

**ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА ЕВТРОФИРОВАНИЕ ВОДНЫХ
ЭКОСИСТЕМ**

Л.М. Кондратьева, Л.А. Гаретова

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск

Современный взгляд на пожары состоит в том, что их стали признавать как мощный фактор глобального преобразования всех компонентов биосферы: атмосферы, гидросферы, почвенного покрова. Многочисленные наблюдения показали, что пожары являются весомой причиной обезлесивания территорий, изменения климата, эрозии почв и наступления пустынь, снижения видового разнообразия, нарушения водного баланса в биосфере, заболачивания и закисления почв, обмеления рек и заиления нерестилищ. Вследствие загрязнения атмосферы продуктами сгорания наносится ущерб здоровью населения.

Впервые лесные пожары на Дальнем Востоке летом 1998 г. были оценены экспертами ООН как экологическая катастрофа. Только в Хабаровском крае и на Сахалине огнем было пройдено около 6 млн га леса (Кашишке и др., 1999). По данным Управления лесами Хабаровского края и Дальневосточного регионального центра подготовки и обработки спутниковых данных, огнем пройдено 2151055 га леса. Уничтожено около 15–17 млн м³ леса и повреждено огнем 125 млн м³ древесины.

По утверждению Дальгидромета это был пожар небывалых масштабов за всю историю наблюдений. За последние 50 лет в Хабаровском крае зарегистрировано около 31 тыс. лесных пожаров. Площадь, пройденная пожарами, составила около 10 млн га, или в среднем по 200 тыс. га в год. Самые крупные пожары отмечены в 1932, 1954, 1976, 1998 гг., т. е. прослеживается достаточно четко 22-летний цикл пожарной активности. Последние 250 лет наблюдается повышение частоты экстремальных лесных пожаров. Учитывая усиление антропогенного воздействия на леса, 22-летнюю цикличность пожаров, можно согласиться с тем, что нас ждет эра крупных пирологических катастроф, противостоять которым при низком уровне технической оснащенности лесного хозяйства будет очень сложно (Фуряев, 1996; Выводцев, 1999).

Рассматривая лес как мощный стабилизирующий фактор природных процессов в масштабах планеты, следует учитывать не только прямой экологический ущерб от лесных пожаров (Ефремов и др., 1998), а также вероятность экологического риска для водных экосистем. В водоохраных зонах рек леса играют главную водорегулирующую роль. Пожары не только сокращают территории, покрытые лесом, а служат весомой причиной изменения климата планеты, эрозии почв, обмеления рек и заиления нерестилищ (Сапожников, 1999).

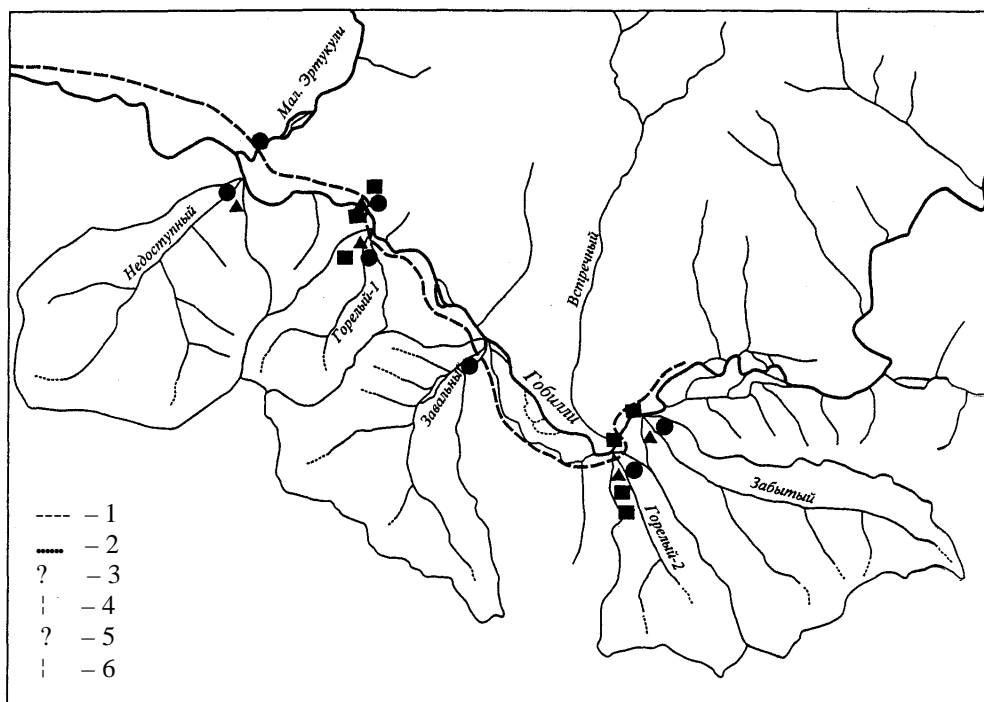


Рис. 1. Схема района работ в бассейне р. Гобили. 1 – автомобильная дорога Лидога–Ванино; 2 – водораздельная линия; 3 – точки гидрологических наблюдений; 4 – участки закладки почвенных разрезов; 5 – точки отбора проб для химических и микробиологических анализов воды; 6 – места отбора проб икhtiофауны

Для оценки последствий, возникающих после лесных пожаров, используют два критерия экологического риска (актуальный и потенциальный). Понятие экологический риск не используется для оценки характера воздействия пожара как пирогенного фактора, разрушающего и уничтожающего растительный покров планеты, местообитания и приводящего к гибели животных и птиц.

Актуальный экологический риск обусловлен непосредственным воздействием температурного фактора и токсичных продуктов сгорания на природные комплексы, обитателей леса и здоровье человека вне зоны пожаров.

Потенциальный экологический риск связан с последствиями пожаров при их воздействии на биосферные процессы в течение длительного времени. Потенциальный экологический риск служит предпосылкой для всех глобальных изменений в природе.

Степень опасности негативных последствий от лесных пожаров для водных экосистем проявляется именно в форме потенциального экологического риска. Уже известны механизмы запаздывания ответных реакций водных объектов на пирогенное воздействие (Соколов, 1996; Hauer, Spenser, 1998; Minshall et al., 1998). Инерционность реакций обусловлена медленным изменением русловых процессов, формированием поверхностного и подземного стока, несущих с поврежденных пожарами водосборов продукты сгорания.

При сочетании устойчивого низового пожара с верховым полностью сгорают крона (хвоя, листва, мелкие ветки), подлесок, растительный покров, подстилка; древесные стволы часто лишь обугливаются.

Расчеты показывают (Иванов и др., 1978), что на 1 м^2 почвы после пожаров сосредоточено 1,5–2,5 кг обугленных растительных остатков и золы. Из них в водную среду может поступить 7–8 г минеральных веществ. Тогда с площади 1 км^2 сгоревшего леса поступит 7–8 тонн различных химических элементов, в том числе ионы калия, кальция,

гидрокарбоната, кремния и фосфат-ионы. От их содержания зависят жесткость, кислотность воды и другие физико-химические характеристики местообитаний гидробионтов.

Формирование качества воды происходит за счет поступления продуктов сторания растительного покрова с атмосферными осадками, талыми, паводковыми и грунтовыми водами, а также при непосредственном оседании на дне нерастворимых обугленных остатков и крупных частиц золы.

Обогащение воды биогенными элементами (калий, азот, фосфор) приводит к нарушению экологического равновесия в водоемах. Биогенные вещества влияют на многочисленные внутриводоемные процессы, в том числе способствуют чрезмерному развитию водорослей, что приводит к значительному евтрофированию водных экосистем (Сиренко, Козицкая, 1988). На изменение качества воды реагируют все обитатели: водоросли, инфузории, мелкие рачки, являющиеся кормовой базой для рыбы. Перестройка структуры пищевых цепей происходит в течение нескольких лет и приводит, как правило, к нарушению воспроизводства рыбных ресурсов.

Согласно данным Амуррыбвода, в Приамурье в результате комплексного влияния на водные объекты (лесоразработки, лесные пожары, золотодобыча, гидростроительство) наблюдается утрата естественных нерестилищ осенней кеты за счет заиления, зарастания и изменения химического состава природных вод. Начиная с 80-х годов до настоящего времени в бассейне р. Амур утрачено 1,75 млн м² нерестового фонда (Золотухин, Махинов, 1999).

В зоне широколиственных лесов верховья Амура сохранилась только одна нерестовая река – Анюй. В этой типично лососевой реке обитают осенняя кета, ленок, таймень, амурский хариус, встречаются голец и голянь. Другие реки Приамурья – Хор, Бикин, Кур, Большая Уссурка уже утратили свое нерестовое значение (Антонов, 1999).

Цель исследований заключалась в том, чтобы выявить влияние лесных пожаров 1998 г. на изменение трофического статуса р. Анюй на основании микробиологической индикации качества воды в ее притоках с различной степенью выгорания растительного покрова в водоохраных зонах.

Конкретные задачи состояли в следующем.

Исследовать сезонную динамику структуры планктонных микробоценозов в малых водотоках бассейна р. Анюй, водосборы которых в различной степени пострадали от лесных пожаров.

Определить влияние верховых и низовых пожаров на самоочищающий потенциал водных экосистем по изменению микробиологических показателей (индекс трофности и коэффициент минерализации органических веществ).

Показать характер изменения качества воды и трофического статуса р. Анюй в послепожарный период.

Объекты и методы исследования. Бассейн р. Анюй занимает площадь в 12700 км². Длина реки 393 км. На водосборе насчитывается около 5000 небольших рек, длиной до 10 км, шесть рек – до 100 км. Два крупных правобережных притока: Манома – 198 км и Гобилли – 97 км. Паводки происходят 4–6 раз в году (май–июнь, сентябрь–октябрь). Продолжительность ледостава 155–160 дней.

Пожары в бассейне р. Анюй носили пятнистый характер. Наиболее пострадал водосбор одного из ее крупных правых притоков – р. Гобилли (рис. 1). Здесь были отмечены повальные пожары, верховые и низовые, а также зоны с полностью выгоревшим до золы растительным покровом. Наиболее пострадали от пожаров водосборы левобережных притоков р. Гобилли: ручьи Забытый, Горелый-1, Горелый-2, Завальный. Качество воды в этих водотоках исследовали в течение летне-осеннего периода 1999 и 2000 гг. Роль фоновых водотоков выполняли правобережные притоки р. Гобилли: Большой и Малый Эртукули, а также притоки р. Анюй – реки Куптурку, Богбасу, Манома, которые находились за пределами очагов пожаров 1998 г.

В качестве критериев изменения состояния водных экосистем под влиянием пирогенных факторов после лесных пожаров 1998 г. кроме традиционных гидрохимических параметров были использованы методы биоиндикации, основанные на исследовании структуры планктонных микробных сообществ.

Микробиологические показатели служат надежным информационным источником для прогноза возможных экологических последствий как при кратковременном воздействии, так и при длительном хроническом влиянии того или иного фактора.

Ответные реакции водных микробных сообществ на преобразование природных комплексов на водосборах выражаются прежде всего в изменении соотношения численности (N) отдельных эколого-физиологических групп, культивируемых на различных субстратах. Для анализа структуры микробных сообществ использовали агаризованные питательные среды. Микробиологические пассажи проводили общепринятым в водной микробиологии методом предельных разведений. Общую численность гетеротрофных микроорганизмов определяли на рыбобептонном агаре, разбавленном в 10 раз (РПА:10); численность евтрофной группы гетеротрофов, утилизирующих высокие концентрации азотсодержащих органических веществ, – на РПА. Бактерий, усваивающих минеральные формы азота, учитывали на крахмало-аммиачном агаре (КАА); фенолрезистентных бактерий – на минеральной среде, содержащей 1 г/л фенола в качестве единственного источника углерода.

Для оценки изменения качества воды и самоочищающей способности водотоков использовали два показателя.

Индекс трофности (ИТ): соотношение N РПА:10 / N РПА. Увеличение этого показателя происходит при активизации процессов самоочищения и снижении концентрации биохимически лабильных органических веществ, а уменьшение наблюдается при евтрофировании водных экосистем вследствие их первичного и вторичного загрязнения.

Коэффициент минерализации (КМ): соотношение N КАА / N РПА. Изменение этого показателя отражает динамику минерализации органических веществ при участии двух физиологических групп микроорганизмов в процессах аммонификации и нитрификации. Рост этого коэффициента свидетельствует о завершающих этапах деструкции органических веществ, сопровождающихся изменением соотношения концентраций аммония и нитратов в водной среде.

Увеличение обоих этих показателей связано с активизацией микробиологических процессов и самоочищающей способности водных экосистем. Главная особенность этих показателей состоит в том, что они отражают динамизм внутриводоемных процессов в конкретном водном объекте и ответные реакции микробиоценозов на поступление органических веществ и биогенных элементов.

Результаты и обсуждение

Анализ сезонной динамики качества воды в р. Анюй и ее притоках (табл. 1) показывает, что через 2 года после лесных пожаров качество воды по микробиологическим показателям определяется главным образом гидрологическим режимом и сезонным поступлением органических веществ, особенно в период паводков. Отмечено увеличение численности всех эколого-физиологических групп в середине сентября в связи с поступлением с водосбора растительных остатков и продуктов их разложения. Р. Гобилли по качеству воды не уступает р. Куптурку, водосбор которой не был затронут лесными пожарами 1998 г. В более крупных водаках, р. Манома и Анюй, микробиологические показатели отражали изменение качества воды в связи с паводковым режимом.

Параметры ИТ и КМ в летне-осенний период свидетельствуют о высокой самоочищающей способности р. Анюй.

Таблица 1

Сезонная динамика качества воды в р. Анюй и ее притоках в летне-осенний период 2000 г.

Водоток	Дата	t, °С	Численность микроорганизмов, кл./мл				ИТ	КМ
			РПА	РПА:10	КАА	Ф.Р.		
Р. Гобилли	01.07	-	200	350	205	50	1,8	1,3
	12.09	7,7	340	1600	300	20	4,9	0,9
	14.10	4,0	170	650	500	120	3,8	2,9
Р. Куптурку	02.07	-	100	440	300	30	4,9	3,3
	14.09	6,5	250	1700	1400	0	0,68	0,6
	14.10	4,2	140	600	600	10	4,3	4,3
Р. Манома	02.07	-	1200	1600	600	60	1,3	0,5
	14.09	-	800	5000	2200	10	6,3	2,8
Р. Анюй (мост)	03.07	-	300	4600	2500	40	15,3	8,3
	15.09	13,8	490	9100	1600	10	18,6	3,3
	12.10	3,8	790	5700	1700	10	7,2	2,2

Примечание. Здесь и далее Ф.Р. – фенолрезистентные бактерии; остальные обозначения в тексте.

Сравнительная оценка качества воды в притоках р. Анюй (табл. 2) в 1999–2000 гг. позволяет говорить о стабилизации экологической ситуации в водных экосистемах в 2000 г. по сравнению с первым послепожарным годом, особенно в р. Гобилли. Однако следует заметить, что эти 2 года значительно отличаются по динамике изменения качества воды в водотоках, водосборы которых не были пройдены пожарами (Куптурку и Манома). Несмотря на это, в устьевой зоне р. Анюй отмечено улучшение качества воды по микробиологическим показателям.

Таблица 2

Сравнительная оценка качества воды в притоках р. Анюй в 1999–2000 гг.
(летне-осенний период)

Водоток	Год	Численность микроорганизмов, кл./мл			
		РПА	РПА:10	КАА	Ф. Р.
Р. Гобилли	1999	<u>480–11000</u>	<u>1000–54000</u>	<u>500–29000</u>	<u>0–2600</u>
		4530	18000	9117	908
	2000	<u>170–340</u>	<u>350–1600</u>	<u>205–500</u>	<u>20–120</u>
Р. Куптурку	1999	<u>370–20000</u>	<u>270–56000</u>	<u>700–56000</u>	<u>0–40</u>
		4418	12630	12780	23
	2000	<u>100–250</u>	<u>440–1700</u>	<u>300–1400</u>	<u>0–30</u>
Р. Манома	1999	<u>950–3400</u>	<u>4200–5200</u>	<u>3500–12000</u>	<u>0–250</u>
		2150	4667	6967	143
	2000	<u>800–1200</u>	<u>1600–5000</u>	<u>600–2200</u>	<u>10–60</u>
Р. Анюй (мост)	1999	<u>1000</u>	3300	1400	35
		<u>540–7800</u>	<u>2800–51000</u>	<u>1700–46000</u>	<u>0–2600</u>
	2000	<u>300–790</u>	<u>4600–9100</u>	<u>1700–2500</u>	<u>10–40</u>
		527	6467	1933	20

Согласно оценке самоочищающей способности и интенсивности микробиологических процессов р. Гобилли характеризуется более низкими средними значениями КМ, а р. Анюй более высокими (табл. 3). Возможно, это связано с динамикой качества воды в водотоках, не пострадавших от лесных пожаров.

Таблица 3

Сравнительная оценка самоочищающей способности водотоков бассейна р. Анной

	Река							
	Гобилли (мост)		Куптурку		Манома (мост)		Анной (мост)	
	1999 г.	2000 г.	1999 г.	2000 г.	1999 г.	2000 г.	1999 г.	2000 г.
Коэффициент минерализации	$\frac{0,9-3,3}{1,9}$	$\frac{0,9-2,9}{1,7}$	$\frac{1,9-5,1}{3,6}$	$\frac{0,6-4,3}{2,7}$	$\frac{2,6-3,7}{3,3}$	$\frac{0,5-2,8}{1,7}$	$\frac{1,0-27,4}{7,1}$	$\frac{2,2-8,3}{4,6}$

Сравнительный анализ сезонного изменения структуры планктонных микробных сообществ в различных водотоках в течение 2 лет после пожаров показывает (рис. 2), что качество воды р. Гобилли и р. Анной изменяется более значительно, чем в р. Манома, особенно в период летней межени (июль). В октябре отмечены существенные изменения в структуре микробных сообществ только в воде р. Гобилли. В крупных водотоках (Анной, Манома), особенно в устьевой зоне, в паводковый режим ситуация однотипна.

Наиболее яркие различия в формировании качества воды были обнаружены в малых водотоках, бассейны которых в различной степени пострадали от пожаров (табл. 4) и имели разные площади водосбора. По максимальной численности гетеротрофных бактерий выделяются руч. Забытый и руч. Горелый-1 (рис. 3). Хотя их водосборы были поражены в различной степени (Забытый на 100 %, Горелый-1 на 90 %), решающую роль сыграл тип пожара. Водосбор руч. Горелый-1 пройден низовым пожаром, в результате которого в водоохраных зонах выгорела лесная подстилка, что и было зафиксировано в первый год после пожаров.

Следует обратить особое внимание на ответные реакции водного микробного сообщества руч. Горелый-2 в 2000 г., которые носили затяжной характер и были обусловлены комплексным влиянием пирогенного и антропогенного факторов.

Основное влияние пожара сказалось на качестве воды этого водотока в 1999 г. в связи со спецификой поражения территории. Так, на правом, пологом берегу прошли верховые пожары, в непосредственной близости к берегу растительный покров выгорел полностью с образованием 4–5 сантиметрового слоя золы. На левом берегу, в устьевой зоне, на крутом склоне прошли низовые пожары, которые привели к обуглеванию стволов деревьев и минерализации органогенного горизонта почвенного покрова. Основной смыв пирогенного материала произошел в период снеготаяния и с поверхностным стоком весной 1999 г.

Летом 2000 г. у основания крутого склона проводились дорожные работы, в ходе которых на поверхность были выведены грунтовые воды. В результате усилился поверхностный сток почвенных и минеральных частиц, что было зафиксировано гидрологическими исследованиями в форме увеличения содержания взвешенных веществ и мутности воды.

Таблица 4

Характеристика малых водосборов, подверженных воздействию лесных пожаров (материалы В.В. Шамова и В.И. Ким)

Водоток	Площадь водосбора, км ²	Площадь, пройденная пожаром 1998 г., %	Падение реки, м	Суммарная длина русловой сети, км
Забытый	11,8	100	500	11,7
Горелый-2	6,1	100	400	4,4
Завальный	13,8	80	330	11,6
Горелый-1	4,5	90	650	4,6

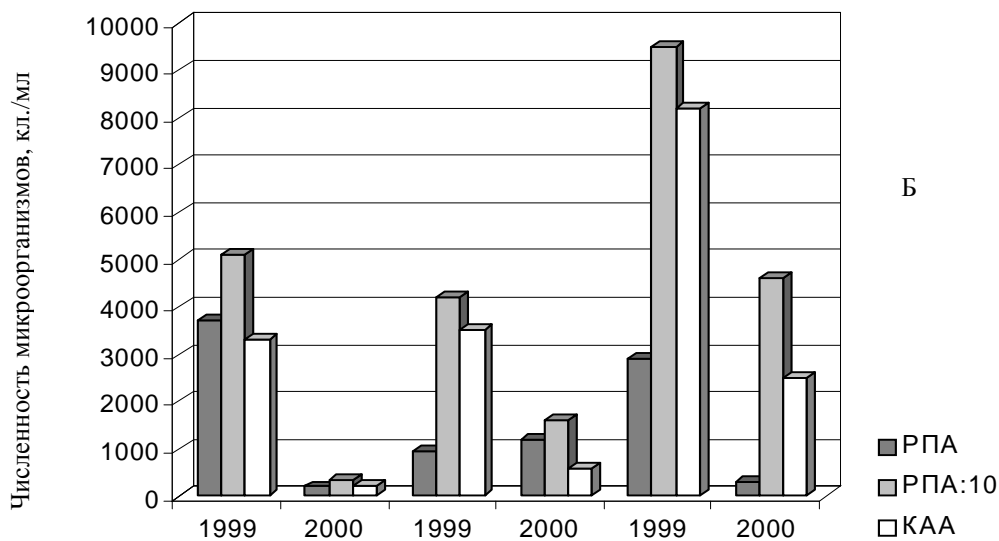
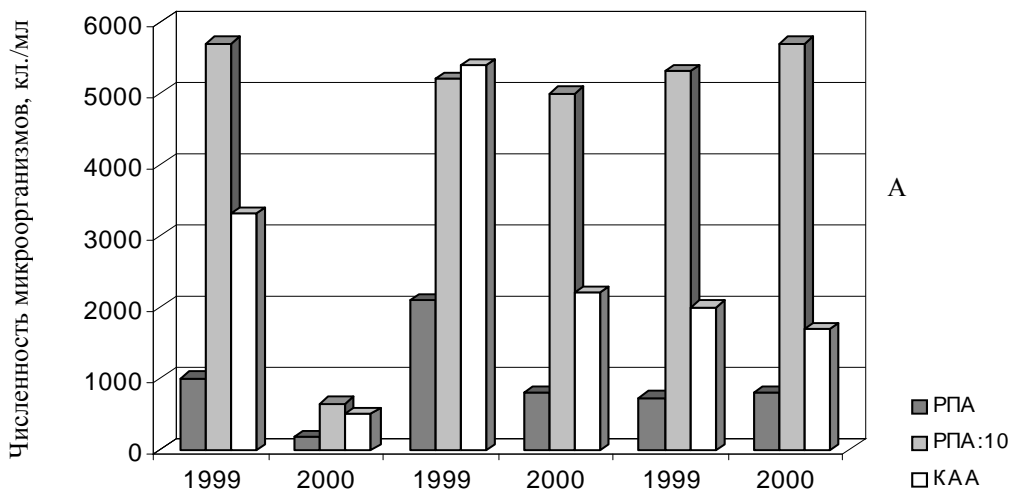


Рис. 2. Структура планктонных микробиоценозов в р. Анюй и ее притоках в июле (А) и октябре (Б) 1999–2000 гг.

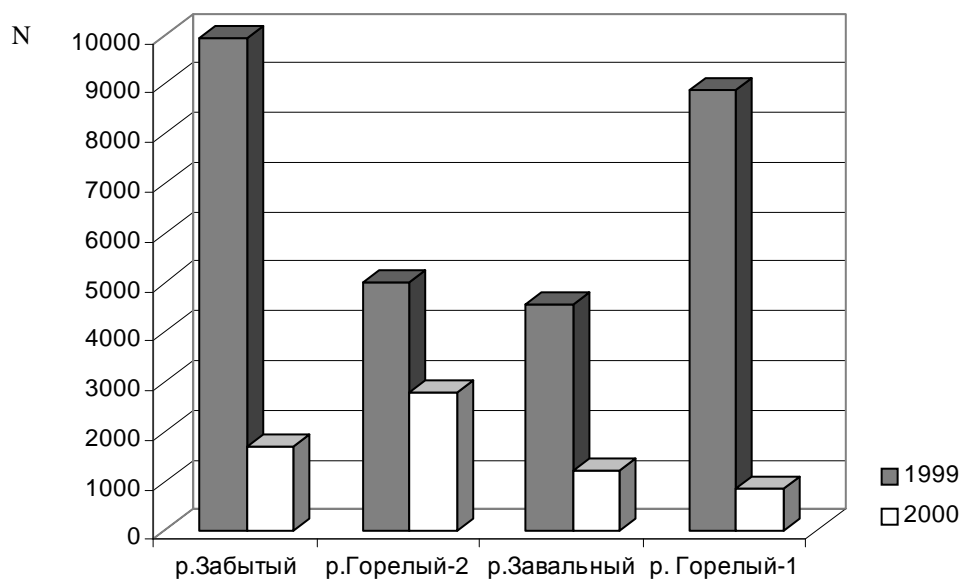


Рис. 3. Общая численность гетеротрофных бактерий (N) в ручьях бассейна р. Гобилли после пожаров 1998 г.

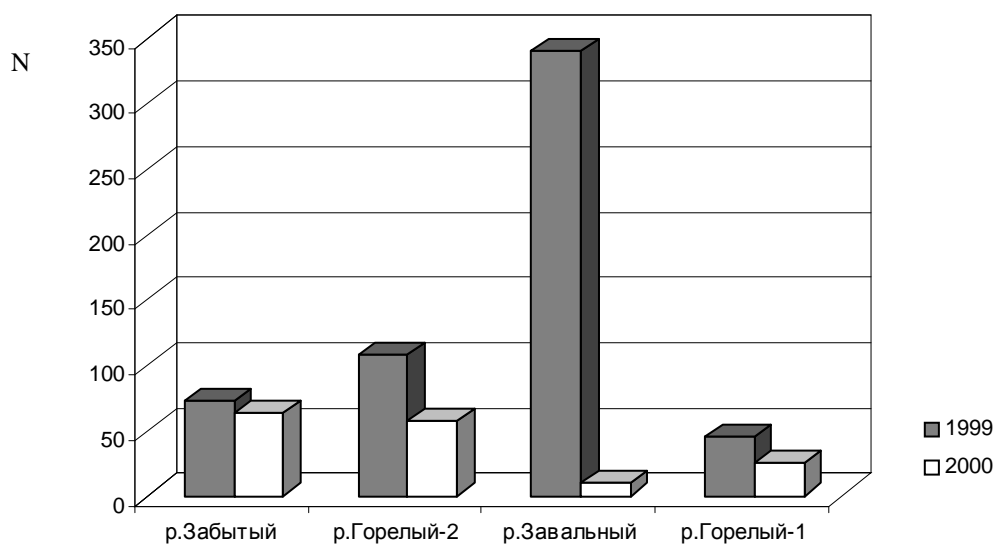


Рис. 4. Динамика численности (N) фенолрезистентных микроорганизмов в водотоках бассейна р. Анной после лесных пожаров 1998 г.

Можно отдельно отметить увеличение численности фенолрезистентных бактерий в исследованных водотоках (рис. 4). Это прежде всего ручьи, на водосборах которых прошли верховые пожары и присутствует много обугленной древесины. Максимальная численность этой группы бактерий в руч. Завальный подтверждается его названием. Русло ручья подвергается заболачиванию вследствие его значительной деформации после корчевания деревьев и поступления в воду древесных остатков.

Стабилизация экологической ситуации в водных экосистемах наблюдается через 2 года после низовых пожаров, что демонстрируется увеличением самоочищающей активности микробного сообщества руч. Горелый-1 (табл. 5). Динамика микробиологических процессов в руч. Завальный более стабильная, так как не связана с пирогенным фактором, а преобразование растительного покрова по берегам произошло несколько лет назад. В контрольных притоках р. Гобилли (Большой и Малый Эртукули) качество воды по индексу трофности в значительной степени определяется природными сезонными изменениями, в частности паводками.

Таблица 5
Оценка трофического статуса и самоочищающей способности притоков р. Гобилли

Водоток	Год	Индекс трофности	Коэффициент минерализации
Руч. Забытый	1999	<u>1,3-4,6</u> 2,7	<u>0,7-7,7</u> 2,8
	2000	<u>2,7-3,3</u> 3,0	<u>1,1-2,2</u> 1,7
Руч. Горелый-2	1999	<u>1,7-6,4</u> 4,0	<u>1,6-6,4</u> 3,5
	2000	<u>2,9-9,4</u> 5,5	<u>0,8-3,8</u> 1,9
Руч. Завальный	1999	<u>2,6-6,5</u> 5,0	<u>2,6-3,7</u> 3,1
	2000	<u>3,8-6,6</u> 4,8	<u>2,6-3,7</u> 3,1
Руч. Горелый-1	1999	<u>1,0-4,0</u> 2,4	<u>0,1-2,7</u> 1,6
	2000	<u>5,3-10,0</u> 7,7	<u>0,6-8,6</u> 3,8
Р. Малый Эртукули	1999	<u>1,5-6,0</u> 4,1	<u>0,7-5,3</u> 3,1
	2000	<u>1,7-4,2</u> 2,8	<u>1,2-4,0</u> 2,3
Р. Большой Эртукули	1999	<u>1,9-16,0</u> 6,3	<u>1,8-6,7</u> 4,3
	2000	<u>1,5-12,0</u> 5,9	<u>0,8-5,2</u> 2,8

В течение 2 лет после пожаров 1998 г. качество воды р. Анной в период нереста кеты не претерпело существенных изменений и соответствовало ее природному состоянию благодаря сохранившейся самоочищающей способности. По данным Амуррыбвода в первый послепожарный год в р. Анной отнерестилось около 17000 особей. Скат малька происходил в обычные сроки (апрель–июнь). Всего скатилось более 10 млн. мальков. В устьевой зоне р. Анной самоочищающий потенциал в 1999 г. во время нереста был выше, чем в допожарный период наблюдений (1995 г.). В зимнее время качество воды в нерестилище выше с. Арсеньево практически не изменилось, самоочищающий потенциал также остался на прежнем уровне (рис. 5, 6).

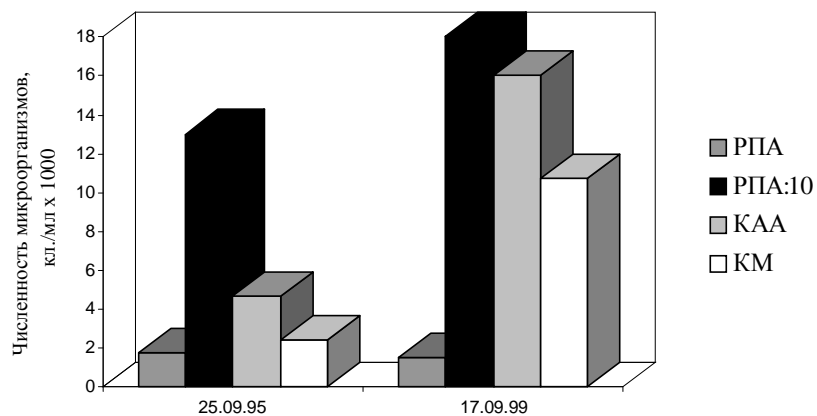


Рис. 5. Качество воды в устьевой части р. Анной в период нереста кеты до и после пожаров 1998 г.

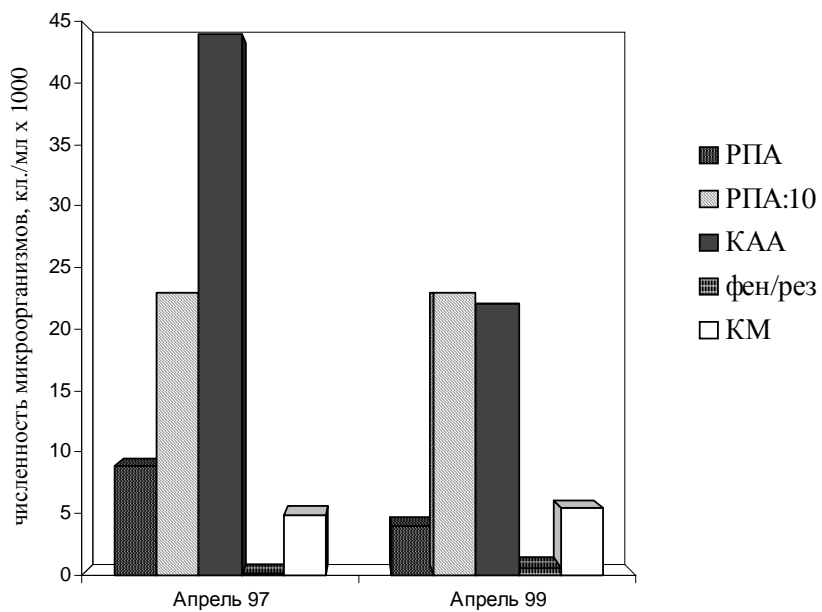


Рис. 6. Качество воды в нерестилище (выше с. Арсеньев) в период вскрытия льда до и после пожаров 1998 г.

Заключение

Таким образом, микробиологические исследования показали, что качество воды в водотоках бассейна р. Анной в 1999-2000 гг. определялось интегральным воздействием двух факторов: пожарами 1998 г. и строительством дороги Лидога-Ванино. Антропогенное воздействие регистрируется по изменению мутности и структуры микробсообществ воды. Максимальный экологический риск для водных экосистем проявляется в первый год после низовых пожаров, при полном выгорании растительного покрова.

Инерционность и длительность ответных реакций микробных сообществ отмечается в малых водотоках, водосборы которых пострадали от верховых пожаров. Однако р. Анной по-прежнему сохраняет свой олиготрофный статус, несмотря на некоторую тенденцию увеличения уровня трофности малых водотоков в первый послепожарный год.

Среди факторов, влияющих на формирование качества воды, следует назвать деградацию почвенного покрова в водоохраных зонах, особенно на крутых склонах, с которых осуществляется вынос биогенных элементов. Пожары усиливают инфильтрационную способность склоновых отложений, вследствие этого нарушаются природные процессы поверхностного стока и изменяется водный баланс рек.

Сохранение высокого качества природной воды в р. Анной возможно лишь при регламентации хозяйственной деятельности на всей территории водосбора. Благоустройство и восстановление лесов в водоохраных зонах – позволят сохранить уникальный фонд ее рыбных запасов, предотвратить разрушение нерестилищ лососевых рыб.

Литература

- Антонов А.Л. Аннойский национальный парк // Приоритетные территории российского Дальнего Востока для сохранения биоразнообразия (Экологические «горячие точки»: Обзор). Владивосток: «Друзья земли – Япония»: Международный союз охраны природы, 1999. С. 142–144.
- Выводцев Н.В. Влияние пожаров на продуктивность лиственничников // Леса и лесообразовательный процесс на Дальнем Востоке. Владивосток, 1999. С. 143.
- Ефремов Д.Ф., Морин В.А., Сапожников А.П. Проблемы оценки экологического риска в лесном хозяйстве // Экологический риск: анализ, оценка, прогноз. Иркутск, 1998. С. 9–10.
- Золотухин С.Ф., Махинов А.Н. Устойчивость нерестилищ осенней кеты // Амур на рубеже веков. Ресурсы, проблемы, перспективы. Часть 2. Хабаровск, 1999. С. 93–97.
- Иванов А.В., Кашин Н.П., Куклина Н.М., Таловская В.С., Парфенов Ю.С., Шестеркин В.П. Роль лесных пожаров в формировании химического состава атмосферных осадков, снежного покрова и поверхностных вод // Формирование химического состава природных вод Приамурья и Забайкалья. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. С. 28–38.
- Кашишке Э., Стокс Б., Кахун Д. Случайная природа пожара в бореальном лесу // Девственные леса мира и их участие в глобальных процессах. Хабаровск, 1999. С. 61.
- Сапожников А.П. О необходимости новых подходов к пирологической оценке лесов // Девственные леса мира и их участие в глобальных процессах. Хабаровск, 1999. С. 63–64.
- Сиренко Л. А., Козицкая В.И. Биологически активные вещества водорослей и качество воды. Киев: Наукова думка, 1988. 256 с.
- Соколов Б.Л. Новые результаты экспериментальных исследований литогенной составляющей речного стока // Водные ресурсы. 1996. Т. 23. № 3. С. 278–287.
- Фурьев В.В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 253 с.
- 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.
- Minshall G.W., Robinson C.T., Royer T.V. Stream Ecosystem Responses to the 1988 Wildfires // Yellowstone Science. Summer 1998. P. 15–22.