrenchенко, 2016). Водотоки заповедника «Бастак» по трофическому статусу оказались сопоставимы только с реками заказника «Хехцирский» (Яворская, Климин, 2019).

Установлено, что первичная продукция водорослей перифитона резко снижается в периоды паводков, приходящихся в зоне муссонного климата на июль–август. Регулирующая роль паводка в развитии сообществ перифитона для горных рек Северной Америки, Канады, Японии, Нижнего Амура отмечается в ряде работ (Tominaga, Ichimura, 1966; Сиротский, Медведева, 1996; Сиротский и др., 2011). Так, трофический статус рек Бол. Сореннак и Мал. Сореннак изменялся от гипертрофного в межень (май, июнь) до олиготрофного (июль–сентябрь), р. Митрофановка и руч. без названия-1 характеризовался как олиготрофный (первый класс качества, воды очень чистые), рр. Бастак и Глинянка – как мезотрофный (второй класс качества, воды чистые), руч. без названия (кордон 39 км) – слабо евтрофный (третий класс качества, воды умеренно-загрязненные), р. Сред. Сореннак и руч. без названия-2 – сильно евтрофный (четвертый класс качества, воды загрязненные). Наиболее продуктивной оказалась р. Грязнушка, имеющая гипертрофный трофический статус (шестой класс качества, воды очень грязные). Выяснено (Розенберг, 2014), что высокопродуктивные сообщества формируются в евтрофных озерах и водохранилищах при высокой концентрации азота и фосфора. По соотношению желтых и зеленых пигментов К/Хл *a* в большинстве случаев евтрофные воды можно условно назвать «хлорофильными», мезотрофные – «каротиноидными» (Минеева, 2009). Годовые показатели продукции водорослей перифитона в реках и ручьях заповедника находились в пределах от 10 до 5033 г С/м<sup>2</sup> или от 118 до 58 882 ккал/м<sup>2</sup>, средние – 797 г С/м<sup>2</sup> или 9325 ккал/м<sup>2</sup>.

### Заключение

Впервые для водотоков заповедника «Бастак» проведено определение пигментных характеристик водорослей перифитона. Концентрация хлорофилла *a* варьировала от 0,6 мг/м<sup>2</sup> (р. Митрофановка, август) до 287,3 мг/м<sup>2</sup> (р. Грязнушка, июнь). Среди зеленых пигментов водорослей перифитона преобладал



хлорофилл *a* (70–82 %). Относительное соотношение хлорофиллов (*a* : *b* : *c*) (80:12:8) подчеркивало стабильную структуру пигментного комплекса. Средние величины пигментного отношения (0,7) и индекса Маргалефа (2,2) указывали на физиологическое благополучие водорослей перифитона.

Общий характер сезонной динамики концентрации фотосинтетических пигментов водорослей перифитона определялся гидрологическими условиями, в первую очередь, особенностями водотоков, температура оказывала умеренное воздействие, поэтому длительные наблюдения на реках всегда вызывают большой интерес. В частности, для р. Сред. Сореннак, с присущим ей темно-желтым цветом воды, отмечено два пика роста концентрации пигментов (июнь, август). Наибольшее количество максимумов пигментов пришлось на лето (57 %) и весну (40 %) и совпали с периодом межени, минимальные – на осень (4 %) после продолжительных паводков. Неблагоприятные условия, при которых разрушался хлорофилл *a*, но одновременно происходило относительное накопление каротиноидов, отмечены в июне.

Трофический статус рек колебался от олиго- до гипертрофного, ручьев – от олиго- до сильно евтрофного. По содержанию хлорофилла *a* в водорослях перифитона и величин первичной продукции водотоки заповедника относятся к высокопродуктивным, что говорит о достаточном содержании биогенных соединений, среди которых наибольшее значение имеют общие формы азота и фосфора.

### Благодарности

Авторы очень благодарны всем сотрудникам заповедника «Бастак» за организацию и помощь в проведении экспедиционных работ на территории ООПТ.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121021500060-4), выполняемого ИВЭП ДВО РАН, и темы НИОКТР № 122080200102-0, выполняемой ФГБУ «Заповедное Приамурье».

### Литература

- Алимов А.Ф. 1989. Введение в продукционную гидробиологию. Л.: Гидрометеоздат. 152 с.
- Аношкин А.В. 2018. Внутренние воды. В кн.: География Еврейской автономной области: общий обзор. ИКАРП ДВО РАН. С. 51–80.
- Бebesшко Т.В., Макаренко В.П. 2016. Реки заповедника Бастак // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. № 3(24). С. 9–13.
- Беляева П.Г. 2014. Трофический статус Камского водохранилища по фитопланктону в летний период // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 16, № 5. С. 244–248.
- Богатов В.В. 1994. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука. 218 с.
- Богатов В.В., Федоровский А.С. 2017. Основы речной гидрологии и гидробиологии. Владивосток: Дальнаука. 384 с.
- Бокова И.К. 1988. Пигментные характеристики фитопланктона водоемов бассейна оз. Байкал. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск. 24 с.
- Бульон В.В. 1983. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука. 150 с.
- Винберг Г.Г. 1960. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во АН БССР. 329 с.
- Гаевский Н.А. 2003. Критерии и методология оценки структурно-функционального состояния альгоценоза на основе флуоресцентного анализа. Автореф. дис. докт. биол. наук. Красноярск. 40 с.
- ГОСТ 17.1.04.02–90. 1990. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. М.: Издательство стандартов. 14 с.
- Государственный водный реестр: <http://textual.ru/gvr/index.php?card>
- Гусева К.А. 1966. Мутность и цветность воды Рыбинского водохранилища как химические факторы в развитии фитопланктона // Растительность волжских водохранилищ. М.; Л. С. 64–76.
- Заповедник «Бастак»: история создания и природа. Фотоальбом. 2017. Хабаровск: Антар. 64 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.

- Комулайнен С.Ф. 2004. Экология фитоперифитона малых рек Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: Изд-во Карельск. науч. центра РАН. 182 с.
- Крылов А.В., Барышев И.А., Безматерных Д.М. и др. 2024. Методы гидробиологических исследований внутренних вод. Борок, Ярославская обл.: ИБВВ РАН; Ярославль: Филигрань. 592 с.
- Кутявина Т.И. 2024. Пигментные характеристики фитопланктона Белохолуницкого и Омутнинского водохранилищ // *Принципы экологии*. № 2. С. 28–39. DOI: 10.15393/j1.art.2024.14762
- Макаренко В.П., Бебешко Т.В. 2017. Первые сведения о морфометрии и гидрологии реки Бастак // *Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема*. № 3 (28). С. 62–66.
- Медведева Л.А. 2023. Новые сведения о составе цианобактерий и водорослей заповедника «Бастак» // *Региональные проблемы*. Т. 26, № 1. С. 36–44. DOI: 10.31433/2618-9593-2023-26-1-36-44.
- Медведева Л.А. 2024. Дополнительные материалы к флоре диатомовых водорослей (Bacillariophyta) заповедника «Бастак» // *Региональные проблемы*. Т. 27, № 1. С. 78–87. DOI: 10.31433/2618-9593-2024-27-1-78-87.
- Медведева Л.А., Саватеев И.Н. 2007. Водоросли // Флора, микобиота и растительность заповедника «Бастак». Владивосток: Дальнаука. С. 37–82.
- Медведева Л.А., Семенченко А.А. 2019. Структурные и количественные особенности сообществ фитоперифитона в водотоках бассейна реки Зeya (Амурская область) // *Биология внутренних вод*. № 1. С. 23–30. DOI: 10.1134/S0320965219010145
- Минеева Н.М. 2004. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М.: Наука. 156 с.
- Минеева Н.М. 2009. Первичная продукция планктона в водохранилищах Волги. Ярославль: Принтхаус. 279 с.
- Минеева Н.М. 2012. Первичная продукция планктона и деструкция органического вещества в водохранилищах Волги // *Матер. V Всерос. симпозиума с междунар. участием «Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах»*. 10–14 сентября 2012 г., г. Петрозаводск. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С. 117–121.
- Минеева Н.М. 2020. Пигментный состав фитопланктона и его многолетняя динамика в водохранилищах Верхней Волги // *Вопросы современной альгологии*. 2020. № 2 (23). С. 74–78. DOI: 10.33624/2311-0147-2020-2(23)-74-78
- Петров Е.С., Новороцкий П.В., Леншин В.Т. 2000. Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области. Владивосток–Хабаровск: Дальнаука. 174 с.
- Протасов А.А. 1994. Пресноводный перифитон. Киев: Наукова Думка. 307 с.
- Розенберг Г.С. 2014. Экологический мониторинг. Ч. VIII. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского гос. ун-та. 374 с.
- Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А. 2023. Пигментные характеристики макрофитов Рыбинского водохранилища // *Биология внутренних вод*. № 3. С. 420–424.
- Сиротский С.Е. 2014. Фотосинтетические пигменты в перифитоне водотоков бассейнов рек Зeya и Бурея // *Чтения памяти Владимира Яковлевича 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., Медведева Л.А., Пархомук Ю.В. 2011. Трофический статус некоторых водотоков бассейна реки Тимптон (Южная Якутия) // *Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова*. Вып. 5. Владивосток: Дальнаука. С. 483–487.
- 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.
- Харкевич Н.С. 1960. Материалы по малым лесным озерам (ламбинам) Карелии // *Труды Карельск. фил. АН СССР*. Т. 27. Петрозаводск. С. 70–133.
- 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. Содержание фотосинтетических пигментов в водорослях перифитона малых рек заказника «Хехцирский» (Хабаровский край) // *Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова*. Вып. 8. Владивосток: Дальнаука. С. 190–197. DOI: org/10.25221/levanidov.08.20
- Яворская Н.М., Климин М.А. 2021. Пигментные характеристики водорослей перифитона и их использование для оценки состояния водотоков заповедника «Большехехцирский» (Хабаровский

край) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып. 9. Владивосток: Дальнаука. С. 226–242. DOI: [org/10.25221/levanidov.09.25](https://doi.org/10.25221/levanidov.09.25)

**Яворская Н.М., Климин М.А. 2023.** Многолетняя динамика пигментных характеристик водорослей перифитона протоки Амурская реки Амур (Хабаровский край) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып. 10. Владивосток: Дальнаука. С. 291–299. DOI: [org/10.25221/levanidov.10.26](https://doi.org/10.25221/levanidov.10.26)

**Яворская Н.М., Макаrenchенко Е.А. 2016.** Современное состояние оз. Теплое по гидробиологическим показателям (Еврейская автономная область) // Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата: VI Дружининские чтения: мат. всеросс. конф. с междунар. участием. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН. С. 97–99.

**Guminski S. 1983.** Outline of the history of studies of the effect of humic compounds on algae // *Oceanologia*. V. 17. P. 9–18.

**Hill W.R., Ryon M.G., Schilling E.M. 1995.** Light limitation in a stream ecosystem: responses by primary producers and consumers // *Ecology*. V. 76. P. 1297–1309.

**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.

**Tominaga H, Ichimura S. 1966.** Ecological studies on the organic matter production in a mountain river ecosystem // *Botanical Magazine (Tokio)*. V. 79. P. 815–829.

**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 Biology*. V. 9, № 6. P. 585–594.