

**ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПИГМЕНТЫ ВОДРОСЛЕЙ
ПЕРИФИТОНА В ВОДОТОКАХ СИХОТЭ-АЛИНСКОГО
БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА**

С.А. Белая, Н.К. Христофорова

*Дальневосточный федеральный университет, ул. Октябрьская, 27,
Владивосток, 690091, Россия. E-mail: belaya41@mail.ru*

На основании качественного и количественного анализа фотосинтетических пигментов водорослей перифитона дана оценка экологического состояния водотоков Сихотэ-Алинского заповедника и прилегающих к нему территорий. Показано, что в целом заповедные водотоки находятся в благополучном состоянии и обладают высокой степенью биологической продуктивности. Выделяются из общего числа крупные реки, протекающие вдоль автомобильных трасс. Физиологическое состояние водорослей перифитона в этих водотоках нарушено.

**PHOTOSYNTHETIC PERIPHYTON PIGMENTS IN THE
RIVERS OF SIKHOTE-ALINSKY BIOSPHERE RESERVE**

S.A. Belaya, N.K. Khristoforova

*Far Eastern Federal University, 27 Oktyabrskaya Str., Vladivostok, 690091, Russia.
E-mail: belaya41@mail.ru*

Ecological state assessment of the rivers of Sikhote-Alinsky Reserve and adjacent territory is given on the basis of the analysis of photosynthetic pigments of periphytic algae. It is shown that reserved waters are in satisfactory condition and have a high trophic state index. Physiological state of periphytic algae in large rivers flowing along the roads is distressed.

В 2009 г. сотрудниками Дальневосточного государственного университета были проведены мониторинговые исследования водотоков Сихотэ-Алинского биосферного заповедника, которые включали в себя определение базовых гидрохимических показателей и анализ фотосинтетических пигментов перифитона. К настоящему моменту накоплен обширный материал по отдельным компонентам сообществ водотоков. В частности, выявлен видовой состав альгофлоры (Медведева, 1997), ведется изучение фауны водных беспозвоночных (Потиха, 2008). Полученные нами данные расширяют сложившееся представление о структурной организации и функционировании пресноводных комплексов заповедника.

Цель настоящей работы – дать экологическую оценку состояния водотоков заповедника и сопредельных территорий на основе качественного и количественного анализа фотосинтетических пигментов перифитона.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Фотосинтетические пигменты водорослей перифитона определялись следующим образом: с глубины 0,2–0,45 м методом случайной выборки доставали 3–4 камня (небольшая галька). Пробы (камни с обрастаниями) подвергались глубокой заморозке и доставлялись в город в портативном холодильнике. Далее камни помещали в пластиковую посуду, заливали 90%-ным ацетоном и выдерживали в холодильнике 24 ч. Экстракт вместе с камнем переносили в ступку, где кисточкой из нержавеющей стали счищали все обрастания. Осадок тщательно растирали и вместе с надосадочной жидкостью помещали в мерный цилиндр. Таким путем учитывался коэффициент разведения (K). Площадь камней (S) определяли по их проекции на бумаге, весовым методом. Светорассеивающая взвесь удалялась из экстракта центрифугированием.

Анализ пигментов основывается на стандартном спектрофотометрическом методе. Концентрации хлорофиллов *a*, *b* и *c* рассчитывали по формулам Джеффри и Хамфри, каротиноидов – по формуле Парсонса и Стрикланда, содержание феофитина *a* – согласно ГОСТ 17.1.04.02-90 (ГОСТ, 1990; Методы..., 1979; Руководство..., 2003).

Всего за период исследования для определения пигментных характеристик было собрано и обработано 62 пробы камней с 10 станций (рисунок).

РАЙОН РАБОТ

Для исследования были выбраны различающиеся по экологическим условиям водотоки. Учитывался как их гидрологический режим, так и фактор антропогенного воздействия.

Станции 1, 2 – руч. Сухой. Лесной ручей, с высокой степенью затененности. Протяженность около 7,5 км. Ширина ручья в среднем течении в послепаводковый период летом 2009 г. составляла 5 м, скорость течения 1,5 м/с. Глубина не превышала 0,8 м. Дно выстлано крупными, до 20 см, валунами и небольшими камнями. В затонах на границе с течением аккумулируется песок, ил, крупный детрит. Пробы отбирались в верхнем (ст. 1) и среднем (ст. 2) течениях ручья.

Станции 3, 4, 5 – реки Ясная, Заболоченная и Серебрянка. Отбор проб на реке Серебрянка проводился примерно в 10 км от устья, у моста за пос. Артёмово (ст. 5). На данном участке река имеет широкое русло с сильным, бурным течением. Здесь же, чуть выше места впадения р. Заболоченная, располагалась ст. 4. Река Заболоченная представляет собой довольно крупный левый приток р. Серебрянка. В верховьях протекает по узкой, окаймленной скалистыми уступами, долине, которая расширяется на притоках. Таким участком и является устье р. Ясная (ст. 3). Река Ясная – река горного типа, с сильным течением, порогами и водопадами. Протекает по заповедной территории. Ширина устья – 6 м.

Ст. 6 – руч. Золотой – приток р. Таежная. Находится примерно в 2,5 км от хвостохранилища ПГРК «Восток», восстановленного рудника «Серебряный», где ведется разработка серебряного месторождения. В период летней съемки скорость

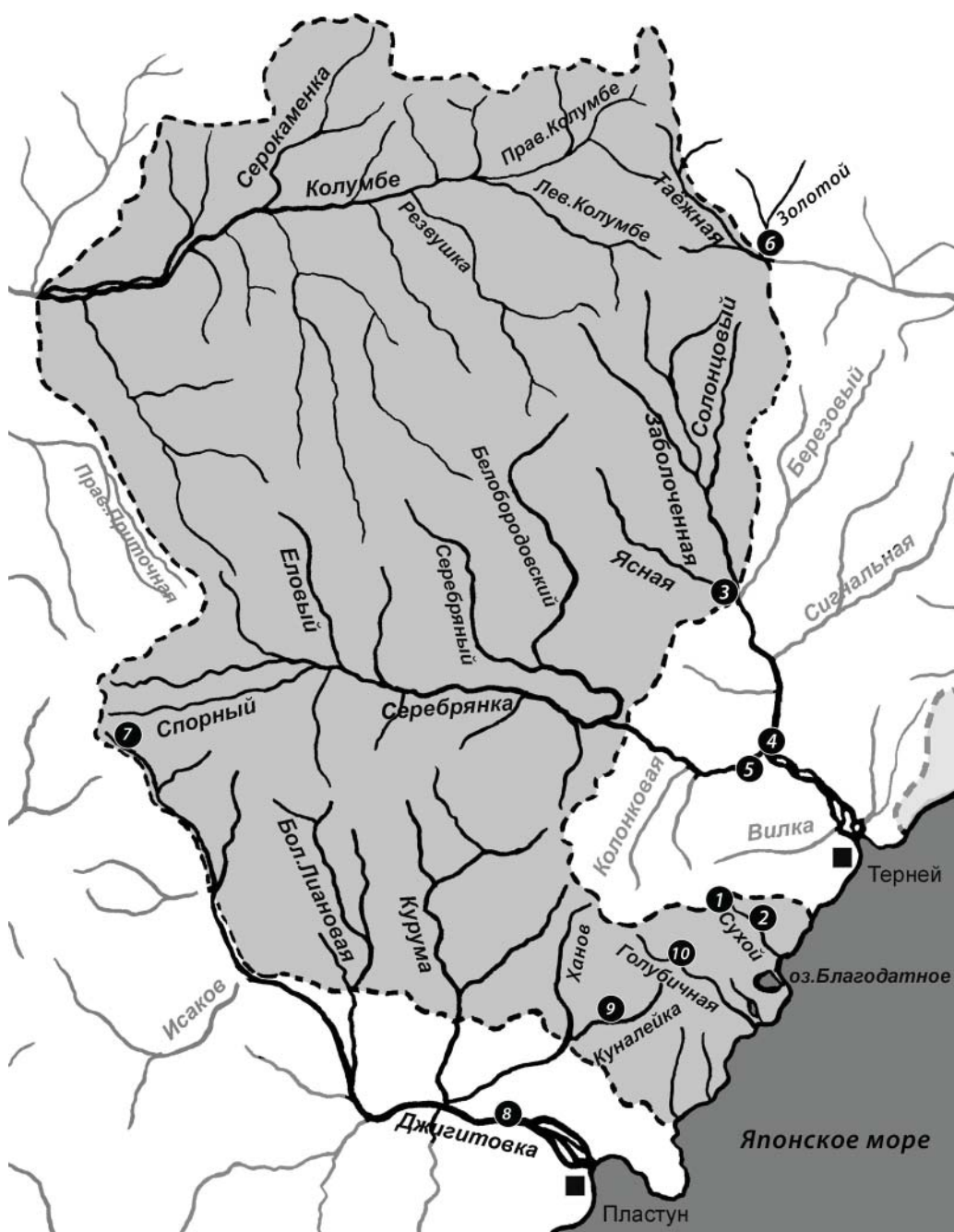


Схема расположения станций отбора проб на анализ фотосинтетических пигментов

течения составляла 1 м/с, при ширине ручья 5 м. Зарегистрирована высокая степень минерализации воды, о чем свидетельствует максимальная для всех исследуемых водотоков электропроводность 79 μS и температура 4,9 °С.

Станции 7, 8 – р. Джижитовка – одна из крупнейших рек восточного макросклона Сихотэ-Алиня. Верховья реки (ст. 7) – заповедная территория, на которой сохранилась уникальная экосистема кедрово-широколиственных лесов в неизмен-

ном виде. Горный характер этой местности, узкие долины и крутые склоны, определяют высокую скорость течения реки. После летнего паводка 2009 г. она составила 2,5 м/с при ширине русла 12 м (ниже впадения руч. Исаков). В устьевой части река расширяется и скорость течения снижается. Ст. 8 находилась примерно в 10 км от устья, скорость течения реки на этом участке в начале июля 2009 г. составила 2 м/с. Вдоль всей реки проходит автотрасса, ведущая в поселки Пластун и Терней. Река впадает в Японское море.

Ст. 9 – р. Куналейка – приток р. Джигитовка. В своем верхнем течении протекает по территории заповедника. Вдоль реки проложена трасса на пос. Терней. Вода желтая, но прозрачная. Дно – песок, галька у берега. Ширина русла в месте отбора проб 15 м.

Ст. 10 – р. Голубичная. Несмотря на горные истоки, в среднем течении река приобретает равнинный характер. Здесь располагалась ст. 10. В устьевой части река протекает по равнинной болотистой местности. Впадает в Японское море.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Перифитон – очень ценная в отношении биоиндикации экологическая группа. К ней относятся организмы «обрастатели», обитающие на различном по характеру донном субстрате. Это бактерии, низшие грибы, водоросли, в том числе нитчатые. В более широком толковании термин применяется для обозначения поселения всех живых организмов-гидробионтов на выступающих участках дна. Приуроченность к субстрату делает перифитон интегральным показателем текущего состояния водной среды, который при этом позволяет отслеживать динамику происходящих изменений во времени и пространстве. Более того, водоросли перифитона, формируя свыше 80 % новообразованного органического вещества (Hansson, 1992), являются основными первичными продуцентами для пресноводных экосистем, в особенности для водотоков горного и предгорного типов (Медведева, Сиротский, 1998; Сиротский, 1998). Информация о физиологических характеристиках перифитонного сообщества, в частности, данные о степени развития, функциональном состоянии и продуктивности водорослей, позволяют судить об экологическом благополучии водотока и степени его эвтрофикации.

Известно, что различные классы водорослей различаются по составу фотосинтетических пигментов. Так, водоросли классов Chlorophyceae и Euglenophyceae содержат хлорофиллы *a* и *b* и в качестве вспомогательных пигментов – каротиноиды. У представителей Dinophyceae, Chrysophyceae, Bacillariophyceae, Xanthophyceae, Phaeophyceae и у некоторых представителей Rhodophyceae вспомогательными пигментами к хлорофиллу *a* служат хлорофиллы *c* и *d* (Бриттон, 1986). Таким образом, изучение количественных соотношений между различными пигментами даёт возможность судить о преобладании той или иной группы водорослей.

Результаты измерений концентраций фотосинтетических пигментов водорослей перифитона водотоков Сихотэ-Алинского заповедника представлены в табл. 1.

В целом для большинства исследованных водотоков характерно относительно равномерное распределение водорослей всех отделов (табл. 2). Отдельно выделяются станции небольших водотоков со слабым течением, высокой степенью

Таблица 1
Средние величины фотосинтетических пигментов в перифитоне водотоков Сихотэ-Алинского заповедника

№	Станция	Дата	C'_a (мг/м ²)	C_b (мг/м ²)	C_c (мг/м ²)	$C_{кар}$ (мг/м ²)	$C'_ф$ (мг/м ²)	
1	руч. Сухой (верхнее течение)	07.2009	77,86	72,23 ± 25,4	26,37	0,86	45,86	10,2
		10.2009	51,76	49,87 ± 22,6	9,63	1,09	37,07	3,64
2	руч. Сухой (среднее течение)	07.2009	97,65	67,56 ± 39,2	35,5	7,81	54,23	51,93
		10.2009	97,56	90,11 ± 56,5	63,94	1,42	79,41	13,44
3	Слияние рек Ясная и Заболоченная	04.2009	68,64	58,74 ± 66,7	31,39	20,5	81,95	20,33
		07.2009	19,07	13,2 ± 4,4	2,06	2,65	10,34	10,13
4	Устье р. Заболоченная	10.2009	38,07	36,16 ± 15,6	0,5	0,17	29,43	3,55
		04.2009	93,47	71,43 ± 31,9	39,73	47,96	188,39	38,22
5	р. Серебрянка (мост за пос. Аргёмово)	04.2009	37,02	29,57 ± 33,7	14,03	7,43	38,03	12,95
		10.2009	12	11,17 ± 4	0,73	1,68	16,2	2,77
6	руч. Золотой	04.2009	74,06	61,3 ± 32,4	17,62	15,25	80,73	22,28
		07.2009	63,46	51,96 ± 53,4	12,6	1,53	47,78	20,06
7	р. Джигитовка (верховье)	10.2009	68,56	65,95 ± 20,2	1,08	5,55	49,67	4,98
		07.2009	23,28	20,4 ± 6,7	4,1	0,64	13,85	5,08
8	р. Джигитовка (мост, нижнее течение)	10.2009	85,65	81,52 ± 50,4	1,98	4,26	81,54	7,72
		04.2009	5,22	1,27 ± 0,8	5,52	7,43	8,29	6,75
9	р. Куналейка	07.2009	3,83	2,64 ± 0,9	0,02	0,62	2,58	2,05
		10.2009	9,07	8,62 ± 6,8	3,39	4,76	26,3	0,84
10	р. Голубичная (среднее течение)	07.2009	4,91	4,57 ± 1	0,54	0,45	2,76	0,62
		04.2009	115,75	95,37 ± 27,1	27,95	20,74	123,31	35,57
		10.2009	13,66	9,58 ± 3,8	2,22	2,68	5,02	7,05
		10.2009	26,6	22,81 ± 5,1	3,01	2,37	15,4	6,65

Примечание: C'_a – концентрация хлорофилла *a* без учета поправки на присутствие феофитина *a*; C_b – концентрация хлорофилла *b*; C_c – концентрация хлорофилла *c*; $C_{кар}$ – концентрация каротиноидов; $C'_ф$ – концентрация феофитина *a*.

затененности и обильным растительным детритом – ручьи Сухой, Золотой, верховье р. Джигитовка. Превышение значений отношения хлорофилла b к хлорофиллу a (b/a) над величинами соотношения хлорофилла c к хлорофиллу a (c/a) говорит о том, что ведущее положение здесь занимают зеленые и синезеленые водоросли.

Единственной станцией с доминированием в сообществе перифитона диатомовых водорослей (c/a составило 2,21, превысив, b/a равное 1,58) оказалась ст. 8 – нижнее течение р. Джигитовка, под мостом автотрассы на поселки Пластун и Терней. Эта бурная река с широким руслом, пологим берегом и песчаным, малокаменистым дном на данном участке характеризуется нами как условно загрязненная.

Соотношения между концентрацией хлорофилла a и другими пигментами указывают также и на физиологическое состояние водорослей. Низкие значения соотношения каротиноидов и хлорофилла a ($кар/a$) считаются индикаторами физиологического благополучия водорослей, т.е. свидетельствуют о наличии фотосинтетически активных клеток; высокие, напротив, отражают неактивное состояние. Есть мнение, что при неблагоприятных условиях в первую очередь разрушается хлорофилл a . Это явление сопровождается накоплением более устойчивых к разрушению каротиноидов (Бриттон, 1986). Данный процесс можно выявить и с помощью пигментного индекса (D430:D663) – ПИ.

Максимальные значения соотношения общих каротиноидов к хлорофиллу a во все сезоны наблюдались на ст. 8, что указывает на присутствие факторов, снижающих фотосинтетическую активность клеток водорослей и препятствующих нормальному развитию перифитонного сообщества на данном участке. Минимальные же значения в каждой съемке отмечены на заповедной реке Голубичная (ст. 10), где стабильно высокий уровень фотосинтетической активности свидетельствует об экологическом благополучии данного водотока.

Величины пигментного индекса (ПИ) в целом следуют за выявленными значениями, подтверждая максимумы подверженных антропогенному воздействию участков (табл. 2). Так, наибольшие величины ПИ – 5,47 и 4,17, отмечаемые нами в конце октября 2009 г. на станциях 8 и 5, соответствуют максимумам отношения $кар/a$ в указанный сезон.

Для характеристики физиологического состояния водорослевого сообщества большое значение имеют данные о содержании феофитина – первичного продукта распада хлорофилла. Старение или распад хлоропластов ведет к разрушению хлорофилла, теряется ион Mg, что, в свою очередь, приводит к образованию феофитина. Таким образом, отношение хлорофилла a к феофитину a ($a/фео$) < 1 , указывает на отмирание и разложение водорослей (Бриттон, 1986; Руководство..., 1992). Единственный пример, подпадающий под этот случай, это ст. 8 в весенний период. Важно отметить, что все три показателя физиологического состояния перифитонного сообщества ($кар/a$, ПИ, $a/фео$) в той или иной мере определяют экологическое состояние данной станции как измененное, функционально нарушенное.

Факторами, влияющими на формирование биомассы перифитона, являются гидрологический и гидрохимический режим водотока. К менее влиятельным относят температуру, характер субстрата и структуру трофических отношений в среде, к решающим – свет и наличие питательных веществ (Hansson, 1992). Для

Таблица 2

Средние величины соотношений между фотосинтетическими пигментами

№	Станция	Дата	b/a	c/a	b/c	$кар/a$	ПИ	$a/фео$
1	руч. Сухой (верхнее течение)	07.2009	0,28	0,02	16,56	0,63	1,95	7,08
		10.2009				0,74	2,16	13,72
2	Руч. Сухой (среднее течение)	07.2009	0,62	0,07	9,41	0,80	2	1,3
		10.2009				0,88	2,28	6,71
3	Слияние рек Ясная и Заболоченная	04.2009	0,23	0,18	1,27	1,40	2,16	3,32
		07.2009				0,78	2,41	1,3
		10.2009				0,81	2,61	10,18
4	Устье р. Заболоченная	04.2009	0,56	0,67	0,83	2,64	3,62	1,87
5	р. Серебрянка (мост за пос. Артёмово)	04.2009	0,27	0,20	1,34	1,29	2,15	2,28
		10.2009				1,45	4,17	4,03
6	руч. Золотой	04.2009	0,18	0,12	1,51	1,32	2,26	2,75
		07.2009				0,92	2,37	2,59
		10.2009				0,75	2,22	13,25
7	р. Джигитовка (верховье)	07.2009	0,11	0,04	2,70	0,68	1,9	4,02
		10.2009				1,00	2,14	10,57
8	р. Джигитовка (мост, нижнее течение)	04.2009	1,58	2,21	0,71	6,50	2,05	0,19
		07.2009				0,98	2,44	1,28
		10.2009				3,05	5,47	10,28
9	р. Куналейка	07.2009	0,12	0,10	1,19	0,60	2,71	7,32
10	р. Голубичная (среднее течение)	04.2009	0,22	0,20	1,09	1,29	2,25	2,68
		07.2009				0,52	2,3	1,36
		10.2009				0,67	2,21	3,43

Примечание: (b/a) – отношение хлорофилла b к хлорофиллу a ; (c/a) – хлорофилла c к хлорофиллу a ; (b/c) – хлорофилла b к хлорофиллу c ; ($кар/a$) – каротиноидов к хлорофиллу a ; ($a/фео$) – хлорофилла a к феофитину a ; (ПИ) – значение пигментного индекса.

проточных водоемов многие авторы (Сиротский, Медведева, 1996; Медведева, Сиротский, 1998) отмечают определяющую роль паводка в развитии сообществ перифитона.

Сильное течение, широкое русло, большая водосборная площадь обуславливают низкие биомассы водорослей перифитона на станциях 5, 8, 9, а выраженное антропогенное воздействие на тех участках, которые прилегают к автомобильным трассам, сказывается на физиологическом состоянии водорослей (станции 5, 8).

В целом же, водотоки, протекающие по территории заповедника, находятся в благополучном стабильном состоянии, характеризуются высоким уровнем трофности и фотосинтетической активности.

ЛИТЕРАТУРА

- Бриттон Г. 1986. Биохимия природных пигментов. М.: Мир. 422 с.
 ГОСТ 17.1.04.02–90. ВОДА. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла a . 1990. М.: Издательство стандартов. 14 с.

- Медведева Л.А. 1997.** Водоросли Сихотэ-Алинского биосферного заповедника: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток. 19 с.
- Медведева Л.А., Сиротский С.Е. 1998.** Продукционные характеристики водорослей перифитона р. Кедровая (Приморье) // Биогеохим. и гидроэкол. исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: Дальнаука. С. 63–76.
- Методы химического анализа в гидробиологических исследованиях. 1979.** Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 131 с.
- Потиха Е.В. 2008.** Донные беспозвоночные пресных вод Сихотэ-Алинского биосферного заповедника и прилежащих территорий: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток. 24 с.
- Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. 1992.** СПб.: Гидрометеиздат. С. 164–173.
- Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. 2003.** М.: Изд-во ВНИРО. С. 134–141.
- Сиротский С.Е., Медведева Л.А. 1996.** Пигментные характеристики водорослей перифитона водотоков Дальнего Востока // Биогеохим. и экол. исследования природных и техногенных экосистем Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука. С. 86–96.
- Сиротский С.Е. 1998.** К вопросу о трофической классификации водоемов и водотоков на основании величин первичной продукции и концентрации хлорофилла «а» // Биогеохим. и гидроэкол. исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: Дальнаука. С. 77–83.
- Hansson L.-A. 1992.** Factors regulating periphytic algal biomass // *Limnology and Oceanography*. V. 37. P. 322–328.