

Киселев М.А., 1956, Методы исследования планктона // Жизнь пресных вод СССР. Т.14. : М-Л: изд-во АН СССР, с. 183–256.

Киселев И.А. 1980 Планктон морей и континентальных водоемов. Т.2, – Л.: Наука, 1980, – 440 с.

Китаев С.П., 1984, Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон., М.: Наука, 207 с

Китаев С.П., 2007 Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 394 с.

Смирнова Т.С 1975. Зоопланктон литоральной зоны Онежского озера//Литоральная зона Онежского озера. Л.: 'Наука' с. 145–159.

Куликова Т.П. 1983, Рекомендации по определению сапробности с учетом биологических особенностей планктонных организмов Карелии. Петрозаводск Карельский филиал АН СССР. 6с.:

Куликова Т.П., Кустовлянкина Н.Б., Сярки М.Т. 1997 Зоопланктон как компонент экосистемы Онежского озера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 111 с.

Николаев И.И. 1972 Исторические и экологические условия формирования зоопланктона Онежского озера // Зоопланктон Онежского озера. Л.: Наука, С. 32–39.

Макрушин А.В. 1974 Биологический анализ качества вод с использованием списка организмов индикаторов загрязнения. Л : ЗИН АН СССР, ВГБО., С.1–60. 1–53.

Сабылина А.В. 1999, Современный гидрохимический режим озера // Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск, Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, С.58 – 108.

Смирнова Т.С 1975. Зоопланктон литоральной зоны Онежского озера//Литоральная зона Онежского озера. Л.: 'Наука' с. 145–159.

Филатов Н.Н. Изменчивость водного баланса и уровня //Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: 'Наука' Ленинградское отделение, 1990. С.29.

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ БАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ В ВОДОЕМАХ, ЗАГРЯЗНЯЕМЫХ ОТХОДАМИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Т.М. Тимакова

Учреждение Российской академии наук Институт водных проблем Севера
Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия
e-mail: ttm49@mail.ru

Водные бактерии, обладая высокой регенеративной способностью, быстро реагируют на изменяющиеся условия среды. Они выполняют основную роль в самоочищении водоемов и являются чувствительными индикаторами при поступлении в них загрязнений. При антропогенном вмешательстве естественные бактериальные сообщества, адаптированные к присутствию в воде веществ природного происхождения, претерпевают изменения, которые зависят от природы поступающих загрязнений. Эти изменения в бактериоценозах проявляются, прежде всего, в качественной и количественной перестройке составляющих их видов и выражаются в ускоренном развитии групп бактерий, использующих загрязняющие вещества в качестве метаболического и конструктивного субстрата.

В регионе с развитым лесопромышленным комплексом основными потребителями и загрязнителями водоемов являются сточные воды целлюлозно – бумажных комбинатов (ЦБК). Они относятся к экологически опасным, характеризуются слабым эвтрофирующим эффектом, но, высоким содержанием серы и органических веществ, на минерализацию которых из воды расходуется большое количество кислорода. Поэтому, непреложным требованием для ЦБК является проведение мероприятий по их удалению из сточных вод с целью снижения негативного влияния на водоем.

Трансформация бактериоценозов в водоемах, принимающих сточные воды ЦБК в целом, имеет схожий характер. В данной работе прослежена основная направленность изменений природных бактериальных сообществ за 50-летний период под влиянием сточных вод ЦБК, расположенного на побережье Кондопожской губы Онежского озера.

За исследуемый период на комбинате неоднократно менялись объемы сбрасываемых сточных вод и производственные технологии, что приводило к изменению их состава, особенно содержания в них органического и биогенных веществ. Анализ количественных показателей бактериоценозов и развития наиболее показательных функциональных групп бактерий за последние 50 лет свидетельствует о последовательности их трансформации под влиянием сточных вод ЦБК. Можно выделить

3–4 основных периода, в течение которых бактериальные сообщества существенным образом претерпевали изменения.

Исходное состояние экосистемы залива – олиготрофное, с признаками ультраолиготрофии. Бактериальные сообщества характеризовались низкой численностью бактериальных сообществ – $0,2\text{--}0,3 \text{ млн.} \cdot \text{мл}^{-1}$, небольшим содержанием сапрофитных бактерий – до $200 \text{ КОЕ} \cdot \text{мл}^{-1}$. Жизнедеятельность бактериопланктона базировалась преимущественно на органическом веществе автохтонного происхождения.

Заметные изменения в бактериоценозах вершинной части залива стали проявляться в 60-х годах. Они выразились в увеличении общей обсемененности воды и, особенно, – сапрофитной группы бактерий. Так, при росте общей численности в 4–5 раз, количество сапрофитных бактерий увеличилось более чем на порядок и достигло максимальных значений – $8 \text{ тыс. КОЕ} \cdot \text{мл}^{-1}$. Доминирующее положение в ценозах имели аэробные бактерии.

В 70-х годах последовательный рост мощностей комбината сопровождался увеличением сбрасываемых в водоем неочищенных сточных вод, что привело к перегрузке вершинной части губы органическими соединениями, и к более глубокой перестройке бактериальных ценозов. Вблизи комбината количество бактерий возросло до $2,0$ и более $\text{млн. кл.} \cdot \text{мл}^{-1}$ (рис.1). Сапрофитные бактерии на отдельных участках достигали 30 тыс. (в среднем 9 тыс.) $\text{КОЕ} \cdot \text{мл}^{-1}$, что составляло около 4% от общей численности. Санитарный показатель «К» был около 100. Значительное развитие имели грибы и дрожжи, часто встречались зооглейные скопления бактерий типа *Zooglea ramigera*, бактериальные нити типа *Sphaerotilus natans* (Филимонова, 1975). Бактерии-нитрификаторы отсутствовали. Нитрификационный процесс прослеживался лишь на некотором удалении от комбината. Заметное развитие имели аэробные углеводородокисляющие бактерии и колиформные бактерии. *Coli-ind*, на значительной акватории достигал 2380 (табл.1). В вершинной части губы стали проявляться признаки антропогенного эвтрофирования, в развитии, которого особая роль принадлежала гетеротрофному звену, так как аллохтонное органическое вещество, включающееся в биотический круговорот, превалировало над автохтонным. На отдельных участках интенсивное развитие имели процессы аммонификации, сульфатредукции, метаногенеза, следствием которых было накопление в воде восстановленных соединений – H_2S , NH_4 .

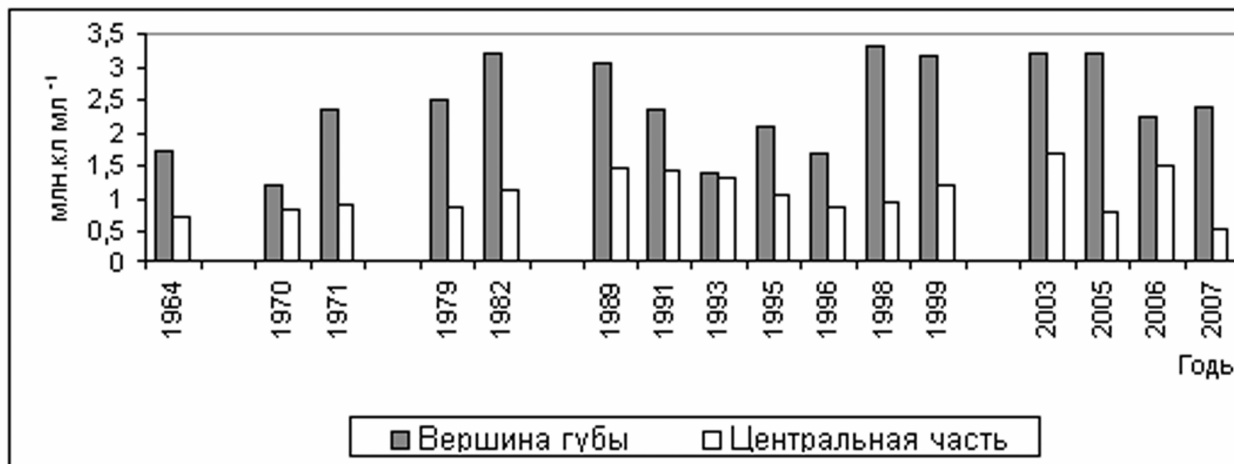


Рис. 1. Многолетняя изменчивость общей численности бактерий в Кондопожской губе. Примечание: 1964 – 1989 гг. – данные Филимоновой Н.А., 1990; 1991 – 2007 – наши данные.

Особо заметные изменения в бактериоценозах произошли в начале 80-х годов после введения станции биологической очистки (СБО). Со сточными водами в залив стало значительно меньше поступать целлюлозно-древесного волокна, биохимически лабильного органического вещества, сернистых соединений. Вместе с тем, функционирование на начальных этапах СБО сопровождалось резким увеличением выноса в водоем фосфора – до 109 т в год – (в 5–6 раз) и азота (в 15–30 раз), что привело к насыщению воды фосфором до $17\text{--}70 \text{ мкг/л}$, и интенсивному развитию фитопланктона то есть обогащению воды автохтонным органическим веществом. Все эти изменения в экосистеме стали основополагающими, которые привели к заметному снижению в бактериопланктоне доли сапрофитных бактерий. Их численность по сравнению с семидесятыми годами снизилась с

7450±1320 до 2200±980 КОЕ·л⁻¹, что имело достоверное подтверждение – $t = 2,89$ при $p > 0,05$. Величины общей численности, наоборот, проявили тенденцию к увеличению, хотя она имела недостоверный характер. Заметно уменьшилось присутствие в сообществах колиформных бактерий (см. рис.1, табл.1). Но, несмотря на все усилия по снижению поступления в водоем целлюлозно-бумажного волокна в первые годы работы СБО, в воде наблюдалось высокое содержание целлюлозоразрушающих бактерий. Их количество достигало 1,0 тыс.кл. · мл⁻¹, а в углубленных участках около комбината, возрастала до 0,1 – 1,0 млн. кл · мл⁻¹. Доля этих бактерий в структуре бактериоценозов составляла 0,01 – 7,4%. Способность бактериоценозов к разрушению клетчатки около выпуска волоконсодержащих стоков была очень высокой (табл. 2). Ее значения более чем на порядок превышали показатели в центральном районе Онежского озера, и в эвтрофных и олигодистрофных водоемах Карелии (Тимакова, Романенко, 1984).

Таблица 1

Содержание колиформных бактерий в Кондопожской губе и пелагических районах озера, (КОЕ· л⁻¹)

Район озера		1964–1965 гг (Нестерова, 1971)	70-е г.г. (Филимонова, 1975)	80-е г.г. (Филимонова, 1990)	2006–2007 г.г. (наши данные)
Кондопож- ская губа	В районе города	2380	2380	2380	3545–3580
	Срединная часть	–	2380	< 9–230	100–2490
	Внешняя часть губы	23	250	< 9–23	125–312
Большое Онего		23–230	–	–	25–196
Центральное Онего		176–339	–	–	50–125

Таблица 2

**Целлюлозолитическая способность бактериоценозов
Кондопожской губы, мкг С · л⁻¹сут⁻¹**

Район	Min – max	Среднее
Центральная часть	0,04 – 0,11	0,08±0,03
Около комбината	0,15 – 11,9	3,13±1,87

Функционирование в течение 10 лет СБО (в конце 80-х – начале 90-х годов) привело к ускоренному развитию в водоеме фитопланктона и процесса антропогенного эвтрофирования. Формирование бактериоценозов в этот период происходило в сложных условиях постепенного роста трофии и прессы на экосистему органического вещества, выносимого в составе сточных вод. Общая численность бактерий для акватории в среднем составляла 1,4± 0,6 млн. кл. · мл⁻¹. При отсутствии четкого разделения на зоны, вся акватория губы, по уровню развития микроорганизмов, была условно разделена на два района – вершинный и центральный, который достоверно отличался от вершинного – $t=3,63$ для общей численности и $t=3,3$ для гетеротрофных бактерий при $p \geq 0,05$. Выразительным показателем в этот период, характеризующим состояние бактериоценозов, была темновая ассимиляция CO₂ (рис.2). Ее летние величины варьировали на акватории губы в пределах от 0,8 до 10,0 мкг С · л⁻¹ · сут⁻¹ (в вершинной части – 10,03, в центральной – 1,87). За счет темновой ассимиляции CO₂ в столбе воды под м² ежесуточно фиксировалось 154,1 и 122,6 мг углерода соответственно, что составляло 37,9% и 45,6% от световой за счет фотосинтеза (406,8 и 268,8 мкг С · л⁻¹ · сут⁻¹). В водоемах олиго- и даже мезотрофного типа это соотношение не превышает 10–20% (Романенко, 1985). То есть, несмотря на 10-летний период функционирования СБО и значительное снижение выноса в водоем легкоокисляемого ОВ, гетеротрофное звено продолжало играть весомую роль в развитии антропогенного эвтрофирования.

Так как с момента пуска СБО в залив со сточными водами стало выноситься большое количество азотистых веществ, то это стимулировало развитие в заливе нитрифицирующих бактерий, обеспечивающих процесс литотрофной нитрификации. Их количество в воде достигало от п·10 до п·1000 кл. в 1мл., что на порядок выше по сравнению с открытыми районами озера, где их численность не превышала 10 – 100 кл. · мл⁻¹. Интенсивность литотрофной нитрификации в вершинном участке в толще воды достигала средних значений – 9,45 ± 2,9 мг N · л⁻¹ · сут⁻¹, а в центральной части

– $1,68 \pm 0,6$ (рис.3). В среднем для губы ее величина составляла $4,23 \text{ мг N} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$, что почти в 4 раза превышало значения для открытых районов озера.

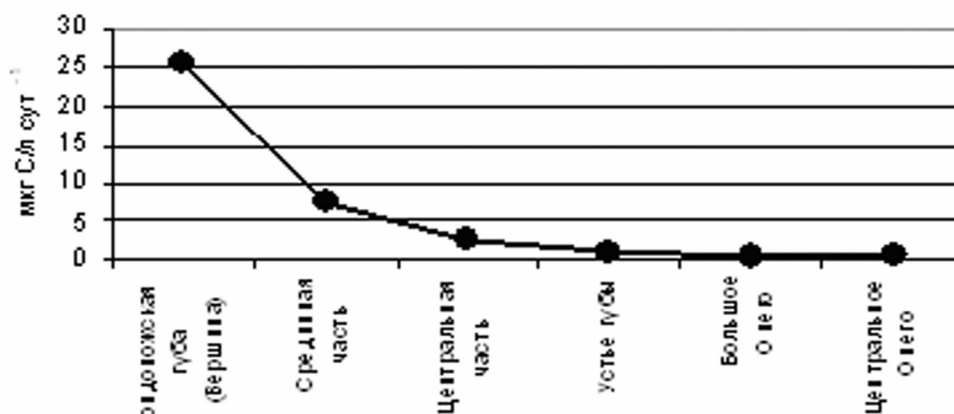


Рис.2. Распределение темновой ассимиляции CO_2 в поверхностном слое воды в летний период на акватории Кондопожской губы и пелагических районах озера (среднее за 1989–2006 г.г.)

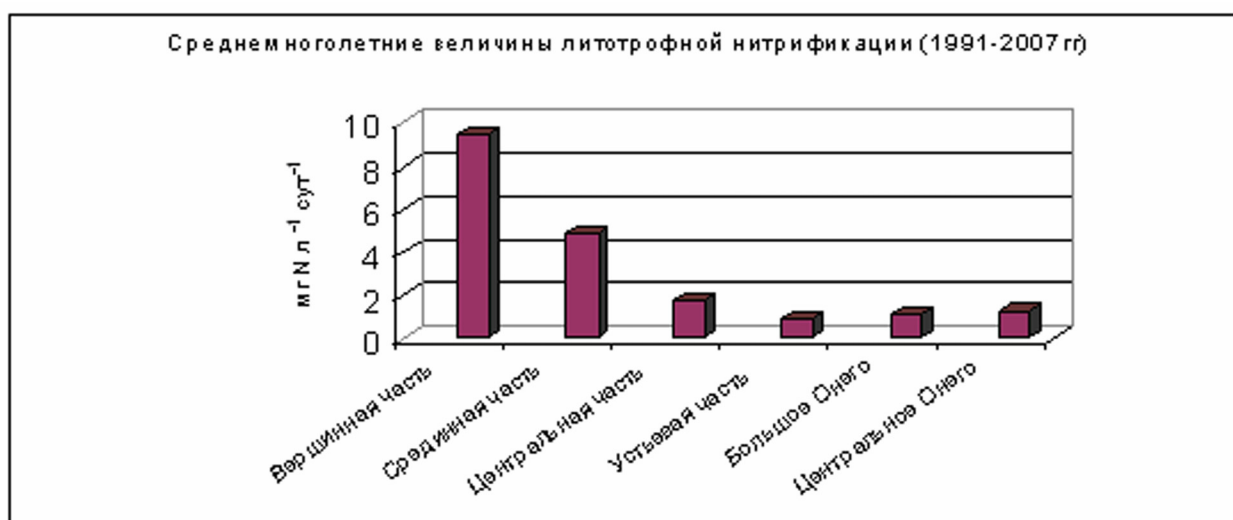


Рис. 3. Распределение среднеелетних величин литотрофной нитрификации на акватории Кондопожской губы и в открытых районах озера.

Начало 90-х годов характеризовалось заметным спадом производства, произошло почти 30%-ное снижение антропогенной нагрузки на водоем по сравнению с 80-ми годами. Это почти сразу отразилось на количественных показателях бактериопланктона. Особенно заметным снижением их величин к 1993 г. выделялся вершинный участок губы, где жизнедеятельность бактерий базируется преимущественно на ОВ, поступающем со сточными водами. Здесь было отмечено достоверное снижение ($t=3,5$ при $p \geq 0,05$) общей численности – до $1,4\text{--}2,1 \text{ млн.кл.} \cdot \text{мл}^{-1}$. Особенно наглядно отреагировал бактериопланктон изменением биосинтетической активности. К середине 90-х гг. выявлено достоверное ($t=3,6$ при $p \geq 0,05$) снижение величин темновой ассимиляции углекислоты до $3,0\text{--}6,0 \text{ мкг C} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{сут.}^{-1}$ (рис 4).

Для Кондопожской губы, характерно значительное превышение деструкции ОВ над первичной продукцией (Теканова, Тимакова, 2006). Суточная бактериальная продукция в вершинной и центральной части губы составляет $2,5$ и $2,1 \text{ г C} \cdot \text{м}^{-2}$, что также сильно превышает первичную продукцию, – в 6–8 раз. Даже если учесть, что расчет бактериальной продукции из темновой ассимиляции CO_2 дает завышенные результаты раза в 3, бактериальная продукция, тем не менее, будет превышать первичную в 2–3 раза. Это свидетельствует о высоком вкладе бактериального звена в биотический круговорот и сильном влиянии на развитие бактериопланктона ОВ вносимого со сточными водами, несмотря на многолетнее функционирование СБО.

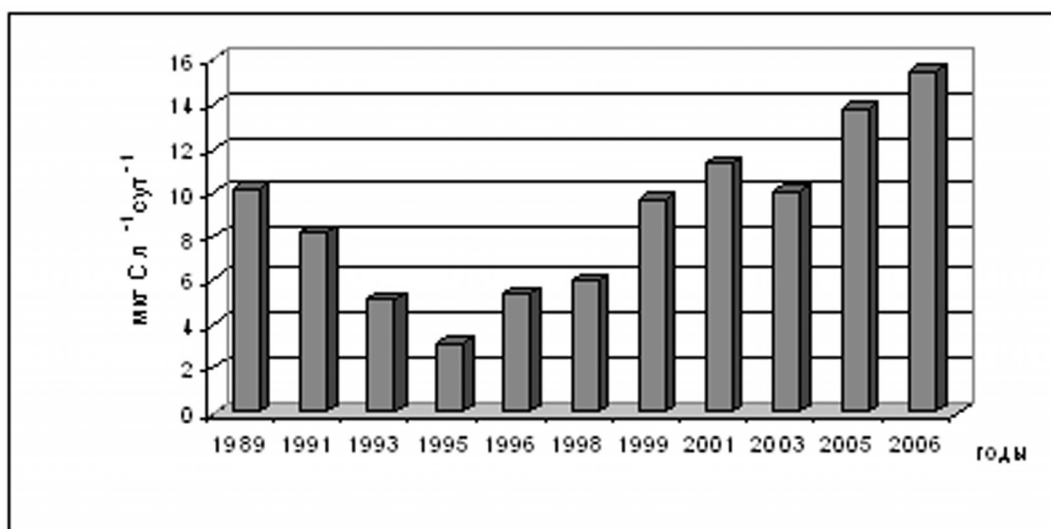


Рис. 4. Изменение летних величин темновой фиксации CO_2 за период 1989 – 2006 гг в поверхностном слое воды Кондопожской губы

Поступление в Кондопожскую губу со сточными водами органических и минеральных веществ обусловило развитие функциональных групп бактерий, отражающих наличие в воде специфических загрязнителей. Помимо сапрофитных бактерий, которые относятся к общепризнанной индикаторной группе в водной микробиологии, демонстрирующей наличие биохимически нестойкого органического вещества, постоянной составляющей бактериальных сообществ являются микроорганизмы, участвующие в минерализации сложных трудноокисляемых органических соединений. Так количество олигокарбофильных бактерий в 1,5–7 раз превышает численность сапрофитных и достигает 0,02 – 0,5% от общей численности. Высокая плотность этих микроорганизмов до 25 тыс. КОЕ · мл⁻¹ обнаруживается в районе сброса сточных вод, где отмечается повышенное содержание лигносульфонатов. Меньшую долю в ценозах (0,02 – 0,15%), по сравнению с олигокарбофильными, составляют бактерии, относящиеся к группе актиномицет, которые участвуют в разложении широкого спектра органических веществ, особенно имеющих сложное молекулярное строение. Их численность варьирует в широких пределах, а средние величины на акватории составляют 850 и 2720 КОЕ · мл⁻¹. Повсеместно присутствуют в воде фенолрезистентные бактерии – показатели степени экологического риска загрязнения поверхностных вод ароматическими соединениями (Дзюбан и др, 2001; Каретникова, 2002). В чистых водах они, как правило, имеют низкую численность – единицы колоний в 1мл (Крыленкова, Ширенко, 2002), а в Кондопожской губе она достигает максимальных величин 2213, а в среднем около 500 КОЕ · мл⁻¹. Углекислородокисляющие бактерии, также как и фенолрезистентные, являются прямыми индикаторами техногенного загрязнения. Их численность на акватории изменяется от 20 до 3400 КОЕ · мл⁻¹, а средняя величина составляет 670± 208 КОЕ · мл⁻¹. Особой группой бактерий, демонстрирующей загрязнение вод являются колиформные бактерии (ЛПКП), относящиеся к показателям эпидемиологического благополучия водоема. На акватории губы эти бактерии присутствуют повсеместно, однако максимальной обсемененностью воды характеризуется район выпуска сточных вод, где, по сравнению с предыдущими периодами исследований, проявляется тенденция к увеличению их содержания (см. табл.1).

Таким образом, трансформация бактериальных сообществ в губе за период с 60-х по 2000-е годы происходит в сложных условиях загрязнения ее вод отходами ЦБК и развития антропогенного эвтрофирования. Этот процесс характеризуется несколькими этапами, связанными с развитием производства и проведением природоохранных мероприятий на комбинате. На поступление сточных вод ЦБК бактериальные сообщества реагируют не только закономерным повышением общей численности и количества бактерий, растущих на обогащенных органическим веществом средах, но и возрастанием в сообществах доли специфических групп бактерий.

При отсутствии очистки сточных вод ЦБК, содержащих в своем составе большое количество биохимически лабильного органического вещества, интенсивное развитие имели сапрофитные бактерии, изымающие из воды кислород. Заметное присутствие в бактериоценозах имели денитрифицирующие, тионовые, сульфатредуцирующие, целлюлозоразрушающие бактерии. Значительного развития достигали углеводородокисляющие и целлюлозоразрушающие бактерии, однако, прекращение молевого сплава и изъятие из сточных вод волокнистых веществ в середине 80-х годов сопровождалось заметным снижением количественных показателей этих бактерий. А резкое снижение выноса со сточными водами легкоокисляемого органического вещества привело к существенному снижению в бактериальных сообществах доли сапрофитных бактерий. Увеличение объемов сбрасываемых в залив веществ с малым эффектом биологической очистки (лигносульфонатов) привело к повышению содержания олигокарбофильных бактерий и актиномицет по сравнению с чистыми водами озера. Кроме того, весьма показательной явилась активизация нитрифицирующих бактерий при поступлении в губу стоков, прошедших биологическую очистку. Бактерии, растущие на средах с фенолами и лигносульфовыми кислотами, в определенной степени, можно считать индикаторными при загрязнении водоемов отходами целлюлозно-бумажного производства. Постоянными представителями бактериоценозов являются бактерии группы кишечной палочки, количество которых в последние годы заметно возрастает по сравнению с прошлыми десятилетиями, что может свидетельствовать о неудовлетворительном обеззараживании сточных вод, поступающих в губу после СБО.

Быстрая реакция бактериопланктона на снижение антропогенной нагрузки в середине 90-х годов позволяет отнести его к чувствительным звеньям биоты на загрязнение водоемов отходами целлюлозно-бумажной промышленности, в том числе и на развитие процессов антропогенного эвтрофирования.

Литература

- Дзюбан А.Н., Косолапов Д. Б., Кузнецова И. А. 2001. Микробиологические процессы в Горьковском водохранилище. // Водные ресурсы. Т. 28, № 1. С. 47–57.
- Каретникова Е. А. 2002. Оценка экологического риска фенольного загрязнения водных экосистем : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Хабаровск. 22 с.
- Крыленкова Н. Л., Ширенко Л. А. 2003. Фенолы Ладожского озера: микробиологический аспект. // Охрана и рациональное использование водных ресурсов Ладожского озера и других больших озер. Тр. 1V Междун. Симпоз. по Ладожскому озеру. Великий Новгород. С. 121–125.
- Романенко В. И. 1985. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. / Ред. А.В. Монаков. Л.: «Наука». 295с.
- Теканова Е. В., Тимакова Т. М. 2006. Первичная продукция и деструкция органического вещества в онежском озере. / Ред. А.Ф. Алимов, В.В. Бульон. М.: Товарищество научных изданий КМК. С. 60–70.
- Тимакова Т. М., Романенко В. И. 1984. Целлюлозные бактерии и потенциальная способность разложения целлюлозы в озерах Карелии. // Микробиология. Т. 53, вып. 1, С. 142–148.
- Филимонова Н. А. 1975. Распределение микроорганизмов в воде и донных отложениях. // Кондопожская губа Онежского озера в связи с ее загрязнением промстоками ЦБК. Ч. 11. Отдел водн. пробл. Кар. Фил. АН СССР. С. 213–229.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ (*SALMO SALAR*) БАССЕЙНА БЕЛОГО МОРЯ, ВЫЯВЛЕННАЯ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ МАРКЕРОВ*

А.К. Тонтери¹, А.Е. Веселов², А.В. Зубченко³, Я.И. Лумме⁴, С.М. Калюжин⁵, М.Ю. Озеров¹, К.Р. Приммер¹

¹Департамент биологии, подразделение генетики и физиологии, Университет Турку, Финляндия

²Учреждение Российской академии наук Институт Биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия.

³Полярный НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича, г. Мурманск, Россия

⁴Департамент биологии, Университет Оулу, Финляндия.

⁵Варзугский научно-исследовательский центр полярных экосистем, с. Варзуга, Россия

e-mail: mikhail.ozarov@utu.fi

*Данная работа представляет собой резюме оригинальной статьи, опубликованной в *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*: Tonteri A., Veselov A., Zubchenko A., Lumme J., Primmer C. «Microsatellites reveal clear genetic boundaries among Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations from the Barents and White Seas, northwest Russia».