

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
FAR EASTERN BRANCH

Institute of Water and Ecological Problems

BIOGEOCHEMICAL
AND HYDROECOLOGICAL
RESEARCHES
IN THE FAR
EAST

COLLECTED
SCIENTIFIC WORKS



Vladivostok
Dalnauka
1998

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Институт водных и экологических проблем

Мус.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ
И ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
НА ДАЛЬНЕМ
ВОСТОКЕ

СБОРНИК
НАУЧНЫХ ТРУДОВ



Владивосток
Дальнаука
1998

Л. А. Медведева, **Продукционные характеристики**
С. Е. Сиротский **водорослей перифитона р. Кедровая**
(Приморье)

Река Кедровая берет начало в отрогах Восточно-Маньчжурских гор и впадает в Амурский залив Японского моря недалеко от пос. Приморский. Ее длина 28 км. Первые 18 км эта река протекает по залесенной гористой местности в пределах территории заповедника «Кедровая падь», затем выходит на заболоченную низменность. Грунт на всем протяжении реки гравийно-галечный, средняя температура воды летом около $+13...+14^{\circ}$, расход воды в межень в районе усадьбы заповедника 1,5 - 2,5 м³/с [2].

В 1972 г. по предложению В.Я. Леванидова р. Кедровая была выбрана в качестве модельного водотока для проведения фаунистических и продукционных исследований экосистемы реки [10]. За прошедшие два десятилетия накоплен богатейший материал, отражающий структуру, сезонную динамику и продукционные характеристики сообществ зообентоса [2, 7, 10], выявлен видовой состав альгофлоры реки [30].

Для определения потока энергии, проходящего через все трофические уровни биоты реки, необходимо количественно оценить роль автотрофных организмов в формировании первичного органического вещества. На фоне полученных материалов по изучению функционирования водной экосистемы р. Кедровая данный вопрос оказался менее изученным. В связи с этим исследование первичной продукции вошло неотъемлемой частью в состав комплексных гидробиологических исследований, которые были продолжены на р. Кедровая сотрудниками Биолого-почвенного института ДВО РАН, с мая 1993 по апрель 1994 г.

В реках горного и предгорного типа основными первичными продуцентами являются водоросли перифитона, населяющие гравийно-галечный субстрат [21].

Методы определения первичной продукции

Методы определения первичной продукции и деструкции органического вещества в водотоках в принципе не отличаются от принятых для изучения этих процессов в озерах. Все эти методы можно разделить на 4 основные группы: метод склянок в его основных модификациях - кислородной и радиоуглеродной; метод камер; метод измерения первичной продукции по балансу вещества в открытой воде - «балансовый метод»; метод измерения колебания биомассы водорослей [9].

Метод склянок используется в различных модификациях определения фотосинтеза и деструкции как планктона [1, 4, 5], так и перифитона. При работе с перифитоном в склянки вносятся тем или иным способом естественный или искусственный субстрат с водорослями [12, 13, 23, 27]. Если эксперименты проводятся с нитчатными водорослями, то берется их определенная навеска. В другом случае производится смыв водорослей с субстрата в определенном объеме воды с последующим заключением их в склянки [12, 32, 40].

С методом склянок определенным образом сходен метод замкнутых камер. Используются неперемешиваемые [18, 20] и перемешиваемые камеры [22, 31, 34, 39]. Неперемешиваемые камеры, если в них отсутствует нижняя стенка, в отечественной литературе называют колпаками. В подавляющем большинстве экспериментов скорость течения в перемешиваемых камерах оказывается гораздо ниже, чем в исследуемом водотоке. При измерении камерами (без нижней стенки) покрывается часть дна [22, 36, 39]. Камеры применяются как в замкнутом [36, 37], так и в проточном вариантах [29]. Первичная продукция и дыхание измеряются, как правило, по изменению содержания газов в воде, иногда с применением C^{14} [18, 32].

Делаются попытки оценить продукцию перифитона по скорости накопления биомассы на различных поверхностях: стеклах [26, 33], пластике [25, 42], цементных блоках [43], полиэтилене [11].

Материал и методы исследования. Для исследований был выбран типичный биотоп р. Кедровой, расположенный выше гидрологического поста на территории усадьбы заповедника «Кедровая падь». Предварительные результаты работы, проведенной в августе 1992 г. [15,

41], показали, что на 6-километровом участке реки водоросли перифитона распределены практически равномерно.

Из реки с глубины 0,2-0,7 м методом случайной выборки доставали, как правило, от 4 до 12 камней, с которых водоросли перифитона счищали зубной щеткой в определенном объеме воды. Для оценки количества водорослей под 1 м² определяли площадь камней по их проекции на крафтовой бумаге. Количественное развитие водорослей оценивали по хлорофилльной массе.

Водоросли перифитона фильтровались на стекловолоконные фильтры марки «Watman GF/C». Пигменты анализировались стандартным спектрофотометрическим методом [38]. Для расчета концентраций хлорофиллов «а», «б» и «с» использовались формулы Джеффри и Хамфри [24], каротиноидов - формулы Парсонса и Стрикленда [35]. Процентное отношение фео пигментов к хлорофиллу «а» находили с помощью уравнения Коблеци-Мишке [6].

При определении первичной продукции и деструкции органического вещества перифитона использовали метод склянок в кислородной модификации. Достаточное количество смывой с камней суспензии водорослей доводилось речной водой до 5 литров. Приготовленная и тщательно перемешанная суспензия водорослей, в которой определялась концентрация хлорофилла «а», с помощью сифона распределялась в склянки из прозрачного белого стекла объемом 200 мл. Для оценки деструкции органического вещества склянки заворачивались в алюминированную фольгу, чтобы избежать попадание в них света. Валовую первичную продукцию перифитона рассчитывали по разнице содержания кислорода в светлых и темных склянках, деструкцию органического вещества - по разнице кислорода в контрольных и темных склянках. Экспозиция склянок проводилась в водотоке при соответствующей температуре воды. Зависимость фотосинтеза водорослей перифитона от световых условий определялась при инкубировании склянок с пробами воды под фильтрами с разной степенью светогашения. В качестве фильтров служили матовые полиэтиленовые пакеты, в которые помещались склянки с пробами воды. Светогашение в них составляло соответственно 60, 30 и 10% от освещенности водной поверхности. 100% освещенности приходилось на склянки без светофильтров. Величину падающей и прошедшей под фильтры солнечной радиации измеряли с помощью люксметра Ю-116. Энергетический эквивалент одной световой единицы, выраженной в люксах, соответствует $14,34 \cdot 10^{-6}$ кал/(см²·мин) суммарной солнечной радиации.

При изучении первичной продукции водных объектов большое внимание уделяют длительности экспозиции склянок в воде. Детально

данный вопрос для сообществ фитопланктона освещен в работе Л.П. Цискарашвили [17]. В ней показано, что расхождение между величинами фотосинтеза, полученными при суточной экспозиции склянок, с одной стороны, и суммированием величин краткосрочных экспозиций склянок - с другой, повышается с увеличением трофности водоема и может изменяться от 50 до 300%. На снижение фотосинтеза водорослей при длительных сроках экспозиции указывается и при исследовании сообществ водорослей перифитона [40]. Применение кратких сроков экспозиции при исследовании сообществ перифитона является объективным критерием. Это связано с тем, что в экспериментах используются пробы с высокой концентрацией водорослей. При этом сокращение сроков экспозиции проб уменьшает разницу получаемых результатов по фотосинтезу водорослей в статических и проточных условиях.

В связи с этим измерение интенсивности фотосинтеза и деструкции органического вещества проводили при разных сроках экспозиции проб, которая в большинстве экспериментов составляла последовательно 1, 2, 3 и 4 ч. На основе полученных данных по фотосинтезу водорослей и концентрации хлорофилла «а» рассчитывали удельную скорость фотосинтеза, или ассимиляционное число, которое выражали в $\text{мг O}_2/(\text{мг хл «а»}\cdot\text{ч})$ (АЧ). По величинам деструкции органического вещества в суспензии сообщества перифитона и концентрации хлорофилла «а» рассчитывали респирационное число (РЧ), которое выражали в эквивалентных единицах - $\text{мг O}_2/\text{мг хл «а»}$ [32].

При определении валовой первичной продукции органического вещества перифитона исходили из положения, что удельная скорость фотосинтеза за 1 ч (АЧ) составляет 10% от ее величины за светлое время суток т. е. суточного ассимиляционного числа (САЧ). Расчет проводили по уравнению:

$$A = C_{\text{хл «а»}} \cdot \text{САЧ},$$

где А - валовая первичная продукция, $\text{мг O}_2/(\text{м}^2\cdot\text{сут})$; $C_{\text{хл «а»}}$ - концентрация хлорофилла «а», мг/м^2 ; САЧ - суточное ассимиляционное число, $\text{мг O}_2/\text{мг хл «а»}$.

Деструкцию органического вещества за сутки (R) рассчитывали так:

$$R = (\text{мг O}_2/\text{м}^2) = C_{\text{хл «а»}} (\text{мг/м}^2) \cdot \text{РЧ} (\text{мг O}_2/(\text{мг хл «а»}\cdot\text{ч})) \cdot T;$$

$$T = 24 \text{ ч}$$

Принято, что РЧ в течение суток постоянно.

Обсуждение материалов исследований

Данные по определению фотосинтетических пигментов в перифитоне представлены в табл. 1. Концентрация хлорофилла «а» ($C_{\text{хл «а»}}$) за период исследования составляла от 3,06 до 31,31 мг/м^2 при среднем значении 11,7 мг/м^2 . В период установления максимального расхода воды в реке (июнь-август, см. табл. 2) в июне-июле поддерживался устойчивый максимум концентрации водорослей перифитона (около 30 мг/м^2). В августе-сентябре относительно высокие расходы воды приводили к постепенному разрушению сообщества водорослей перифитона. При снижении расходов воды, включая зимний период, $C_{\text{хл «а»}}$ в перифитоне составляла 5,9 - 11,3 мг/м^2 . В апреле после вскрытия реки от льда наблюдался весенний максимум развития водорослей перифитона, концентрация хлорофилла «а» составила 31,31 мг/м^2 .

Регулирующая роль паводка в развитии сообществ перифитона отмечена для рек горного типа [15, 16 19 и др.]. При частых паводках в водотоках поддерживается низкий уровень развития водорослей, а их максимум устанавливается в период меженьных расходов.

Качественное распределение пигментов различно в разных систематических отделах водорослей. Так, хлорофилл «а» содержится в

Таблица 1

Содержание фотосинтетических пигментов в перифитоне р. Кедзрвал

Дата	$C_{\text{хл «а»}}$, мг/м^2	$C_{\text{хл «б»}}$, мг/м^2	$C_{\text{хл «в»}}$, мг/м^2	$C_{\text{ф}} \cdot 10^3/\text{м}^2$	$C_{\text{в}}/C_{\text{хл «а»}}$	ПО	ПИ	$C_{\text{фос}}$, мг/м^2	Фос, %
05.05.93	3,06	0,48	1,09	1,10	0,36	0,48	1,97	0,44	(8,52)
06.05.95	11,15	1,77	3,53	5,37	0,48	0,55	1,89	1,29	(6,85)
07.05.93	6,88	1,03	2,41	2,83	0,42	0,53	1,95	1,51	(13,20)
07.05.93	5,18	0,96	1,38	2,70	0,52	0,61	1,85	1,98	(24,78)
10.05.93	11,40	2,01	4,29	3,71	0,33	0,46	2,00	2,61	(13,44)
11.05.93	8,89	1,36	2,39	4,39	0,49	0,61	1,96	1,82	(12,07)
26.05.93	3,27	0,80	0,55	2,05	0,63	0,74	1,93	1,50	(26,81)
25.06.93	27,89	2,93	7,22	11,56	0,41	0,47	2,03	8,00	(16,96)
20.07.93	28,15	4,60	8,53	15,48	0,55	0,62	2,01	12,44	(25,96)
22.08.93	5,87	1,41	0,36	2,63	0,45	0,50	1,73	0,83	(8,29)
22.09.93	11,34	1,07	2,27	5,02	0,44	0,51	1,86	-	-
07.10.93	8,66	0,88	0,51	7,83	0,90	1,01	2,06	-	-
07.11.93	5,91	1,10	1,27	2,15	0,36	0,42	1,69	0,59	(5,83)
20.03.94	6,20	1,31	0,94	2,93	0,47	0,54	2,18	0,19	(1,77)
17.04.94	31,31	0,37	6,31	27,49	0,88	1,03	2,00	-	-

Таблица 2

Дата	Расход воды, м ³ /с
24.04.93 г.	0,885
9.05.93 г.	0,53
25.05.93 г.	0,34
10.06.93 г.	0,98
28.06.93 г.	2,14
18.07.93 г.	2,55
3.08.93 г.	2,85
22.08.93 г.	2,37
9.09.93 г.	0,39
8.10.93 г.	0,57
24.10.93 г.	0,41
7.11.93 г.	0,77
24.11.93 г.	0,91
20.03.94 г.	0,12
19.04.94 г.	1,65

водорослях всех типов, хлорофилла «b» - только у зеленых и синезеленых, хлорофилла «c» - у диатомей, перидиней и хризомонад. В целом для исследованного участка р. Кедровая динамика изменения хлорофиллов «b» и «c» соответствует изменению концентрации хлорофилла «a» в перифитоне. Для всех проб перифитона среднее отношение хлорофилла «b» к хлорофиллу «a» составляет 0,14, хлорофилла «c» к хлорофиллу «a» - 0,25, что свидетельствует о преобладании в сообществе перифитона диатомовых водорослей.

Ниже представлены уравнения линейной регрессии, которые отражают зависимость между фотосинтетическими пигментами:

$$C_{\text{хл. «b»}} = 0,039 C_{\text{хл. «a»}} + 1,19; r = 0,33, n = 15,$$

$$C_{\text{хл. «c»}} = 0,258 C_{\text{хл. «a»}} - 0,137; r = 0,93, n = 15,$$

$$C_{\text{хл. «c»}} = 1,758 C_{\text{хл. «b»}} + 0,284; r = 0,72, n = 15,$$

где $C_{\text{хл. «a»}}$, $C_{\text{хл. «b»}}$, $C_{\text{хл. «c»}}$ выражено в мг/м².

Содержание каротиноидов в перифитоне р. Кедровая в целом изменяется соответственно изменению хлорофилла «a». Связь между этими параметрами отражается уравнением регрессии с высоким коэффициентом корреляции:

$$C_K = 0,674 C_{\text{хл. «a»}} - 1,393; r = 0,91, n = 15,$$

где C_K - концентрация общих каротиноидов в мSPU/м²; $C_{\text{хл. «a»}}$ в мг/м².

Относительное содержание феопигментов достигает 27% от суммы с чистым хлорофиллом «a» и не зависит от степени развития водорослей.

Значения пигментного отношения (ПО), характеризующего отношение оптической плотности каротиноидов при длине волны 480 нм к оптической плотности хлорофилла «a» (665 нм), составили 0,43-1,03 (средняя 0,61), а значения пигментного индекса (ПИ), характеризующего соотношение при длинах волн 430 и 665 нм, составили 1,69-2,18 (1,94). Все перечисленные соотношения показателей перифитона р. Кедровая находятся в пределах известных для многочисленных рек горного типа [15] и характеризуют нормальное физиологическое состояние водорослей в период исследований.

Результаты, отражающие зависимость удельной скорости фотосинтеза водорослей от световых условий и сроков экспозиции проб, представлены в табл. 3. Анализ полученных данных показывает, что максимум светового насыщения фотосинтеза перифитона, основу которого составляют диатомовые водоросли [30], лежит в пределах от 5 до 27 кюкс, или 0,072-0,40 кал·см⁻²·мин⁻¹, суммарной солнечной радиации. За период исследования максимальная дневная освещенность составляет около 90 кюкс. В данном случае величина светового насыщения сообщества перифитона составляет от 6 до 30% от энергии видимой части спектра, поступающей на водную поверхность, что согласуется с литературными данными [8, 19, 32, 40, 41].

Таблица 3

Зависимость ассимиляционных чисел (АЧ, мг О₂/мг хл «a»·ч) водорослей перифитона р. Кедровая от условий освещенности и сроков экспозиции проб

Дата Время экспозиции проб, ч	Температура воды, °С	Среднее АЧ	Освещенность, кюкс				РЧ, мг О ₂ /мг хл «a»·ч	С _{хл. «a»} , мг/л
			100%	60%	30%	10%		
			Ассимиляционное число (АЧ), мг О ₂ /мг хл «a»·ч					
05.05.93 4	5,2	3,24	6940 4,09	4164 3,17	2082 3,73	694 2,04	70,90 6,28	
06.05.93 3	9,2	5,35	67 250 4,45	40 350 4,86	20 175 6,07	6725 6,02	151,04 18,60	
07.05.93 4	5,8 10,0	7,31	49 600 6,15	29 760 6,98	14 880 7,45	4960 8,65	47,84 24,23	
07.05.93 4	10,0 7,2	10,47	23 000 11,62	13 800 10,27	6900 11,35	2300 8,65	18,45 15,41	
10.05.93 1	9,0	18,44	81 100 11,52	48 600 25,36	-	-	34,70 10,95	

Продолжение табл. 3

Дата Время экс- позиции проб, ч	Темпера- тура воды, °С	Среднее АЧ	Озонаемость, люкс				РЧ, мгО ₂ / мг хл ₂ в час	С _{ред.} мкг/л
			100%	60%	30%	10%		
			Ассимиляционное число (АЧ), мгО ₂ /мг хл ₂ в час					
2		9,51	8,07	10,95	-	-	4,90	
3		6,53	5,38	7,68	-	-	4,03	
4		6,63	5,19	8,07	-	-	4,18	
11.05.93			79 000	47 400	23 700	7900		57,70
1	10,4	13,75	-	13,69	11,96	15,60	19,06	
			78 300	46 980	23 490	7830		
2	11,8	13,28	12,48	13,17	13,26	14,21	11,35	
			76 100	45 660	22 830	7610		
3	12,5	9,03	6,41	9,01	10,22	10,46	6,64	
			70 600	42 360	21 180	7060		
4	12,6	9,46	7,62	9,23	9,92	11,01	6,36	
26.05.93			86 000	51 600	25 800	8600		34,35
1	12,6	10,55	16,89	10,77	7,27	7,27	20,66	
2	13,9	-	-	-	-	-	-	
			85 000	51 000	25 500	8500		
3	14,7	8,54	5,92	7,18	9,50	11,54	12,03	
			79 000	47 400	23 700	7900		
4	14,8	5,93	1,82	4,51	7,49	9,90	8,15	
25.06.93			16 000	9600	4800	1600		107,10
1	10,6	4,93	6,82	5,32	5,32	2,24	1,03	
			30 500	18 300	9150	3050		
2	10,9	7,96	7,80	9,71	8,22	6,12	2,43	
			21 700	13 020	6510	2170		
3	10,9	6,89	5,85	7,13	7,87	6,72	1,62	
			26 800	16 080	8040	2680		
4	10,6	6,11	6,76	6,40	5,35	5,91	2,26	
20.07.93			14 250	8550	4275	1425		133,62
1	13,2	10,38	10,85	10,55	11,15	8,98	4,94	
			15 125	9075	4538	1513		
2	13,5	8,75	7,86	9,72	10,33	7,11	2,93	
			15 062	9037	4519	1506		
3	13,4	7,47	6,71	7,83	8,13	7,21	2,47	
			14780	8870	4434	1478		
4	13,4	7,21	6,72	7,80	8,10	6,25	2,08	
22.08.93			85 000	51 000	25 500	8500		64,98

Продолжение табл. 3

Дата Время экс- позиции проб, ч	Темпера- тура воды, °С	Среднее АЧ	Озонаемость, люкс				РЧ, мгО ₂ / мг хл ₂ в час	С _{ред.} мкг/л
			100%	60%	30%	10%		
			Ассимиляционное число (АЧ), мгО ₂ /мг хл ₂ в час					
1	14,3	25,16	26,16	22,31	21,70	30,47	18,62	
			79 500	47 700	25 500	8500		
2	14,8	17,75	18,16	18,16	17,16	17,54	8,69	
			72 300	43 380	21 690	7230		
3	14,8	17,37	14,61	24,36	16,10	14,41	7,69	
			59 100	35 460	17 730	5910		
4	14,7	16,68	16,92	19,23	15,47	15,12	6,89	
22.09.93			18 000	10 800	5400	1800		96,81
1	15,0	9,37	5,06	8,57	14,04	9,81	11,05	
			14 500	8700	4350	1450		
2	14,8	7,78	7,02	5,99	11,31	6,82	7,02	
			11 250	6750	3375	1125		
3	14,4	6,87	7,13	8,13	8,81	3,41	4,68	
			7120	4272	2136	712		
4	13,8	8,30	9,81	8,86	8,13	6,40	5,42	
7.10.93			14 250	8550	4275	1425		102,36
1	11,2	7,00	8,49	7,23	-	5,27	12,60	
			15 700	9420	4710	1570		
2	11,7	3,43	4,74	5,08	2,24	1,66	6,94	
			14 070	8442	4221	1407		
3	12,2	2,41	2,70	2,70	2,57	1,50	4,75	
			10 300	6180	3090	1030		
4	12,0	2,02	2,22	2,03	2,42	1,42	3,76	
7.11.93			25 700	15 420	7710	2570		42,96
1	6,7	14,07	14,19	16,98	13,02	12,09	22,79	
			22 300	13 380	6690	2230		
2	7,0	10,35	7,09	13,14	12,56	8,60	10,93	
			14 130	8478	4239	1413		
3	6,7	10,26	12,40	11,00	9,69	7,98	9,92	
			9210	5526	2763	921		
4	6,2	9,71	10,29	11,51	10,29	6,74	8,43	
20.03.94			53 000	31 800	15 900	5300		43,70
1	1,8	8,67	0,45	6,34	9,38	10,29	24,00	
			61 500	36 900	18 450	6150		
2	2,8	7,58	5,49	8,58	7,21	9,04	19,98	

Окончание табл. 3

Дата Время экс- позиции проб, ч	Темпера- тура воды, °С	Среднее АЧ	Освещенность, люкс				РЧ, мгО ₂ / мг хл «а»-ч	С _{хл «а»} , мг/л
			100%	60%	30%	10%		
			Ассимиляционное число (АЧ), мгО ₂ /мг хл «а»					
3	3,4	11,66	55 700	33 420	16 710	5570	16,09	
			10,29	12,12	11,51	12,73		
4	3,2	10,12	44 400	26 640	13 320	4440	13,04	
			7,55	10,52	11,21	11,21		
17.04.94			77 000	46 200	32 100	7700	48,39	
1	7,0	28,04	20,45	27,27	32,23	32,23	27,68	
			78 000	46 800	23 400	7800		
2	7,8	20,17	12,29	25,10	23,76	19,52	14,67	
			69 000	41 400	20 700	6900		
3	7,8	18,90	13,64	18,18	19,90	23,89	12,39	
			64 500	38 700	19 350	64 500		
4	7,8	15,97	11,73	16,63	-	19,57	9,71	

Примечание. РЧ - респирационное число, С_{хл «а»} - концентрация хлорофилла «а» в суспензии водорослей перифитона при экспозиции проб.

Таблица 4

Средние значения ассимиляционных (АЧ) и респирационных (РЧ) чисел (мгО₂/мг хл «а») при разных сроках экспозиции проб перифитона р. Кедровой

Срок экспозиции проб, ч	Y = a + bx	Среднее АЧ (±σ)	Среднее РЧ (±σ)	n	r
1	АЧ = 6,07 + 0,482 ДЧ	13,7 (±7,05)	15,76 (±7,93)	11	0,54
	ДЧ = 7,42 + 0,610 АЧ				
2	АЧ = 8,03 + 0,292 ДЧ	10,7 (±4,76)	8,98 (±5,17)	10	0,32
	ДЧ = 5,37 + 0,340 АЧ				
3	АЧ = 5,16 + 0,597 ДЧ	9,6 (±4,61)	9,63 (±4,39)	11	0,56
	ДЧ = 3,30 + 0,483 АЧ				
4	АЧ = 7,64 + 0,073 ДЧ	8,3 (±3,91)	8,98 (±6,10)	15	0,11

Результаты определения удельной скорости фотосинтеза водорослей (АЧ) перифитона в р. Кедровая и респирационных чисел (РЧ) при разных сроках экспозиции представлены в табл. 4. Нами сравнивались средние значения АЧ, полученные при 100, 60, 30 и 10% освещенности. Связь между АЧ и РЧ оценивались с помощью уравнения линейной регрессии. Результаты расчетов представлены в табл. 4.

По материалам табл. 4 коэффициент вариации АЧ составляет около 50%, для РЧ 50,3 - 68%. Кратность отношения ассимиляционных чисел, полученных для 1-го часа экспозиции проб перифитона, последовательно к таковым для 2, 3, и 4 часовой экспозиции с учетом их вариации составляет соответственно 1,3 (0,6 - 2,1), 1,4 (0,7-2,3), 1,65 (0,8 - 2,5) раза. Для РЧ подобное отношение составляло 1,76 (0,8-2,6), 2,1 (1,1-3,1), 1,76 (0,8-2,6) раза. По-видимому, представленные отношения АЧ и РЧ могут быть использованы в качестве калибровочных значений для расчетов первичной продукции водотоков, значения которых были получены при 3-5-часовой экспозиции проб [15].

Таблица 5

Первичная продукция и деструкция органического вещества перифитона р. Кедровая

Дата	С _{хл «а»} , мг/м ²	АЧ, мгО ₂ /мг хл «а»	ДЧ, мгО ₂ /мг хл «а»	А, гО ₂ /м ²	В, гО ₂ /м ²	A/R
05.05.93	3,06	3,24	< 6,28	0,099	< 0,461	0,21
06.05.95	11,15	5,35	< 18,60	0,597	< 4,977	0,12
07.05.93	6,88	7,31	< 24,23	0,503	< 4,001	0,13
07.05.93	5,18	10,47	< 15,41	0,542	< 1,916	0,27
10.05.93	11,40	18,44	> 10,95	2,102	< 2,996	0,70
11.05.93	8,89	13,75	< 19,06	1,222	< 4,080	0,30
26.05.93	3,27	10,55	< 20,66	0,345	< 1,621	0,21
25.06.93	27,89	7,96	> 2,43	2,220	> 1,626	1,37
20.07.93	28,15	10,38	> 4,94	2,922	< 3,337	0,88
22.08.93	5,87	25,16	> 18,62	1,477	< 2,623	0,56
22.09.93	11,34	9,37	< 11,05	1,063	< 3,429	0,31
07.10.93	8,66	7,00	< 12,60	0,606	< 2,619	0,23
07.11.93	5,91	14,07	< 22,79	0,832	< 3,232	0,26
20.03.94	6,20	10,29	< 24,00	0,638	< 3,571	0,18
17.04.94	31,31	28,04	> 27,68	8,777	< 20,800	0,42

В табл. 5 представлены значения валовой первичной продукции и деструкции органического вещества сообщества перифитона р. Кедровой, при соответствующих им экспериментальных значениях АЧ и РЧ.

Валовая первичная продукция в течение периода исследований находилась в пределах от 0,1 до 8,8 гО₂/м² при среднем значении 1,6 гО₂/м². Деструкция органического вещества изменялась от 0,5 до 20,8 гО₂/м². Максимальные величины А и R приходились на март месяц.

Для р. Кедровая, как и для большинства водотоков горного типа [21], наблюдается отрицательный биотический баланс. Отношение первичной продукции к деструкции органического вещества (A/R) в течение вегетационного сезона изменялось от 0,12 до 1,37, а средняя величина A/R составила 0,41. Положительный биотический баланс органического вещества наблюдался только в июле месяце, при максимальном развитии водорослей перифитона.

Выводы

Регулирующее влияние на развитие водорослей перифитона в р. Кедровая оказывает гидрологический режим. Концентрация хлорофилла «а» в перифитоне за период исследования составляла от 3,1 до 31,3 при среднем значении за год 11,7 мг/м².

Оптimum светового насыщения фотосинтеза водорослей перифитона находится в пределах от 5 до 27 кюкс, что составляет от 6 до 30% от максимальной величины приходящей на поверхность водотока энергии солнечной радиации.

С увеличением сроков экспозиции проб наблюдается закономерное снижение удельной скорости фотосинтеза водорослей перифитона, что необходимо учитывать при расчетах первичной продукции водотоков на основе хлорофилльного метода.

Литература

1. Азмов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 151 с.
2. Богатов В.В. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1994. 218 с.
3. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука. Ленингр. Отд-ние, 1983. 150 с.
4. Бульон В.В. Первичная продукция планктона и классификация озер//Продукционно-гидробиологические исследования водных экосистем. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1987. С. 45-51.
5. Бульон В.В. Закономерности первичной продукции в лимнических экосистемах. СПб.: Наука, 1994. 222 с.
6. Кобленц-Михале О.И., Цветкова А.М., Громов М.М., Парамонова Л.И. Первичная продукция и хлорофилл «а» в западной части Тихого океана//Функционирование пелагических сообществ тропических районов океана. М., 1971. С. 70-79.
7. Кочарина С.Л., Макарченко Е.А., Макарченко М.А., Николаева Е.А., Ткунова Т.М., Тесленко В.А. Донные беспозвоночные в экосистеме лососевой реки юга Дальнего Востока СССР//Фауна, систематика и биология пресноводных беспозвоночных. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. С. 86-108.

8. Лебедев Ю.М. Свет как фактор среды, контролирующей развитие водорослей в водных экосистемах//Продукционно-гидробиологические исследования водных экосистем. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1987. С. 69-82.
9. Лебедев Ю.М. Биотический баланс водотоков и его изменение в результате зарегулирования стока: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Москва, 1988. 42 с.
10. Леванидова И.М., Лукьяничко Т.И., Тесленко В.А., Макарченко М.А., Семенченко А.Ю. Экологические исследования лососевых рек Дальнего Востока СССР//Систематика и экология речных организмов. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 74-111.
11. Макарченко Т.А., Остапеня А.П., Михеева Т.М. Экспресс-метод оценки скорости роста и продукционных характеристик перифитона//Гидробиол. ж. 1987. Т. 25, № 4. С. 76-80.
12. Оксиков О.П., Юрченко В.В., Карпезо Ю.И. и др. Первичная продукция и деструкция органического вещества в каналах юга СССР//Гидробиол. ж. 1981. Т. 17, № 5. С. 48-53.
13. Озельник Г.М., Якушин В.М. К методике определения деструкции органического вещества в донных отложениях//Гидробиол. ж. 1989. Т. 25, № 4. С. 83-86.
14. Сиротский С.Е. Продукционные характеристики водорослей перифитона водотоков Дальнего Востока//Современные проблемы гидроэкологии. Тезисы и аннотации докладов. СПб., 1995. С. 52.
15. Сиротский С.Е., Медведева Л.А. Пигментные характеристики водорослей перифитона водотоков Дальнего Востока//Биогеохимические и экологические исследования природных и техногенных экосистем Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1996. С. 86-96.
16. Сиротский С.Е., Медведева Л.А., Макарченко Е.А., Макарченко М.А. Гидробиологическое состояние водотоков в районе деятельности горнообогатительного комбината п. Многогорный//Биогеохимические и экологические оценки техногенных экосистем бассейна реки Амур. Владивосток: Дальнаука, 1994. С. 68-82.
17. Цехларашвили Л.П. Первичная продукция планктона Кумисского водохранилища//Биологическая продуктивность Кумисского водохранилища. Тбилиси: Мецниереба, 1989. С. 22-37.
18. Albright L.J., Masuda K.V., Ennis G.I. Effects of stream-bank materials additions upon microbial activities of two subarctic Canadian rivers//Water Res. 1980. V. 14, № 9. P. 1363-1366.
19. Boot J.T., Dunn C.S., Naiman R.J. et al. Benthic community metabolism in four separate stream systems: An inter-biome comparison and evaluation of the river continuum concept//Hydrobiologia. 1985. V. 123, P. 1-45.
20. Busch D., Fischer S.C. Metabolism of a desert stream//Freshwater Biol. 1981. V. 11, № 4. P. 753-783.
21. Ecosystem of the World. River and stream ecosystems. V. 22. ELSEVIER, 1995. \$17 p.
22. Hannsman S.W., Lane C.B., Hall J.D. A direct method of measuring benthic primary production in streams//Limnol. and Oceanogr. 1971. V. 16, № 5. P. 822-826.
23. Helan J. Primary production of a eutrophic stretch of the river Juvlava//Preliminary report «Folia prirodoved. fak. UJEP Brno». 1978. V. 19, № 2. P. 5-15.
24. Jeffrey S.W., Humphrey G.F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c and c₂ in higher plants and natural phytoplankton//Biochem. und Physiol. Pflanz. 1975. Bd 167, № 2, S. 191-194.
25. King D.L., Ball R.C. Comparative energetics of a polluted stream//Limnol. And Oceanogr. 1967. V. 12, № 1, P. 27-33.
26. Marcus M.D. Periphytic community response to chronic nutrient enrichment by a reservoir discharge//Ecology. 1980. V. 61, № 2, P. 387-399.
27. Marxen J. Untersuchungen zur ökologie der Bakterien in der fließenden Welle von Bachem. I. Chemismus, Primärproduktion, CO₂-Dunkelfixierung und Eintrag von partikularem organischen Material//Arch. Hydrobiol. 1980. Bd 57, № 4. S. 461-533.

28. *Mc Connel W.J., Sigler W.F.* Chlorophyll and productivity in a mountain river//Limnol. And Oceanogr. 1959. V. 4, № 3, P. 335-351.
29. *Mc Intire C.D., Phynney H.K.* Laboratory studies of periphyton production and community metabolism in lotic environment//Ecol. Monogr. 1965. V. 35, № 3, P. 237-258.
30. *Medvedeva L.A.* Sessile algae of the Kedrovaya stream and its tributaries (Primorye Far East)//Report of the Studies on the Structure and Function of River Ecosystems of the Far East. V. 3. Japan. Tokyo, 1995. P. 13-19.
31. *Murphy S.L.* Primary production and grazing in freshwater and intertidal reaches of a coastal stream, Spatheast Alaska//Limnol. and Oceanogr. 1984. V. 29, № 4, P. 805-815.
32. *Nakanishi M., Yamamura N.* Seasonal Changes in the Primary Production and Chlorophyll a Amount of Sessile Algal Community in a Small Mountain Stream, Chiggonosawa//Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ., Ser. Biol., 1984. V. 1X, P. 41-55.
33. *No Sinn-Chye.* Periphyton production in a tropical lowland stream polluted by inorganic sediments and organic wastes//Arch. Hydrobiol. 1976. V. 77, № 4, P. 458-474.
34. *O'Connel R.L., Thomas N.A.* Effects of benthic algae on stream dissolved oxygen//J. Sanit. Eng. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. 1965. V. 91, № 3, P. 1-16.
35. *Parsons T.R., Strickland J.D.N.* Discussion of spectrophotometric determination of marine plant pigments with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids//J. Mar. Res. 1963. V. 21, № 3, P. 155-163.
36. *Pennac R.W., Lavolle J.W.* In situ measurements of net primary production in a Colorado mountain stream//Hydrobiologia. 1979. V. 66, № 3, P. 155-163.
37. *Pfeifer R.J., Mc Differt W.F.* Some factors affecting primary productivity in stream riffle communities//Arch. Hydrobiol. 1975. V. 75, № 3, P. 306-317.
38. Report of SCOR - UNESCO working group 17 Determination of photosynthetic pigments in seawater. UNESCO, 1966. P. 9-18.
39. *Sumner W.T., Mc Intire C.D.* Graser-periphyton interaction in laboratory streams//Arch. Hydrobiol. 1982. V. 93, № 2, P. 135-157.
40. *Tominaga H., Ichimura S.* Ecological studies on the organic matter production in a mountain river ecosystem//Bot. Mag. Tokio, 1966. V. 73, P. 815-829.
41. *Tominaga H., Medvedeva L.A., Sirotsky S.E.* Primary production of organic matter by sessile algae in Kedrovaya stream, Primorye, the East of Russia - A preliminary report//Studies on the Structure and function of River Ecosystems of the Far East, 2, Report of the work supported by Japan Society for the Promotion of Science, 1992, 1993. P. 69-70.
42. *Wachs B.* Produktionsbiologische Untersuchungen an der Loisach anhand von Aufwuchsmessungen//Arch. Hydrobiol. 1983. Bd 68, № 1, S. 77-99.
43. *Waters T.F.* Notes on the chlorophyll method of estimating the photosynthesis capacity of stream periphyton//Limnol. And Oceanogr. 1961. V. 6, № 4, P. 486-488.

С.Е. Сиротский **К вопросу о трофической классификации водоемов и водотоков на основании величин первичной продукции и концентрации хлорофилла "а"**

Колличественные данные по первичной продукции лежат в основе трофической классификации водоемов, которая в свою очередь служит для рыбохозяйственной типологии водных ресурсов. Благодаря широкому кругу вопросов, решаемых с помощью исследований первичной продукции, эта тематика стала центральным звеном как лимнологии, так и океанологии и к настоящему времени достигла уровня особой гидробиологической дисциплины [2].

Тема градации водоемов по величинам первичной продукции фитопланктона и содержанию хлорофилла в сестоне широко обсуждается в литературе [1, 2, 3, 4, 8, 13]. Впервые с полной определенностью первичная продукция как важнейший критерий трофности водоемов был обоснован и выделен Г.Г. Витберггом [3]. Развитие и современное состояние вопроса о трофической классификации лимнических экосистем по величине первичной продукции планктона и концентрации хлорофилла "а" подробно изложено В.В. Бульоном [1, 2]. Для океанических вод - в работе [4]. По этим показателям трофический статус океанических вод находится на более низком уровне по сравнению с внутренними водоемами.

Наряду с определением трофического статуса лимнических экосистем, где основу первичной продукции составляют водоросли планктона, значительный научный и практический интерес представляет типология речных экосистем [8].