

**МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕСТРУКЦИЯ  
ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В МАЛЫХ ВОДОТОКАХ  
СЕВЕРНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ**

**Л.А. Гаретова**

*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,  
ул. Ким Ю Чена, 65, Хабаровск, 680063, Россия.  
E-mail microb@ivep.as.khb.ru*

Приведены данные по исследованию структуры микробных сообществ лососевых рек Северного Сихотэ-Алиня. Рассматривается взаимосвязь динамики структуры микробных сообществ воды и процессов деструкции легкоокисляемых и трудноминерализуемых органических веществ различной химической природы. Охарактеризованы особенности образования и транспорта органических веществ в малых водотоках горно-таежной зоны.

**MICROBIOLOGICAL DESTRUCTION OF ORGANIC MATTER  
IN SMALL RIVERS OF NORTH SIKHOTE-ALIN**

**L.A. Garetova**

*Institute of Water and Ecological Problems, Russian Academy of Sciences, Far East Branch,  
Kim Y Chen st., 65, Khabarovsk, 680063, Russia,  
E-mail microb@ivep.as.khb.ru*

The structure of microbial communities of salmon rivers of North Sikhote-Alin was investigated. Connection between structure of micrococenoses and processes of destruction of different kinds of organic matter was studied. Peculiarities of production and transformation of organic compounds in small rivers of middle- mounting taiga zone was considered.

Северный Сихотэ-Алинь является водоразделом бассейнов р. Амур и Татарского пролива. Речные бассейны этой части Сихотэ-Алиня являются уникальными природными системами за счет присутствия в их составе проходных лососей и элементов флоры и фауны кедрово-широколиственных лесов. Подобное сочетание таких природных комплексов практически утрачено в других частях ДВ России.

Бассейн р. Амур является крупнейшим биотопом, где осуществляется нерестовый ход летней и осенней кеты, симы, горбуши. Проблема воспроизводства лососевых рыб на Дальнем Востоке напрямую связана с состоянием водной экосистемы р. Амур и нерестовых рек. Малые реки являются одними из хранителей генетического и экологического разнообразия речных экосистем, служат местами обитания для ценных пород рыб (ленки, хариусы, таймень, молодь проходных лососей) и убежищем для некоторых гидробионтов при неблагоприятных условиях. Высокая практическая значимость малых рек обусловлена тем, что они представляют самый многочисленный тип водотоков Дальнего Востока. Притоки р. Амур горно-таежной зоны участвуют в формировании качества воды в ее русле, снижая негативные последствия антропогенного влияния за счет разбавления. Они являются поставщиками легкоокисляемых (лиственной опад, отмерший пери-

фитон) и трудноминерализуемых органических веществ (гумус, лигносодержащие растительные остатки), а также растворенных минеральных веществ и взвесей.

В исследованиях микробиоценозов лососевых рек Дальнего Востока в основном преобладают два подхода – изучение качественного и количественного состава автотрофных организмов и фаунистический подход, предполагающий получение материалов о видовом составе, численности, биомассе бентосных беспозвоночных. Микробиологические исследования малых рек Дальнего Востока были начаты в 1993 г. и носили эпизодический характер, а малые водотоки Северного Сихотэ-Алиня до настоящего времени остаются малоизученными.

Процессы деструкции органических веществ (ОВ) различной природы в водотоках осуществляются за счет деятельности всего сообщества гидробионтов (зообентос, простейшие, микроорганизмы). Основная роль в окислении ОВ принадлежит бактериопланктону. В олиготрофных водотоках бактериями расходуется 95-100% суммарного потребления кислорода (Олейник и др., 1996), что связано с их активным рециклингом биогенных элементов. Структура микробных сообществ наиболее ярко по сравнению с другими компонентами водных биоценозов отражает интенсивность процессов деструкции в водотоке, поскольку микроорганизмы вследствие своих физиологических особенностей гораздо быстрее реагируют на поступление органических веществ автохтонной и аллохтонной природы увеличением численности определенных эколого-трофических групп. Именно бактериопланктон играет решающую роль в процессах деструкции ОВ различной природы в холодноводных и быстротекущих реках (Олейник, 1991). Преимущество микробиологической индикации степени трофии водотоков по сравнению с другими методами биотестирования состоит в том, что численность микроорганизмов не изменяется так существенно в течение сезона, как фитопланктона и зообентоса. Интенсивность деструкции ОВ бактериопланктоном зависит от ряда факторов: температуры, кислородного режима, количества и качественного состава ОВ. Главными факторами, ответственными за активность микробных сообществ, являются гидрологический режим и доступность органического вещества (Boon, 1991). Сезонная изменчивость концентрации органического углерода и его биодоступность в речной воде связаны с условиями паводка, а также типом молекулярных структур, который определяется особенностями растительности и состоянием почв территории водосбора.

В микробных сообществах воды малых водотоков присутствуют различные эколого-трофические группы микроорганизмов, специализирующихся на ассимиляции широкого спектра органических веществ. Исследование физиолого-биохимических свойств 140 колониальных форм микроорганизмов, выделенных из воды р. Анюй, показало, что в сообществе доминируют аэробные кокковидные формы, способные одновременно ассимилировать широкий спектр углеродных субстратов (табл. 1).

Активность к деструкции крахмалоподобных и белковых веществ исследуемых микроорганизмов была невелика и составляла соответственно 20% и 8,5% от общего количества выделенных микроорганизмов, что свидетельствует о преобладании в сообществе воды реки микроорганизмов, ассимилирующих растворимое ОВ, а также о низком содержании микроорганизмов-гидролитиков, участвующих в начальных этапах деструкции сложных молекулярных структур.

Среднегодовая температура воды в малых водотоках Северного Сихотэ-Алиня в течение года изменяется незначительно по сравнению с Амуром и пойменными озерами. В летний период она обычно не превышает +10°, тем не менее общая численность гетеротрофного бактерио-

Таблица 1

**Ассимиляционный спектр микробного сообщества воды р. Анюй**

Источник углерода	Количество штаммов, способных к ассимиляции, %
Мальтоза	95
Сахароза маннит	92
Лактоза этанол	87
Глюкоза глицерин	83
Ксилоза арабиноза	70

планктона (ОЧГ) здесь достаточно велика (табл. 2). Так, многолетние наблюдения структуры микробного сообщества самой холодноводной реки бассейна Анюя р. Куптурку, температура воды которой в летний период не превышает 6°C, постоянно фиксируют достаточно высокие для этого типа водотоков показатели ОЧГ, что свидетельствует о высокой потенциальной активности микробного сообщества к деструкции различных органических веществ. В сообществе микроорганизмов евтрофной группы сапрофитов (ЕГС) здесь доминируют спорообразующие микроорганизмы рода *Bacillus*, которые зачастую имеют аллохтонное происхождение и попадают в воду реки из почвы с поверхностным стоком.

Таблица 2

Структура микробных сообществ малых рек Северного Сихотэ-Алиня

№ п/п	Водотоки	Дата отбора проб	Численность микроорганизмов, КОЕ/мл			
			ЕГС	ОЧГ	УМА	ФРБ
	Бассейн р. Анюй					
1	Р. Анюй	14.08.02	500	4100	-	30
2	Р.М.Эргукули	17.08.02	870	1800	-	100
3	Р. Куптурку	17.08.02	1380	3200	-	70
4	Р. Гобилли	17.08.02	905	2700	-	70
5	Р. Манома	17.05.02	1470	6150	-	230
6	Р. Таунга	15.08.02	3080	15550	-	675
	Бассейн Татарского пролива					
7	Р. Хича	11.10.02	3310	16650	11450	10
8	Р. Бол. Икчу	11.10.02	4970	14150	13750	30
9	Р. Аджаломи	11.10.02	3430	14750	8150	30
10	Р. Бута	11.10.02	4380	16700	1850	10
	Притоки Нижнего Амура					
11	Р. Мал. Ады	28.07.01	1350	4400	1800	140
12	Р. Писуй	28.07.01	1900	20300	4550	60
13	Р. Саласу	30.07.01	1010	1750	300	80
14	Р. Мал. Тучка	05.08.01	240	1000	-	50
15	Р. Ухта	06.08.01	310	1300	-	100
16	Р. Бичи	07.08.01	50	1680	-	70

Для водотоков восточной экспозиции склонов Северного Сихотэ-Алиня (р.р. Хича, Большой Икчу, Аджаломи, Бута) характерны более высокие, по сравнению с другими обследованными малыми реками, показатели ОЧГ и микроорганизмов ЕГС, что указывает на их более высокую степень трофии и, соответственно, активности микробных сообществ к деструкции легкоокисляемых органических веществ. Численность фенолрезистентных бактерий (ФРБ) в микробных сообществах воды этих рек невелика, что может быть связано с незначительным содержанием соединений фенольного ряда в указанных водотоках.

В лососевых реках транспорт органического вещества носит специфический характер, в отличие от крупных мезотрофных и евтрофных водоемов и водотоков. Первичная автохтонная продукция здесь образуется за счет эпилимнитных водорослей, роль фитопланктона невелика в силу особенностей лососевых рек (высокая скорость течения, каменистые грунты, невысокая максимальная температура). В малых реках горно-таежной зоны основной поток органического вещества обеспечивается за счет поступления листового опада, который является источником питания для водных беспозвоночных и минерализуется водными микроорганизмами. Следствием снижения количества поступающего листового опада при удалении лесной растительности в результате вырубки и

лесных пожаров являются уменьшение численности и обеднение видового состава листогрызущих беспозвоночных, которые служат кормовой базой для рыб. Отсутствие лесного полога сказывается на изменении условий освещенности небольших водотоков, что может привести к активному развитию водной растительности, в результате чего происходит нарушение баланса между продукционными и деструкционными процессами в водотоке (Ulrich et al., 1993).

Сравнительный анализ структуры микробных сообществ воды облесенных и необлесенных вследствие пожаров притоков р. Гобилли показал (рис. 1), что осенью, в период отмирания растительности, в микробных сообществах фоновых водотоков (рек Малый и Большой Эртукули) доминируют сапротрофные микроорганизмы – деструкторы легкоусвояемого органического вещества, а в воде ручьев с горельников преобладают микроорганизмы, усваивающие минеральные формы азота (УМА) (рис. 1). Такие различия в соотношении вышеуказанных эколого-трофических групп микроорганизмов в воде исследуемых водотоков свидетельствуют о нарушении естественных продукционно-деструкционных процессов вследствие снижения их облесенности и указывают на преобладание неорганических форм азота в воде ручьев с горельников, что характерно для водотоков территорий, пораженных пожарами в первые годы после пожаров (Haueer, Spenser, 1998).

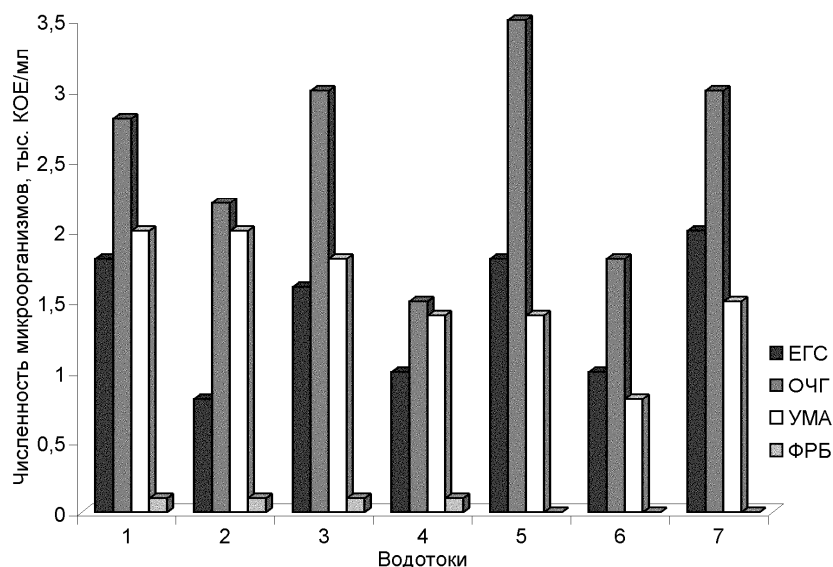


Рис. 1. Структура микробных сообществ притоков р. Гобилли в сентябре 2000 г.

1 – руч. Забытый; 2 – руч. Горелый –1; 3 – руч. Завальный; 4 – руч. Горелый – 2; 5 – р. Гобилли; 6 – р. М. Эртукули; 7 – р. Б. Эртукули.

Трудноминерализуемые органические вещества (почвенный гумус, древесный лигнин) могут попадать в водотоки вследствие поверхностного стока с территории водосбора во время паводков. Фенольные соединения в водотоках также могут образовываться в результате микробиологической деструкции погруженной в воду пиролизированной древесины. Об интенсивно протекающей деструкции ароматических соединений фенольного ряда в водотоках зоны пожаров (ручьи Забытый, Горелый-1, Завальный, Горелый-2) свидетельствует высокое по сравнению с фоновыми водотоками содержание ФРБ. Такая картина наблюдается уже в течение 4 лет после лесных пожаров 1998 г., что указывает на продолжающийся процесс деструкции лигнинсодержащих субстратов, погруженных в водотоки во время пожара.

Другим мощным потоком органического вещества в лососевые реки является поступление биомассы проходных лососей во время нереста. Органическое вещество, на-

копленное в океане, переносится более чем на 1000 км выше устья Амура. Масса "аналогичного" вещества осенней кеты до периода влияния человека могла достигать плотности 4,2 кг/м<sup>2</sup>, в пределах 3,4 км<sup>2</sup> площади ее нерестовых участков (Золотухин, 2001). Эта биомасса трансформируется в органическое вещество рыбами, амфибиотическими насекомыми, беспозвоночными, микроорганизмами. В настоящее время поступление аналогичного органического вещества в нерестовые реки значительно снизилось из-за перелова лососей в устьевых участках рек и в море. Тем не менее лососевые реки Нижнего Амура по-прежнему сохраняют свое нерестовое значение. В период нереста летней кеты (конец июля 2001 г.), который совпал с чрезвычайно маловодным на Нижнем Амуре периодом, было проведено исследование структуры микробных сообществ устьевых участков рек Саласу, Малый Ады, Малая Тучка, Ухта, Писуй, Бичи. Были выявлены существенные различия в численности микроорганизмов различных эколого-трофических групп в зависимости от скорости течения, глубины водотоков и температуры воды. В р. Малая Тучка температура воды в этот период достигала 24°C, здесь мы наблюдали гибель неотнерестившихся производителей. Наиболее активно процессы разрушения органических азотсодержащих веществ в этот период протекали в р. Писуй, а соединений фенольной природы – реках Малый Ады и Ухта, о чем свидетельствует повышенное, по сравнению с другими водотоками Нижнего Амура, общее содержание гетеротрофного бактериопланктона и ФРБ в соответствующих водотоках (табл. 2).

Другим примером ответных реакций микробного сообщества на поступление аллохтонного органического вещества служит динамика структуры микробного сообщества воды р. Таунга, в верховьях которой производится добыча золота (табл. 2, 3). Показано, что в результате промывки грунта в водоток попадают как легкоокисляемые азотсодержащие органические вещества, так и соединения фенольного ряда, о чем свидетельствует увеличение численности ЕГС и группы ФРБ в воде реки ниже устья "мутного" ручья с участка золотодобычи, а процесс самоочищения воды не заканчивается даже на расстоянии 10 км ниже места поступления загрязнения.

Таблица 3

Динамика структуры микробного сообщества воды р. Таунга (11.10.02)

Место отбора проб	Численность микроорганизмов, КОЕ/мл			
	ЕГС	ОЧГ	УМА	ФРБ
Выше устья «мутного» ручья	2870	11250	2400	0
Ниже устья «мутного» ручья, 179 км дороги	4200	16000	3200	130
Ниже устья «мутного» ручья, 165 км дороги	4600	13100	5550	100

О потенциальной активности микробных сообществ к разрушению органических веществ различной природы можно судить по сравнительной оценке динамики развития микробоценозов воды, изолированной из различных водотоков и инициированных одинаковым субстратом в равных физико-химических условиях.

Сравнительная оценка потенциальной активности микробных сообществ воды в реках Амур и Анюй к разрушению веществ углеводной и пептидной природы при температуре 24°C показала (рис. 2), что активность микробного сообщества воды р. Анюй к разрушению легкоокисляемых азотсодержащих органических веществ (пептон) существенно не отличается от таковой для воды р. Амур. В случае углеводного субстрата (глюкоза) потенциальная активность микробного сообщества воды р. Анюй была даже несколько выше, что может быть связано с присутствием в воде р. Анюй большего количества гетеротрофных микроорганизмов, специализирующихся на ассимиляции углеводных субстратов. То есть активность микробных сообществ воды малых водотоков к разрушению ОВ ограничивается лишь температурным фактором.

Из перифитонных сообществ рек Анюй и Гобилли были выделены фототрофные бактерии (ФТБ) семейства Rhodospirillaceae. Они являются преимущественно водными

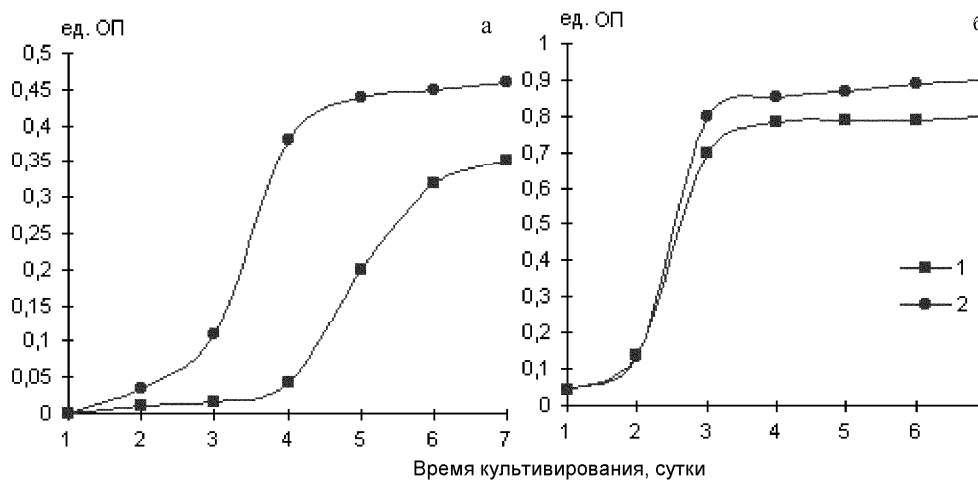


Рис. 2. Сравнительная оценка потенциальной активности микробных сообществ воды р. Амур (1) и р. Анюй (2) к окислению: глюкозы (а); пептона (б)

организмы и тяготеют к богатым органикой субстратам и анаэробным условиям, ассимилируют широкий спектр органических соединений, окисляют сероводород, способны к фиксации молекулярного азота. Эти микроорганизмы отличаются смешанным типом метаболизма, сочетающим в себе свойства автотрофных и гетеротрофных организмов. Как гетеротрофы они могут ассимилировать многоуглеродные субстраты (насыщенные жирные кислоты с цепочкой 9-22 углеродных атомов, ди- и трикарбоновые кислоты, кето- и гидрокислоты, аминокислоты, сахара). Наряду с алифатическими соединениями они могут использовать катехол, бензоат, гидроксibenzoат и другие вещества циклического строения. В большинстве случаев пурпурные бактерии, относящиеся к *Rhodospirillaceae*, используют при фотосинтезе органические соединения и в качестве доноров электронов, и как источники углерода, причем в большем количестве, чем углекислоту. Вместе с гетеротрофными микроорганизмами родоспириллы участвуют в разложении органических веществ в водотоках, т.е. в процессах самоочищения. На примере малых водотоков бассейна р. Буряя, в различной степени подверженных антропогенному воздействию, нами было показано, что увеличение содержания родоспирилл в перифитонных сообществах отражает степень загрязнения водотоков аллохтонным ОВ (Гаретова, 1996). Присутствие этих ФРБ в микробных сообществах лососевых рек Сихотэ-Алиня является признаком неблагополучия экологических условий в водотоке и может быть связано с деструкцией высокомолекулярных фракций алифатических углеводов, поступающих в воду рек при аварийных ситуациях на трассе Лидога-Ванино, которая проложена через территорию Северного Сихотэ-Алиня.

Ответная реакция сообщества гетеротрофных микроорганизмов воды р. Анюй на поступление дизельного топлива в результате аварии автоцистерны, произошедшей в сентябре 1999 г., обнаруживалась даже спустя месяц. Она проявлялась в увеличении ОЧГ и микроорганизмов ЕГС на фоне значительного снижения численности микроорганизмов УМА на участке реки ниже места аварии (табл. 4). Вода, отобранная из р. Анюй ниже места аварии, характеризовалась самым низким значением коэффициента микробиологической минерализации ( $KM = 0,97$ ) по сравнению с ее притоками и участком выше места аварии (27,4). Такое низкое значение  $KM$  указывает

Таблица 4

Влияние дизельного топлива на динамику структуры микробного сообщества воды р. Анюй (12.10.1999)

Место отбора проб	Численность микроорганизмов, КОЕ/мл			
	ЕГС	ОЧГ	УМА	ФРБ
Выше места аварии	730	5300	20000	300
Ниже места аварии	7600	6300	7400	302

на слабую активность микробного сообщества к деструкции углеводов, содержащихся в дизельном топливе.

На территорию Северного Сихотэ-Алиня усиливается антропогенный пресс в виде объектов золотодобычи, лесозаготовок и дорожно-строительных работ. Катастрофическое воздействие оказывают лесные пожары. Весь комплекс органических веществ, поступающих в водотоки и образующихся в них, подвергается микробиологической деструкции, в результате чего происходит самоочищение водотоков. Малые водотоки с их уникальной водной системой, характеризующейся неравномерным годовым стоком, промерзанием на длительный период времени, низкой самоочищающей способностью, которая лимитируется температурным фактором, требуют комплексных исследований, включающих в себя изучение влияния природных и антропогенных факторов на все компоненты водной биоты лососевых рек.

### Литература

- Гаретова Л.А. Роль фототрофных микроорганизмов в продукционно-деструкционных процессах в водоемах // Исследования водных и экологических проблем Приамурья. Владивосток; Хабаровск: Дальнаука, 1999. С. 37–40.
- Золотухин С.Ф. Потери органического вещества анадромных рыб экосистемами реки Уссури в XX веке // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Владивосток: Дальнаука, 2001. Вып.1. С. 17–21.
- Олейник Г.Н. Бактериальная деструкция органического вещества в водоемах и водотоках // Вод. ресурсы. 1991. № 2. С. 89–97.
- Олейник Г.Н., Якушин В.М., Кабакова Т.Н. Реакция бактериопланктона как индикатор изменений в экосистеме водоемов в результате антропогенного загрязнения // Гидробиол. журн. 1996. Т. 32, № 2. С. 29–41.
- Boon P. J. Bacteriae assemblages in rivers and billabonds of Southeastern Australia // Microbiol. Ecol. 1991. V. 22, N 1. P. 27–52.
- Hauer F.R., Spenser C.N. Phosphorus and nitrogen dynamics in streams associated with wildfire: A study of immediate and longterm effects // Int. J. Wildland Fire. 1998. V. 8, N 4. P. 183–198.
- Ulrich K.E., Barton T.M., Oemke M.P. Effects of whole-tree harvest on epilithic algae communities in head-water streams // J. Freshwater Ecol. 1993. V. 8, N 2. P. 83–92.