

**МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПИГМЕНТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОРΟΣЛЕЙ ПЕРИФИТОНА
ПРОТОКИ АМУРСКАЯ РЕКИ АМУР (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)**

Н.М. Яворская^{1,2}, М.А. Климин¹

¹Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,

ул. Дикопольцева, 56, г. Хабаровск, 680000, Россия. E-mail: yavorskaya@ivep.as.khb.ru, m_klimin@bk.ru

²ФГБУ «Заповедное Приамурье», ул. Серышева, 60, г. Хабаровск, 680038, Россия

В результате многолетних исследований содержания фотосинтетических пигментов в водорослях перифитона в протоке Амурская р. Амур в период высокой водности установлено, что в пигментном фонде преобладают хлорофиллы, основу его составляет хлорофилл *a* (68 %). Межгодовая и сезонная динамика фотосинтетических пигментов имеет циклический характер, при котором увеличение их содержания наблюдается весной и осенью, после прохождения паводков и установления межени, а снижение происходит летом во время паводков. Трофический статус протоки по средневзвешенным за вегетационные периоды значениям концентрации хлорофилла *a* оценивается как мезотрофный (второй класс качества, воды чистые). Протока Амурская, ранее отнесенная к водотоку гиперэвтрофного типа, сменила статус на эвтрофный.

**LONG-TERM DYNAMICS OF PERIPHYTON ALGAE PIGMENT
CHARACTERISTICS OF THE AMURSKAYA CHANNEL
OF THE AMUR RIVER (KHABAROVSK TERRITORY)**

N.M. Yavorskaya^{1,2}, M.A. Klimin¹

¹Institute of Water and Ecological Problems FEB RAS,

56 Dikopoltsev St., Khabarovsk, 680000, Russia. E-mail: yavorskaya@ivep.as.khb.ru, m_klimin@bk.ru

²Federal State Budgetary Institution «Zapovednoe Priamurye», 60 Seryshev St., Khabarovsk 680038, Russia

As a result of long-term studies of the content of photosynthetic pigments in periphyton algae in the Amurskaya channel of the Amur River during a period of high water level, it was found that chlorophylls predominate in the pigment fund, its basis is chlorophyll *a* (68 %). The interannual and seasonal dynamics of photosynthetic pigments has a cyclical nature, in which an increase in their content is observed in spring and autumn, after the passage of floods and the establishment of low water, and a decrease occurs in summer during floods. The trophic status of the channel according to the weighted average values of chlorophyll *a* concentration over the growing seasons is estimated as mesotrophic (second quality class, clean waters). The Amurskaya channel, previously classified as a hypereutrophic watercourse, changed its status to eutrophic.

Введение

Растительные пигменты являются предметом исследования многих научных дисциплин на различных уровнях организации – от молекулярного до биосферного. В гидробиологии сведения о пигментах необходимы для понимания механизма

продукционных процессов в водоемах, а также для оценки и прогнозирования изменения состояния экосистем с целью их охраны и рационального использования. Большинство работ, связанных с определением растительных пигментов, выполнено на фитопланктоне в лентических системах, меньше всего работ по рекам (Сигарева, Тимофеева, 2005; Сигарева и др., 2011; Кадочникова, Беляева, 2017). Достаточно редко в мониторинге используются водоросли перифитона. Несмотря на то, что главная роль в функционировании пресноводных экосистем принадлежит фитопланктону, фитоперифитон вносит свой существенный вклад в суммарную первичную продукцию водоемов, иногда достигающий 50–70 % (Макаревич, 2005; Метелева, 2017). 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). Вместе с тем, пигментные характеристики водорослей перифитона р. Амур изучены недостаточно, а сведения о них единичны (Яворская, 2017).

В 2009 г. на р. Амур наступил и продолжается до настоящего времени период высокой водности. Он характеризуется самыми мощными в истории паводками и наибольшими амплитудными изменениями максимальных уровней и расходов воды (Махинов, Ким, 2020). Количественные продукционные характеристики фитопланктона и водорослей перифитона, связанные с уровнем режимом водной системы Нижнего Амура, необходимы для решения хозяйственных прикладных задач, входящих в круг проблем рационального использования водных ресурсов бассейна р. Амур, а также для проведения биогеохимической экспертизы водных экосистем (Теоретические основы..., 1998).

Цель работы – определить трофический статус и качество воды в протоке Амурская в период высокой водности по содержанию фотосинтетических пигментов в водорослях перифитона.

Материал и методика

Протока Амурская, протяженностью 70 км, с правого берега впадает в р. Амур напротив центральной части г. Хабаровск (Шабалин, 1966) (рис. 1).

Климат территории Хабаровского края формируется под влиянием муссонных процессов (Петров и др., 2000). Весна в басс. Нижнего Амура начинается с середины апреля–начала мая, а осень – со второй половины сентября–начала октября (Лоция..., 1968). Между весенним половодьем и летними дождевыми паводками разрыва по времени в большинстве случаев не бывает. Периоды низких уровней и относительно малый сток наблюдаются лишь в промежутках между отдельными паводками, масштабы и продолжительность которых в разные годы могут существенно различаться (Теоретические основы..., 1998). Уровень 4,50 м – это выход воды на пойму, уровень 6,00 м – это опасное явление по градации МЧС, уровень 8,08 м – это максимальный уровень воды на водомерном пункте во время катастрофического наводнения на Амуре в 2013 г. (Махинов и др., 2020). В период летней межени прозрачность воды для р. Амур колеблется от 0,5 до 1,5 м. С интенсивным подъемом уровня воды в реке прозрачность снижается до 0,1–0,2 м, что связано с увеличением мутности воды в этот период. При выходе паводковой воды на пойму количество взвешенных частиц уменьшается, и прозрачность воды начинает возрастать. На спаде паводковой волны она достигает величин, характерных для летней межени (Теоретические основы..., 1998).



Рис. 1. Карта-схема протоки Амурская с указанием места сбора материала

Количественные пробы водорослей перифитона отбирали с правого берега протоки Амурская с 2016 по 2022 г. ежемесячно в период открытой воды, во время шугохода и ледохода, за исключением периодов высокого уровня воды, в т.ч.: апрель, июнь–октябрь 2016, апрель–ноябрь 2017 г., апрель–июль, сентябрь–ноябрь 2018 г., апрель–июль, октябрь–ноябрь 2019 г., апрель–август, ноябрь 2020 г., апрель, сентябрь–ноябрь 2021 г., апрель–июнь, сентябрь–ноябрь 2022 г. Преобладающий характер грунта – средняя и мелкая галька с примесью песка и глины.

Методом случайной выборки с глубины 0,05–0,3 м доставали 3–11 камней (гальки), с которых в определенном объеме воды щеткой счищали водоросли перифитона. Для количественной оценки поселений водорослей определяли площадь проекции каждого камня (Богатов, Федоровский, 2017). Водоросли перифитона концентрировали из 0,28 л воды на обеззоленные фильтры синяя лента (ТУ 6-09-1678-77). Пигменты анализировали по стандартной спектрофотометрической методике с использованием методических уточнений (ГОСТ 17.1.4.02-90; Климин, Сиротский, 2005). Измерения выполняли с помощью спектрофотометра UV мини-1240 фирмы Shimadzu на базе Центра коллективного пользования при ИВЭП ДВО РАН. Всего обработано 47 проб водорослей перифитона.

Концентрацию хлорофиллов a (С хл a), b (С хл b), c (С хл c), каротиноидов (С k), пигментный индекс ($I_{430/664}$) и пигментное отношение ($O_{480/664}$) рассчитывали по соответствующим формулам (ГОСТ 17.1.4.02-90; Jeffrey, Humphrey, 1975; Watson, Osborne, 1979). После знака «±» приведена стандартная ошибка (ошибка средней). 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 проведена по соответствующей классификации (подробно см. Сиротский, Юрьев, 2000). Определение моллюсков выполнила к.б.н. Е.М. Саенко (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН), за что авторы ей очень благодарны.

Результаты и обсуждение

Хлорофилл *a* выполняет функцию основного светосборщика, хлорофилл *b*, хлорофилл *c* и каротиноиды расширяют спектр поглощения, делая доступной для фотосинтеза большую часть энергии видимого света. Кроме того, каротиноиды играют светозащитную и стабилизирующую роль для фотосистемы-1 (Бриттон, 1986; Экосистема..., 2007). Пигментные характеристики водорослей перифитона протоки Амурская приведены в таблице 1.

Таблица 1

Пигментный состав водорослей перифитона в протоке Амурская в годы наблюдения (пределы колебания, в скобках – среднее)

Год	С хл <i>a</i> , мг/м ²	С хл <i>b</i> , мг/м ²	С хл <i>c</i> , мг/м ²	С <i>k</i> , мг/м ²	O _{480/664}	I _{430/664}
2016	1,6–10,4 (7,1±1,7)	0,6–3,2 (1,6±0,4)	0,6–1,2 (0,9±0,1)	1,6–6,8 (4,6±0,8)	0,6–1,3 (0,9±0,1)	2,0–4,5 (2,9±0,5)
2017	4,0–95,0 (28,2±10,6)	0,6–62,6 (10,6±6,6)	0,6–39,7 (9,3±4,3)	3,6–106,6 (28,7±11,6)	0,7–1,7 (1,0±0,1)	2,2–6,7 (3,5±0,5)
2018	2,2–40,2 (17,8±4,9)	0,5–6,3 (2,7±0,7)	0,6–7,7 (3,7±0,9)	2,1–31,0 (13,1±3,5)	0,6–2,1 (1,0±0,2)	2,3–7,5 (3,3±0,6)
2019	1,8–30,9 (14,8±4,7)	0,4–4,8 (1,6±0,7)	0,6–8,0 (3,3±1,1)	3,0–20,3 (11,7±3,3)	0,7–1,8 (1,1±0,2)	2,1–6,6 (3,5±0,7)
2020	1,6–73,7 (21,5±8,4)	1,1–9,6 (3,2±1,1)	1,0–9,2 (3,8±1,0)	3,2–41,5 (13,9±4,6)	0,6–2,2 (1,0±0,2)	2,1–8,6 (3,5±0,8)
2021	1,1–15,0 (6,1±3,2)	0,2–0,9 (0,6±0,1)	0,0–2,7 (1,1±0,6)	0,9–11,8 (4,9±2,4)	0,8–1,3 (1,0±0,1)	2,8–4,8 (3,3±0,5)
2022	1,2–20,9 (8,6±2,9)	0,2–4,8 (1,6±0,7)	0,4–4,1 (1,8±0,6)	1,8–12,6 (5,7±1,7)	0,6–1,6 (0,9±0,2)	2,1–5,0 (3,0±0,4)

В годы исследований в водорослях перифитона преобладал основной фотосинтетический пигмент – хлорофилл *a*, относительное содержание хлорофиллов *b* и *c* было существенно ниже. Концентрации хлорофилла *a* колебались в довольно широком диапазоне – от 1,1 (сентябрь 2021 г.) до 95,0 мг/м² (октябрь 2017 г.), т.е. в 86 раз. Однако 72 % всех значений не превышали 20,0 мг/м². Содержание хлорофилла *a* достигало 68 % от суммарного количества хлорофилла (*a* + *b* + *c*). Такие величины типичны для протоки Амурская (Яворская, 2017).

Хлорофилл *b* отмечен в меньших количествах (в среднем 3,7 ± 1,3 мг/м²), чем хлорофилл *c* (в среднем 3,9 ± 0,9 мг/м²). Содержание их составляло соответственно 15 и 16 % от суммы всех хлорофиллов и косвенно отражало соотношение таксономических групп водорослей в перифитоне. Концентрации хлорофилла *b* незначительно выше таковых хлорофилла *c* отмечены, главным образом, при максимально высоких уровнях воды в реке, и только в ноябре 2017 г., при отметке уровня воды минус 83 см, его значения были выше в 1,6 раза.

Относительное соотношение хлорофиллов (по показателю *a* : *b* : *c*) показывает стабильную структуру пигментного комплекса, составляя 68 : 15 : 16, что, к примеру, характерно и для фитопланктона устьевой части р. Северная Двина (78 : 11 : 10), Новосибирского (82 : 9 : 10), Шекснинского (85 : 9 : 13) и волжских водохранилищ (Гоголицын, 2011; Кириллова, Котовщиков, 2009; Современное состояние..., 2002). Тем не менее хорошо заметен некоторый сдвиг в сторону увеличения представленности хлорофиллов *b* и *c* в образцах из Амурской протоки, что может быть связано с более южным расположением объекта исследования.

Количество каротиноидов колебалось от 0,9 (сентябрь 2021 г.) до 106,6 мг/м² (ноябрь 2017 г.), составив в среднем $13,3 \pm 2,7$ мг/м². Средние показатели пигментного отношения ($1,0 \pm 0,1$) свидетельствуют о нормальном физиологическом состоянии водорослей, обитающих при достаточной обеспеченности биогенным питанием (Сиротский, Медведева, 1996). Высокое среднее значение пигментного индекса ($3,3 \pm 0,2$) индицирует существенное количество дополнительных пигментов водорослей, а, следовательно, и большее их разнообразие (Ермолаев, 1989; Margalef, 1960).

Поскольку концентрация хлорофилла *a* характеризует количественное развитие водорослей и их продукционные возможности, а каротиноиды относятся к более стабильному компоненту пигментной системы, мы проанализировали их сезонный ход в период высокой водности с 2016 по 2022 гг. (рис. 2).

Сезонная динамика фотосинтетических пигментов в водорослях перифитона в протоке Амурская представляет собой чередование подъемов и спадов концентраций в разные годы с тенденцией их значительного снижения в периоды высокого уровня воды, когда фотическая зона на русле и в прибрежье реки из-за низкой прозрачности воды не достигает дна. В периоды наводнений снижается температура и прозрачность воды, увеличивается скорость течения, глубина потока, транспорт влекомых наносов, количество биогенных элементов. В частности, самые высокие концентрации пигментов в водорослях перифитона в протоке отмечены в 2017 г. в период низкого уровня воды весной и сравнительно невысокого летом, а минимальное их содержание зафиксировано в 2021 г., который характеризовался высокими уровнями воды в течение всего теплого периода.

Среднее для отдельных месяцев содержание хлорофилла *a* в протоке изменялось от $16,5 \pm 3,0$ мг/м² (ноябрь) до $20,3 \pm 3,8$ мг/м² (июль), каротиноидов – от $13,5 \pm 3,3$ мг/м² (ноябрь) до $15,9 \pm 3,4$ мг/м² (май). Концентрации каротиноидов несколько повышены относительно содержания хлорофилла *a* в периоды межени, либо весной, либо осенью при температуре воды 1–12 °С. Каротиноиды представляют собой большую группу оранжевых, желтых и красных пигментов, которые в разных концентрациях присутствуют у всех фотосинтезирующих организмов (Маслова и др., 2020). При их доминировании протоку Амурская условно можно отнести к «каротиноидному» типу с отрицательной направленностью баланса

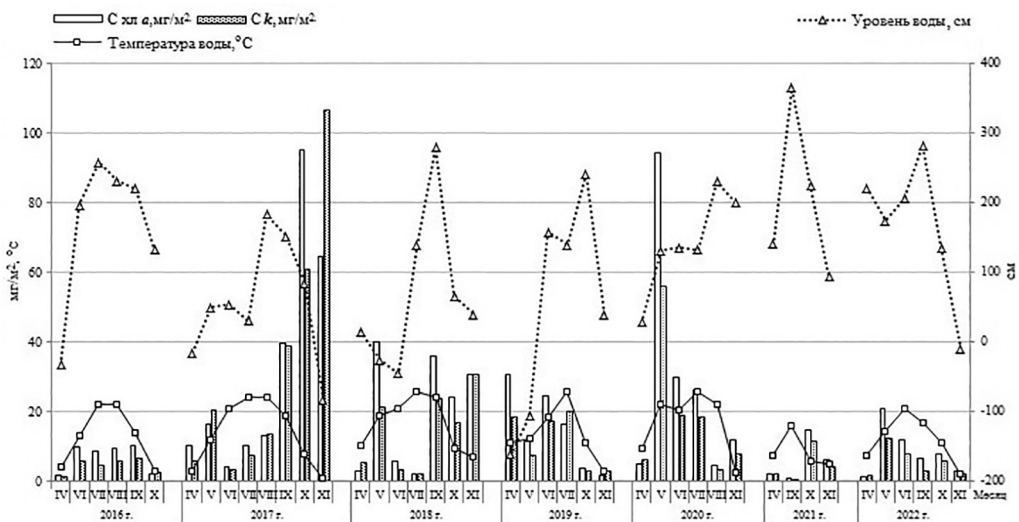


Рис. 2. Влияние уровня воды и ее температуры в протоке Амурская в 2016–2022 гг. на сезонную динамику концентрации хлорофилла *a* и каротиноидов в водорослях перифитона

органического вещества и, соответственно, низкой продуктивностью (Бульон, 1983; Экосистема..., 2007). Максимальные значения отношения общих каротиноидов к хлорофиллу *a* (1,9 и 2,1) наблюдались весной 2018 г., после длительной межени и преобладании теплой погоды, а также весной 2020 г., после выдающегося наводнения на р. Амур, что указывает на неблагоприятные условия, которые способствовали деструкции хлорофилла *a* (Бульон, 1983). Отмечено (Белая, Христофорова, 2011), что низкие значения отношения каротиноидов и хлорофилла *a* считаются индикаторами физиологического благополучия водорослей, т.е. свидетельствуют о наличии фотосинтетически активных клеток; высокие, напротив, отражают неактивное состояние. При неблагоприятных условиях в первую очередь разрушается хлорофилл *a*. Это явление сопровождается накоплением более устойчивых к разрушению каротиноидов (Бриттон, 1986).

Трофический статус и состояние экосистемы в период высокой водности. Трофический статус протоки Амурская по средневзвешенным за вегетационные периоды значениям содержания хлорофилла *a* ($16,5 \pm 2,8$ мг/м²) в водорослях перифитона оценивается как мезотрофный (второй класс качества, воды чистые). Содержание хлорофилла *a* в водорослях перифитона протоки согласуется с концентрацией хлорофилла *a* планктона и характеризует водные массы как евтрофные (Теоретические основы..., 1998). Содержание хлорофилла *a* в водорослях перифитона в протоке Амурская сопоставимо с таковым в других реках горного и полугорного типа Дальнего Востока России, США, Канады, в большинстве случаев составляет от 10 до 100 мг/м² и мало зависит от географического положения водотоков (Богатов, 1994; Сиротский, 1993, 2014; Сиротский, Медведева, 1996; Теоретические основы..., 1998; Яворская, Климин, 2019, 2021). В некоторых точках в течение года содержание хлорофилла может быть меньше 1 мг/м² и превышать 300 мг/м² (Теоретические основы..., 1998). В фонде зеленых пигментов в водорослях перифитона протоки Амурская в течение всего периода исследований преобладал хлорофилл *a*, что также является типичным для пресноводного планктона (Экосистема..., 2007).

Установлено (Алимов и др., 2013), что первичная продукция и содержание хлорофилла в перифитоне уменьшается с глубиной, т.е. по мере уменьшения освещенности. Так, при длительно высоком стоянии воды в р. Амур выделяется 2021 г., когда показатели продукции оказались стабильно низкими и варьировали от 229 до 3070 ккал/м², средняя из наблюденных величин составила 1264 ккал/м²; при выдающемся и продолжительном наводнении на р. Амур в 2019 г. показатели продукции были больше и находились в диапазоне 373–6327 ккал/м², средняя – 3030 ккал/м²; в 2017 г. сильных наводнений на р. Амур не было и тогда величины продукции оказались наивысшими – от 820 до 19 465 ккал/м², средняя – 5780 ккал/м². В связи с этим, трофический статус протоки в трех из семи случаев характеризуется как гиперэвтрофный, а в 2016 г., 2019 г., 2021–2022 гг. – как эвтрофный. Таким образом, после наводнений образование первичной продукции напрямую зависит от скорости снижения уровня воды в реке, т.е. при очень быстром падении воды водоросли перифитона в фотической зоне не успевают развиваться. Попутно отметим, что весной и летом, если уровень воды в протоке в течение месяца ежедневно медленно повышается (на 5–30 см), то можно наблюдать на грунте на глубине до 40 см и на расстоянии более 10 м от уреза воды темно-зеленую полосу из водорослево-бактериальных матов. Однако, осенью, если уровень воды после наводнения ежедневно падает на 10 см и более в течении месяца, то на этом же месте можно видеть уже коричневую полосу из водорослево-бактериальных матов

с примесью большого количества ила и часто вместе с друзьями домиков ручейников. Так, в ноябре 2021 г. очень быстрое падение уровня воды в протоке сопровождалось массовой гибелью беспозвоночных животных на пересохшем участке русла. Среди таковых оказались личинки ручейников *Aethaloptera evanescens* MacLachlan, 1880 и *Macrostemum radiatum* (MacLachlan, 1872) в плотно скрепленных между собой домиках, а также двустворчатые моллюски *Buldowskia shadini* (Moskvicheva, 1973) и *Cristaria plicata* (Leach, 1814), не успевшие заблаговременно покинуть зону обмеления до ее пересыхания. Годовые показатели продукции водорослей перифитона в протоке находились в пределах от 20 до 1664 г С/м² или от 229 до 19 465 ккал/м², средние – 289 г С/м² или 3381 ккал/м²; вылов рыб – 0,2 % от первичной продукции.

Исходя из многолетних исследований, следует, что протока Амурская, ранее отнесенная к водотоку гиперэвтрофного типа (Яворская, 2017), в настоящее время соответствует параметрам водотоков эвтрофного типа, что напрямую связано с влиянием повышенной водности р. Амур в последние годы. При очередном снижении водности главной водной артерии Приамурья протока Амурская вновь постепенно трансформируется в водоток гиперэвтрофного типа.

Заключение

Установлено, что основу пигментного комплекса перифитона протоки Амурская в период высокой водности составляет хлорофилл *a*, содержание которого изменялось в больших пределах, но наибольшая частота встречаемости (72 % общей выборки) относилась к диапазону концентраций от 1,1 до 18,2 мг/м². Изменения содержания хлорофилла *a* обуславливают количество хлорофиллов *b* и *c*. Относительное соотношение хлорофиллов (*a* : *b* : *c*) (68:15:16) указывает на стабильную структуру пигментного комплекса. Многолетняя и сезонная динамика количества фотосинтетических пигментов в водорослях перифитона имеет циклический характер, при котором их небольшой подъем происходит весной и более заметный осенью, после прохождения паводков и установления межени, а спад – летом во время паводков. Неблагоприятные условия, при которых разрушается хлорофилл *a*, но одновременно происходит накопление каротиноидов, отмечены в меженный период (весна, осень). Показано, что изменение уровня первичной продукции водорослей перифитона протоки Амурская после наводнения сильно зависит от скорости снижения уровня воды в р. Амур. Трофический статус в период исследования менялся от гиперэвтрофного до эвтрофного. По содержанию пигментов в водорослях перифитона, так же как и по их концентрации в планктоне, протока Амурская относится к высокопродуктивным водотокам. Современное экологическое состояние протоки можно оценить как удовлетворительное (воды чистые).

Литература

- Алимов А.Ф., Богатов В.В., Голубков С.М. 2013. Продукционная гидробиология. Наука. 339 с.
- Белая С.А., Христофорова Н.К. 2011. Фотосинтетические пигменты водорослей перифитона в водотоках Сихотэ-Алинского биосферного заповедника // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Вып. 5. С. 53–60.
- 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.

- Богатов В.В., Федоровский А.С. 2017.** Основы речной гидрологии и гидробиологии. Владивосток: Дальнаука. 384 с.
- Бриттон Н. 1986.** Биохимия природных пигментов. М.: Мир. 422 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.
- Гоголицын В.А. 2011.** Распределение хлорофиллов в устьевой части реки Северная Двина // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». № 3. С. 29–35.
- 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.
- Кадочникова П.И., Беляева П.Г. 2017.** Пигментные характеристики альгоценозов как показатели экологического состояния малых рек урбанизированных территорий (на примере рек г. Пермь) // Вода: химия и экология. № 9 (111). С. 20–27.
- Кириллова Т.В., Котовщиков А.В. 2009.** Растительные пигменты как показатели экологического состояния Новосибирского водохранилища // Мир науки, культуры, образования. № 1 (13). С. 26–30.
- 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.
- Лоща рек Амурского бассейна. Нижний Амур. 1968.** Мин. обор. СССР. Гидрограф. упр. Ч. III. 220 с.
- Макаревич Т.А. 2005.** Вклад перифитона в суммарную первичную продукцию пресноводных экосистем (обзор) // Вестник Тюменского ГУ. Тюмень: Тюменский ГУ. № 5. С. 77–86.
- Маслова Т.Г., Марковская Е.Ф., Слемнев Н.Н. 2020.** Функции каротиноидов в листьях высших растений (обзор) // Журнал общей биологии. Т. 81, № 4. С. 297–310.
- Махинов А.Н., Ким В.И. 2020.** Влияние изменений климата на гидрологический режим реки Амур // Тихоокеанская география. № 1. С. 30–39.
- Махинов А.Н., Косыгин В.Ю., Ахтямов М.Х., Катин В.Д. 2020.** Приложение асимптотической теории вероятностей экстремальных значений к прогнозированию риска возникновения больших паводков на Нижнем Амуре // Водные ресурсы. Т. 47, № 3. С. 243–250.
- Метелева Н.Ю. 2017.** Пигментные характеристики летнего эпифитона водохранилищ Верхней Волги // Вода: химия и экология. № 3 (105). С. 34–39.
- Современное состояние экосистемы Шекснинского водохранилища. 2002.** Ярославль: Ярославский гос-й технич. ун-т. 368 с.
- Петров Е.С., Новороцкий П.В., Леншин В.Т. 2000.** Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области. Владивосток–Хабаровск: Дальнаука. 174 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 18. Дальний Восток. 1966.** Вып. 1. Амур. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 487 с.
- Сigareва Л.Е., Тимофеева Н.А. 2005.** Содержание растительных пигментов в донных отложениях мезотрофного Угличского водохранилища // Биология внутренних вод. № 2. С. 47–55.
- Сigareва Л.Е., Законнов В.В., Гершевский П. 2011.** Содержание и распределение растительных пигментов в донных отложениях евтрофного Влоцлавского водохранилища // Гидробиологический журнал. Т. 47. № 1. С. 64–73.
- 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. 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.
- Теоретические основы биогеохимической экспертизы окружающей среды. 1998.** Владивосток–Хабаровск: Дальнаука. 157 с.
- Экосистема малой реки в изменяющихся условиях среды. 2007.** М.: Т-во научн. изданий КМК. 372 с.

- 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 В.Я. Леванидова. Владивосток: Дальнаука. Вып. 8. С. 190–197.
- 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. С. 226–242.
- Jeffrey S.W., Humphrey G.F. 1975.** New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c*₁ and *c*₂ 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. Vol. 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. Vol. 9. N 6. P. 585–594.