

**ВОЗМОЖНОСТИ СОВМЕСТНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
РЕЧНЫХ ВОД ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ
И САПРОБНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ
ПЕРИФИТОНА (НА ПРИМЕРЕ РЕК ЮЖНОГО И
ЗАПАДНОГО ПРИМОРЬЯ)**

В.М. Шулькин¹, Т.В. Никулина²

*¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, ул. Радио, 7, Владивосток,
690041, Россия. E-mail: shulkin@tig.dvo.ru*

*²Биолого-почвенный институт ДВО РАН, пр. 100-летия Владивостока, 159,
Владивосток, 690022, Россия. E-mail: nikulina@ibss.dvo.ru*

Охарактеризовано влияние антропогенной нагрузки, в том числе строительства переходов трубопроводов большого диаметра, на гидрохимические параметры и состояние водорослей перифитона разнопорядковых рек южного и западного Приморья. Показано, что наиболее важными природными факторами, определяющими степень локального техногенного воздействия, являются размер водотока и степень заболоченности водосбора. Содержание взвеси, концентрация растворенных форм Fe и Mn, минерализация и показатель ХПК являются гидрохимическими параметрами, наиболее чутко реагирующими на антропогенную нагрузку. Показана необходимость разработки региональной шкалы для оценки качества воды по составу водорослей перифитона.

**ASSESSMENT OF THE RIVER WATER QUALITY
BY HYDROCHEMICAL PARAMETERS
AND SAPROBIC INDEX OF PERIPHYTON ALGAE
(SOUTH AND WEST PRIMORYE RIVERS AS EXAMPLE)**

V.M. Shulkin¹, T.V. Nikulina²

*¹Pacific Geographical Institute, FEB RAS, 7 Radio Str., Vladivostok, 690041, Russia.
E-mail: shulkin@tig.dvo.ru ²*

*Institute of Biology and Soil Science, FEB RAS, 100 Letiya Vladivostoka Avenue,
Vladivostok, 690022, Russia. E-mail: nikulina@ibss.dvo.ru*

The anthropogenic influence including construction of pipeline crossings on the hydrochemical parameters and periphyton algae was studied for the different rivers of south and west Primorye. The size of watershed and amount of swamps are the major natural factors controlling the local anthropogenic influence on the chemical characteristics. Suspended solids, water mineralization, dissolved Fe and Mn, and COD are the parameters more sensible to the anthropogenic load. The necessity of the regional scale was shown for the assessment of water quality by periphyton composition.

Качество речных вод является основой для оценки состояния речных экосистем в целом, в том числе с точки зрения их устойчивости к антропогенным нагрузкам. В свою очередь, качество вод определяется их химическим составом, гидробиологическими и микробиологическими характеристиками. При этом оценка качества воды по химическим показателям наиболее разработана, унифицирована и позволяет сравнивать объекты, расположенные в различных природно-климатических зонах и с разным уровнем антропогенной нагрузки. В то же время изучение вод с точки зрения их пригодности для жизни и водопользования требует характеристики состава и условий функционирования гидробионтов в экосистемах. При очевидной необходимости привлечения биологических данных для оценки качества вод, масштаб применения гидробиологических показателей значительно меньше, чем химических параметров. Объективными причинами относительного отставания в использовании гидробиологических методов являются разнообразие природных факторов, контролирующей жизнедеятельность гидробионтов, а также высокая природная пространственно-временная изменчивость их количественного и качественного состава. Комплексных оценок изменения качества речных вод под влиянием антропогенной нагрузки, включающих одновременно гидробиологические и химические показатели, проводится явно недостаточно.

Очевидно, что ключевыми факторами, определяющими состояние речных вод, являются характер и интенсивность хозяйственной деятельности человека. Однако разновидности антропогенного влияния сильно варьируют, поэтому наблюдения за изменением качества речных вод в ходе строительства протяженных трубопроводных систем дают возможность оценить отклик водных экосистем на более или менее одинаковую техногенную нагрузку. Целями данной работы являются: во-первых, изучение изменения химического состава вод и водорослевой составляющей перифитона рек южного и западного Приморья под влиянием хозяйственной деятельности человека, в том числе, в виде строительства переходов трубопроводов большого диаметра; и во-вторых, характеристика возможностей совместного использования гидрохимических и гидробиологических показателей для оценки антропогенного прессинга на качество речных вод.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пробы воды и водорослей перифитона отбирались и обрабатывались по стандартным методикам (Водоросли, 1989; Федеральный перечень..., 1996). При этом в ходе отбора, пробоподготовки и анализа проб воды принимались меры, обеспечивающие необходимое качество гидрохимических данных (фильтрация на месте отбора через капсульные фильтры, использование особо чистых реактивов, анализ некоторых параметров *in situ*). Кроме рек, через которые будут прокладываться трубопроводы, была протестирована р. Раздольная на протяжении от границы с КНР до с. Раздольного, как пример водотока с явной антропогенной нагрузкой на водосбор. В случае проведения строительных работ на переходах трубопроводов через реки, пробы отбирались выше и ниже места строительства. К сожалению, в связи с неблагоприятными природными условиями, не всегда удавалось отобрать пробы перифитона. Всего за 2009–2010 гг. изучено 19 рек с одновременным отбором гидрохимических и гидробиологических проб на 36 точ-

ках. Общее количество обследованных водотоков южного и западного Приморья за этот период превышало 40. В число определяемых гидрохимических параметров входили: рН, растворенный кислород, электропроводность, содержание макроионов, концентрация некоторых микро- и биогенных элементов, химическое потребление кислорода (ХПК).

Для санитарно-биологической оценки качества вод был идентифицирован таксономический состав альгофлоры каждого обследованного участка, учтены количественные характеристики (численность и биомасса) водорослей, выявлены комплексы доминирующих видов и рассчитаны индексы сапробности по методу Пантле-Бука в модификации Сладечека по составу видов-индикаторов органического загрязнения (Pantle, Buck, 1955; Сладечек, 1967; Sládeček, 1967).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обследованные водотоки сильно различаются по своим гидрологическим и гидрохимическим характеристикам. По размеру выделяются крупные реки с размером водосборов более 15000 км² (Раздольная, Уссури, Большая Уссурка, Бикин), реки с размером водосбора 500–1500 км² (Артемовка, Кабарга, Снегуровка), малые реки с размером водосбора от 30 до 300 км² (Литовка, Шкотовка (верховья), Сорочевка, Черниговка, Вассиановка, Медведица, Новорудная, Екатериновка и др.) и ручьи с размером водосбора менее 30 км² (Мананкина, Золотой, Симонов, Широкий и др.).

Ранее было показано, что общая минерализация, легко и надежно определяемая по величине электропроводности, является для ультрапресных и пресных речных вод Приморья удобным показателем процессов, происходящих на территориях водосборов рек, и в частности, интенсивности хозяйственной деятельности человека. При этом минерализация возрастает от паводков к межени и степень этого увеличения максимальна (100–150 %) для рек с максимальной антропогенной нагрузкой и минимальна (10–40 %) для чистых горных рек юго-запада Приморья и крупных рек Б. Уссурки и Бикина, дренирующих относительно малоосвоенные таежные территории (Шулькин и др., 2009). Среди рек, обсуждаемых в данной работе, минимальная минерализация (менее 50 мг/л) также наблюдается в типичной горно-таежной малой реке Литовке и в самых крупных реках Бикине и Б. Уссурке. Максимальная минерализация (более 90 мг/л) характерна для рек Раздольной и Вассиановки, подверженных значительному общему антропогенному прессу. Влияние локальной техногенной нагрузки (строительство переходов) на минерализацию проявляется только в ручьях.

Концентрация биогенных элементов, в частности, аммонийных форм азота, является одним из показателей антропогенной, особенно сельскохозяйственной, нагрузки на водосбор. Кроме того, повышенная концентрация аммонийного азота характерна для водотоков, дренирующих сильно заболоченные водосборы. Если рассматривать изменение концентраций биогенных элементов относительно участков строительства переходов, то увеличение количества биогенов ниже места нарушения русла наблюдается только на водотоках, где в ходе строительства произошло изменение естественного потока воды (например, подпруживание или заболачивание). Но и в этих случаях наблюдаемая концентрация аммонийных форм азота не превышает предельно допустимых концентраций (ПДК) для рыбо-

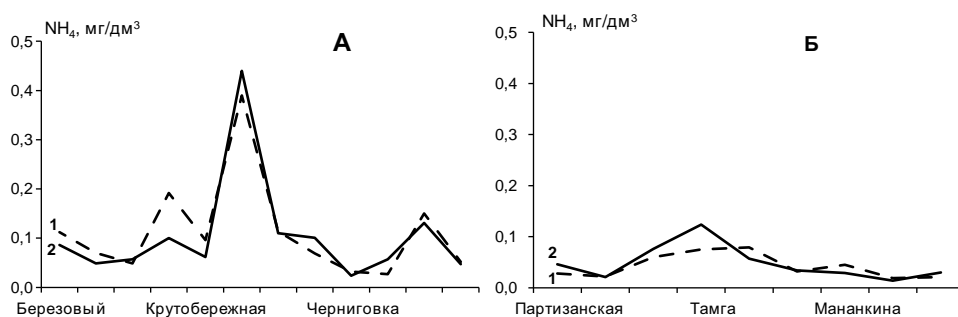


Рис. 1. Изменение концентрации аммонийного азота в реках западного Приморья выше (1) и ниже (2) мест строительства переходов трубопровода, лето–осень 2010 г.

хозяйственных водоемов – 0,4 мгN/л. Исключение составляет р. Челдонка, расположенная на северо-западе Приморья, с сильно заболоченной поймой, водообмен на которой был кардинально изменен при строительных работах. В результате усиленного дренажа болотных вод в нижнем течении реки Челдонки увеличилась концентрация аммонийных форм азота до 0,45 мгN/л (рис. 1). Здесь также наблюдалось значительное увеличение показателя ХПК и концентраций растворенных Fe, Mn, Zn, фосфатов и нитритов. К сожалению, подходящего субстрата для отбора проб перифитона в нижнем течении р. Челдонка обнаружить не удалось.

Влияния локальной антропогенной нагрузки в виде строительства переходов на содержание в воде других биогенных элементов не обнаружено. Вариации концентрации растворенных форм фосфора и кремния, в отличие от азота, определяются, прежде всего, ландшафтными особенностями водосборов рек, в том числе составом пород. В крупных реках значительное влияние на сезонное изменение концентрации этих биогенных элементов оказывает активность фитопланктона (Шулькин, Семькина, 2005).

Показатель ХПК отражает содержание в речных водах органического вещества и широко используется для оценки антропогенной нагрузки, хотя очевидно, что значительная часть органического вещества имеет природный генезис. Повышенная величина ХПК (> 30 мгО/л) характерна для вод среднего течения р. Раздольная в период летнего паводка за счет выноса органических загрязнений с территории КНР, но в меженный период ХПК не превышает ПДК 15 мгО/л (рис. 2А). Кроме того, повышенные значения ХПК обнаружены в малых реках (Сорочевке,

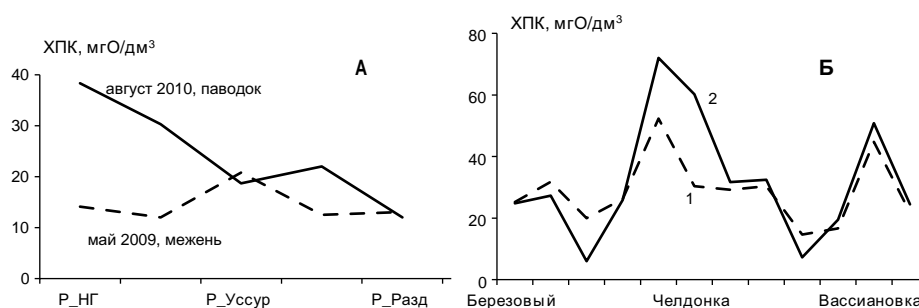


Рис. 2. Изменение показателя ХПК по течению р. Раздольная от с. Ново-Георгиевка до с. Раздольное при различных гидрологических режимах (А), выше (1) и ниже (2) участков строительства трубопровода через реки западного Приморья (Б)

Вассиановке, Снегуровке, Крутобережной и Челдонке), дренирующих хозяйственно освоенные и/или заболоченные территории. Строительство переходов сопровождается увеличением ХПК только на реках, дренирующих сильнозаболоченные водосборы (Челдонка, Крутобережная), когда происходит значительное изменение условий водообмена (рис. 2Б).

Содержание взвеси в реках Приморья снижается от половодья к межени (рис. 3А). Именно фаза гидрологического режима является ведущим фактором, определяющим уровень содержания взвешенных веществ в природных условиях. Уловить влияние особенностей ландшафтной структуры водосбора (рельеф, степень залесенности, заболоченности, сельскохозяйственного освоения, антропогенной нарушенности) на содержание взвеси возможно только после учета особенностей гидрологического режима рек. Однако строительные работы ведут к нарушению естественной сезонной изменчивости и сопровождаются увеличением содержания взвеси вниз по течению (рис. 3Б). Особенно явное увеличение концентрации взвеси наблюдается в горных чистых реках, где исходная мутность не велика.

Таким образом, изучение интенсивного локального воздействия на равнове-

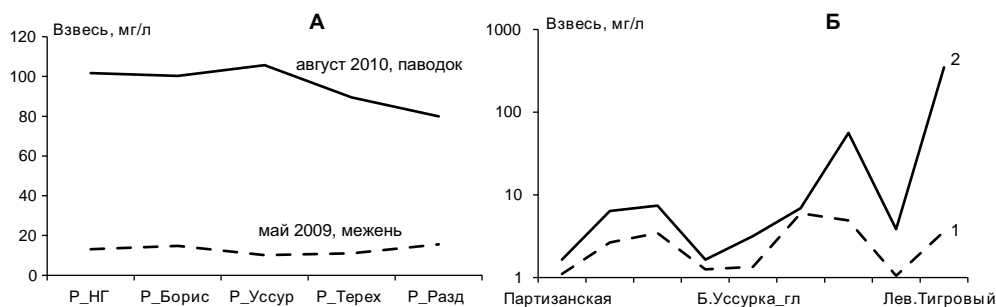


Рис. 3. Изменение содержания взвеси по течению р. Раздольная в зависимости от гидрологического режима (А), выше (1) и ниже (2) участков строительства трубопровода через реки западного Приморья (Б)

ликие реки Приморья в виде строительства переходов магистральных трубопроводов показало, что степень сопутствующего изменения гидрохимических показателей зависит от ряда природных и антропогенных факторов. Основным природным фактором, определяющим силу техногенного воздействия, является размер водотока. Малые реки и ручьи наиболее уязвимы как с точки зрения изменения существующего химического состава, так и с точки зрения возможности восстановления естественного фонового уровня. Наиболее явно реагирующими на антропогенную нагрузку гидрохимическими показателями являются содержание взвешенного материала, концентрация растворенных форм железа и марганца, минерализация и показатель ХПК.

Следующим природным фактором, от которого зависит устойчивость водных экосистем к локальной антропогенной нагрузке, являются ландшафтные особенности водосбора, и особенно – наличие заболоченных территорий в зоне воздействия на водоток. Неизбежная интенсификация дренажа в ходе строительных работ вызывает трансформацию гидрохимического состава, при которой увеличивается минерализация и содержание взвеси, возрастает концентрация растворенных форм железа и марганца, фенольных соединений, снижается содержание

растворенного кислорода. При этом по концентрации растворенных форм железа и марганца, а также ХПК качество вод значительно ухудшается вплоть до несоответствия ПДК.

Следует также отметить, что наблюдаемые закономерности изменения гидрохимического состава водотоков происходят на фоне естественного сезонного изменения гидрохимических характеристик. В частности, весеннее половодье является временем естественного увеличения содержания взвеси, но в то же время периодом усиленного размыва техногенно-измененных участков ландшафтов. Меженные периоды сопровождаются наиболее контрастными и в тоже время более локальными изменениями гидрохимических показателей водотоков.

В результате обследования санитарно-биологического состояния рек южного и западного Приморья выявлен видовой состав водорослей, населяющих поверхность погруженных в воду естественных субстратов. Всего было обнаружено 114 видов (учитывая разновидности и формы – 136 внутривидовых таксонов) водорослей из отделов Cyanoprokaryota, Chrysophyta, Bacillariophyta, Rhodophyta и Chlorophyta. В альгосообществах обследованных водотоков численно преобладали, как правило, синезеленые, а по биомассе – диатомовые водоросли. Максимальные значения общей численности (N) и биомассы (B) водорослей зафиксированы для р. Снегуровка в сентябре 2010 г. – 145,50 млрд кл./м² и 63,63 г/м², соответственно. Минимальные значения количественных показателей отмечены для руч. Симонов N= 0,12 млрд кл./м² и рек Литовки и Раздольной (ниже г. Уссурийск), для которых общий показатель биомассы водорослей не превышал 0,02 г/м² (таблица).

Показателями степени сапробности воды являются 104 видов и разновидностей водорослей, или 76,5 % от общего числа таксонов альгофлоры изученного района. Наиболее значительными являются две сапробиологические группы – олигосапробионты и бетамезосапробионты, представленные 41 (30,1 %) и 36 (26,5%) таксонами соответственно. Ксеносапробионтов отмечено 22 (16,2 %) вида и разновидности, а вклад группы альфамезосапробионтов составляет 5 таксонов, т.е. 3,7 % от общего числа водорослей. При рассмотрении наиболее представленной группы олигосапробионтов выявлено преобладание водорослей, относящихся к о-β-сапробионтам и составляющих 14,0 % от общего числа водорослей флоры изученных рек.

Оценка качества воды по составу видов – индикаторов органического загрязнения показала, что в весенне-летний период 2009 г. в реках южного и западного Приморья значения индексов сапробности (S) изменялись от 1,33 (низовье р. Литовка) до 2,04 (р. Сорочевка). В летне-осенний период 2010 г. минимальное значение S=1,15 отмечено для руч. Симонов, а максимальное S=1,72 – для р. Раздольная (ниже Уссурийска) (таблица).

Таким образом, анализ качества воды рек Приморья, в том числе пересекаемых трубопроводными трассами, в 2009–2010 гг. показал, что все водотоки могут быть отнесены к олиго- и бетамезосапробной зонам, и классифицируются как чистые и слабо загрязненные воды II и III класса. Значения индекса сапробности варьируют в диапазоне 1,15–2,04. Минимальные значения наблюдаются в наиболее чистых горных ручьях, а максимальные – в явно загрязненной сельскохозяйственными стоками малой реке Сорочевке и в низовье реки Раздольной. Однако основной массив данных по индексу сапробности не позволяет значимо диффе-

Таблица

Количественные показатели альгосообществ в реках Приморья (2009–2010 гг.)

Точка отбора пробы	Суанорго-карыота		Chrysophyta		Bacillariophyta		Rhodophyta		Chlorophyta		Всего		Индекс сапробности	Класс чистоты воды
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B		
Р. Литовка (низовье), 09.04.09	0,67	0,01	0,47	0,17	0,90	0,62	–	–	0,28	0,40	2,32	1,20	1,33	II
Р. Литовка (верховье), 09.04.09	0,40	0,003	0,004	0,002	0,03	0,02	–	–	–	–	0,43	0,02	1,58	III
Р. Новорудная, 09.04.09	0,59	0,01	–	–	0,91	0,19	–	–	–	–	1,50	0,20	1,37	II
Р. Широкая Падь (среднее течение), 09.04.09	2,60	0,03	0,003	0,001	0,45	0,24	–	–	–	–	3,05	0,27	1,53	III
Р. Екатериновка (среднее течение), 09.04.09	6,71	0,09	–	–	1,54	0,80	–	–	–	–	8,25	0,89	1,54	III
Р. Шкотовка, 10.04.09	1,19	0,01	–	–	0,40	0,32	–	–	0,02	0,10	1,61	0,43	1,33	II
Р. Артемовка, 10.04.09	0,10	0,001	–	–	0,38	0,29	–	–	1,42	0,31	1,89	0,60	1,55	III
Р. Раздольная (с. Полтавка), 18.05.09	1,30	0,05	–	–	4,15	14,56	–	–	0,56	3,58	6,01	18,19	1,62	III
Р. Раздольная (с. Ново-Георгиевка), 18.05.09	0,44	0,004	–	–	4,47	14,19	–	–	0,37	0,68	5,28	14,87	1,55	III
Р. Раздольная (пос. Борисовка), 18.05.09	0,45	0,02	–	–	2,93	8,44	–	–	0,24	1,60	3,62	10,06	1,52	III
Р. Раздольная (пос. Тереховка), 18.05.09	3,20	0,05	–	–	3,22	8,78	–	–	1,33	3,55	7,75	12,38	1,51	III
Р. Кедровка (пос. Тереховка), 19.05.09	0,82	0,03	–	–	1,98	2,67	–	–	0,40	0,12	3,20	2,82	1,67	III
Руч. Соседний (р. Нежинка), 18.05.09	–	–	–	–	14,63	10,11	–	–	0,02	0,03	14,65	10,14	1,50	II
Р. Раздольная (пос. Раздольное), 18.05.09	2,45	0,14	–	–	1,55	2,53	–	–	0,93	0,01	4,93	2,68	1,55	III
Р. Раздольная (ниже г. Уссурийск), 19.05.09	2,27	0,03	–	–	2,02	3,57	–	–	0,15	0,87	4,44	4,47	1,56	III
Р. Сорочевка, 20.05.09	4,76	0,38	–	–	5,91	7,19	–	–	3,65	17,49	14,32	25,06	1,54	III
Р. Снегуровка, 03.08.09	4,78	0,05	–	–	0,06	0,08	–	–	–	–	4,84	0,13	1,45	II
Р. Сорочевка, 03.08.09	0,12	0,003	–	–	0,04	0,03	–	–	–	–	0,16	0,03	2,04	III

продолжение таблицы

Точка отбора пробы	Cyanopro- karyota		Chryso- phyta		Bacillari- ophyta		Rhodo- phyta		Chlorophyta		Всего		Индекс сапроб- ности	Класс чистоты воды
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B		
Р. Кабарга, 04.08.09	0,39	0,02	-	-	0,05	0,06	-	-	-	-	0,44	0,08	1,53	III
Р. Большая Уссурка, 04.08.09	0,95	0,01	-	-	0,24	0,16	-	-	-	-	1,19	0,17	1,61	III
Р. Раздольная (выше с. Фадеевка), 05.08.09	0,70	0,02	-	-	0,20	0,41	-	-	0,01	0,09	0,91	0,52	1,66	III
Р. Раздольная (с. Ново-Георгиевка), 05.08.09	0,36	0,01	-	-	0,11	0,12	-	-	-	-	0,47	0,13	1,69	III
Р. Раздольная (пос. Борисовка), 06.08.09	5,32	0,55	-	-	0,68	0,72	-	-	-	-	6,00	1,27	1,43	II
Р. Раздольная (ниже г. Уссурийск), 06.08.09	0,13	0,001	-	-	0,02	0,02	-	-	-	-	0,15	0,02	1,72	III
Р. Черниговка, 02.06.10	10,81	0,28	-	-	1,47	0,79	-	-	-	-	12,28	1,07	1,51	III
Р. Медведица, 04.06.10	2,97	0,07	-	-	1,46	0,69	-	-	-	-	4,43	0,76	1,48	II
Р. Черниговка (ниже перехода), 06.08.10	7,15	1,42	-	-	2,18	2,57	0,27	0,29	-	-	9,59	4,28	1,51	III
Р. Черниговка (выше перехода), 07.08.10	11,59	0,88	-	-	2,89	1,81	-	-	1,97	1,36	16,44	4,04	1,55	III
Р. Вассиановка (выше перехода), 07.08.10	-	-	-	-	0,87	0,57	-	-	-	-	0,87	0,57	1,51	III
Р. Снегуровка (выше перехода), 08.08.10	122,54	16,90	-	-	21,95	37,98	-	-	1,01	8,75	145,5	63,63	1,34	II
Р. Большая Уссурка (ниже перехода), 04.09.10	6,01	0,15	-	-	0,75	1,52	-	-	0,35	0,39	7,88	1,28	1,45	II
Р. Бикин, 05.09.10	16,30	1,11	-	-	6,38	6,11	3,34	3,03	0,25	0,19	25,96	10,75	1,30	II
Руч. Мананкина (выше перехода), 20.09.10	53,62	2,67	-	-	5,02	4,39	-	-	-	-	58,64	7,07	1,51	III
Руч. Золотой (выше перехода), 21.09.10	45,74	1,34	-	-	2,23	5,14	0,64	0,70	-	-	48,6	7,18	1,47	II

окончание таблицы

Точка отбора пробы	Суанорго-каруота		Chrysoophyta		Bacillariophyta		Rhodophyta		Chlorophyta		Всего		Индекс сапробности	Класс чистоты воды
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B		
Руч. Золотой (ниже перехода), 21.09.10	41,86	1,05	-	-	4,72	3,95	-	-	-	-	6,58	5,0	1,30	II
Руч. Симонов (выше перехода), 22.09.10	-	-	-	-	0,12	0,18	-	-	-	-	0,12	0,18	1,15	II
Руч. Симонов (ниже перехода), 22.09.10	-	-	-	-	0,20	0,24	-	-	-	-	0,20	0,24	1,25	II

Примечание: N – численность водорослей (млрд кл./м²), B – биомасса водорослей (г/м²).

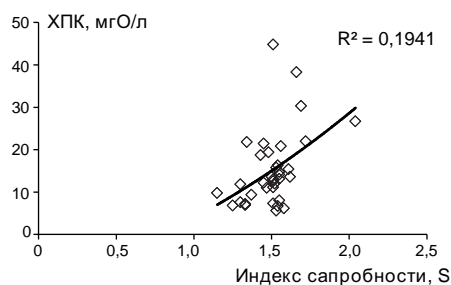


Рис. 4. Связь индекса сапробности (S) и показателя ХПК в реках западного Приморья

ренцировать остальные реки, которые явно различаются по гидрохимическим показателям. В результате наблюдается лишь слабый тренд между величиной показателя ХПК и индексом сапробности (рис. 4).

Вероятно, объяснить этот факт можно более широкой экологической пластичностью водорослей, как и любых других живых природных компонентов экосистем. Сложность объективной оценки антропогенного воздействия на речные альгосообщества связана со многими трудностями, в число которых входят пространственно-временная дифференциация видовой структуры, недостаточная изученность индивидуальных компенсационных механизмов видов водорослей на различные воздействия извне и видовая специфика уже существующих методов оценки качества вод, разработанных для других регионов. Кроме того, следует отметить, что все многообразие процессов в сложной и нестандартной природной среде невозможно оценить каким-либо одним критерием без комплексного использования методов биологического и химического анализа качества вод.

Все это указывает на необходимость накопления, систематизации и анализа информации о характере взаимоотношений между водорослями и их средой обитания, качественной и количественной оценке изучаемых экосистем, выявления причин структурно-функциональных изменений альгосообществ и в конечном результате – обязательность разработки региональной шкалы оценки загрязнения вод по структуре водорослевых сообществ.

Работа выполнена при поддержке грантов 09-И-ОНЗ-15 (руководитель А.Н. Качур, ТИГ ДВО РАН), ДВО РАН 09-III-A-06-179 (руководитель Т.В. Никулина, БПИ ДВО РАН).

ЛИТЕРАТУРА

- Водоросли. Справочник. 1989.** Киев: Наукова думка. 608 с.
- Сладечек В. 1967.** Общая биологическая схема качества воды // Санитарная и техническая гидробиология. Материалы I съезда Всесоюзн. Гидробиол. Общ-ва. М.: Наука. С. 26–31.
- Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды. 1996.** РД 52.18.595–96. МПР РФ. 25 с.
- Шулькин В.М., Богданова Н.Н., Перепелятников Л.В. 2009.** Пространственно-временная изменчивость химического состава речных вод юга Дальнего Востока РФ // Водные ресурсы. №4. С. 428–439.
- Шулькин В.М., Семькина Г.И. 2005.** Сезонная и многолетняя изменчивость содержания и выноса биогенных соединений р. Раздольной (Приморский край) // Водные ресурсы. № 5. С. 575–583.
- Pantle F., Buck H. 1955.** Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // Gas – und Wasserfach. Bd 96, N 18. 604 S.
- Sládeček V. 1967.** System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol. V. 7. P. 1–218.