

ПОТЕНЦИАЛ природных биоплёнок ***NOSTOC COMMUNE*** КАК СОРБЕНТОВ тяжёлых металлов В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Сообщества биопленок *Nostoc commune* различных экотопов отражают специфику техногенного воздействия на окружающую среду. Данные сообщества являются индикаторами техногенной нагрузки, отражая уровень химического загрязнения окружающей среды. Благодаря многообразию состава и свойств, в условиях прогрессирующего загрязнения природные биопленки *N. commune* могут сыграть роль биофильтров – поглотителей токсикантов.



Введение

Биоплёнки *Nostoc commune* — природные многовидовые структурированные сообщества фототрофных и сапротрофных микроорганизмов, обитающих в любом регионе планеты. Совокупность предполагаемых механизмов устойчивости микроорганизмов, входящих в состав биоплёнок, делает эти уникальные природные комплексы перспективным объектом в разработке методов оценки состояния окружающей среды с проведением биоремедиационных мероприятий [1].

Целью работы было исследование биоремедиационного и биотестового потенциала природных многовидовых биоплёнок

Е.А. Горностаева*, аспирант кафедры ботаники, физиологии растений и микробиологии, ФГБОУ ВПО Вятская государственная сельскохозяйственная академия

с доминированием цианобактерии *Nostoc commune* по отношению к ионам меди (II) и никеля (II), которое включало три направления:

- ♦ исследование видового, группового состава биоплёнок и содержания тяжёлых металлов в биоплёнках из различных экотопов;
- ♦ определение сорбционной способности биоплёнок по отношению к ионам никеля (II) и меди (II) при различных условиях контактирования в водной среде;
- ♦ выявление физиолого-биохимического отклика комплекса микроорганизмов, входящих в состав биоплёнок *Nostoc commune*, на воздействие испытуемых поллютантов.

*Адрес для корреспонденции: g_lentochka@mail.ru

Материалы и методы исследования

Объектами исследования были природные плёнки с доминированием цианобактерии (ЦБ) *Nostoc commune*, собранные вдоль обочины шоссе и железной дорог (ЖД) на песчано-гравийной насыпи. Культивировали биоплёнки на среде Громова № 6 без азота в течение 2 месяцев в люминостате при постоянной температуре (+25 °С) и 12-часовом освещении (3000 лк). Исследовали сорбционные способности биоплёнки до и после выращивания как в виде цельной биоплёнки, так и в виде гомогената. Гомогенизировали на гомогенизаторе марки Homohenizer type 302 при 11000 об./мин. в течение 3 мин. В качестве токсикантов использовали соли меди (II) и никеля (II) в виде сульфатов. При этом концентрация ионов тяжёлых металлов (ТМ) составляла 2 и 20 мг/дм³.

Таблица 1

Видовой состав фототрофов биоплёнки *Nostoc commune*

Вблизи автодороги	Вблизи железной дороги
1. <i>Nostoc commune</i>	1. <i>Nostoc commune</i>
2. <i>N. punctiforme</i>	2. <i>N. punctiforme</i>
3. <i>Tolypothrix tenuis</i>	3. <i>Phormidium autumnale</i>
4. <i>Calothrix elenkinii</i>	4. <i>Ph. molle</i>
5. <i>Microchaete tenera</i>	5. <i>Leptolyngbya fragilis</i>
6. <i>Phormidium autumnale</i>	6. <i>L. foveolarum</i>
7. <i>Ph. boryanum</i>	7. <i>Chlorella mirabilis</i>
8. <i>Ph. formosum</i>	8. <i>Phormidium uncinatum</i>
9. <i>Leptolyngbya frigida</i>	9. <i>Plectonema nostocorum</i>
10. <i>L. fragilis</i>	10. <i>Borzia trilocularis</i>
11. <i>L. foveolarum</i>	
12. <i>L. angustissima</i>	
13. <i>Tychonema granulatum</i>	
14. <i>Oscillatoria</i> sp.	
15. <i>Chlorella vulgaris</i>	
16. <i>Chlamydomonas gloeogama</i>	
17. <i>Chlorococcum</i> sp.	
18. <i>Coenocystis planctonica</i>	
19. <i>Stichococcus bacillaris</i>	
20. <i>Klebsormidium flaccidum</i>	
21. <i>Kleb. rivulare</i>	
22. <i>Characiopsis minima</i>	
23. <i>Eustigmatos magnus</i>	

А.И. Фокина, кандидат биологических наук, доцент кафедры химии, ФГБОУ ВПО Вятский государственный гуманитарный университет

Л.В. Кондакова, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, ФГБОУ ВПО Вятский государственный гуманитарный университет

Видовой и количественный состав альгоцианобактериальной микрофлоры выявляли путём прямого микроскопирования в сочетании с методами чашечных и водных культур [2]. Активность каталазы (АК) определяли газометрическим методом [3]. Содержание феофетина и хлорофилла *a* определяли спектрофотометрическим методом по монохроматической методике [4]. Содержание ТМ определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре «Спектр-5» [5, 6]. Интенсивность биохемилюминесценции (ИБХЛ) суспензии культуры измеряли на биохемилюминетре БХЛ-07 [7].

Результаты и их обсуждение

Исследование видового, группового состава и содержания тяжёлых металлов в биоплёнках из различных экотопов

Изучение видового состава биоплёнок, отобранных в разных экотопах, показало, что наибольшее представительство различных видов ЦБ и водорослей характерно для биоплёнок, собранных вблизи автодороги (АД), и составляет 23 вида (табл. 1). Видовое богатство биоплёнок вблизи ЖД намного меньше, всего 10 видов, из них 9 ЦБ и 1 водорослей. Полностью исчезают водоросли (*Stichococcus*, *Klebsormidium*). Вероятно, это указывает на более высокий уровень токсичности почвы вблизи ЖД. Данные подтверждаются результатами определения содержания ТМ в плёнках (рис. 1).

Результаты объединённого флористического состава биоплёнок вблизи ЖД коррелируют с данными по количественным характеристикам этих биоплёнок (табл. 2, 3). Так, плотность фототрофных популяций биоплёнок *Nostoc commune* у АД составляет $2,7 \cdot 10^9$ кл./г, а у ЖД — $2,0 \cdot 10^9$ кл./г. Подсчёт количества клеток проводили методом прямого счёта под микроскопом [8].

Цианобактериальные плёнки, являясь накопителями ТМ, отражают экологическую напряжённость экотопа. В плёнках вблизи ЖД содержание цинка, никеля, марганца и меди значительно превышает таковое в плёнках от АД. Этот факт объясним тем, что в почвы вблизи ЖД указанные ТМ попадают при работе железнодорожного транспорта. Образцы плёнок, отобранные вблизи АД, отличаются более высоким содержанием свинца, что вполне объяснимо —

Таблица 2

Групповой состав фототрофного комплекса *Nostoc commune* у автодороги

Группы фототрофов	Численность, кл./г ($\bullet 10^9$)	Содержание, %
<i>Nostoc commune</i>	2,28 ± 0,11	83,12
Другие гетероцистные цианобактерии	0,21 ± 0,01	7,83
Безгетероцистные цианобактерии	0,12 ± 0,01	4,42
Одноклеточные зелёные водоросли	0,113 ± 0,01	4,16
Нитчатые зелёные водоросли	0,013 ± 0,001	0,47
Всего	2,704 ± 0,135	100,00



С.Ю. Огородникова,

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Учреждение Российской академии наук Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

Л.И. Домрачева,

доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники, физиологии растений и микробиологии, ФГБОУ ВПО Вятская государственная сельскохозяйственная академия

Таблица 3

Групповой состав фототрофного комплекса *Nostoc commune* у железной дороги

Группы фототрофов	Численность, кл./г ($\bullet 10^9$)	Содержание, %
<i>Nostoc commune</i>	1,61 ± 0,21	81,64
Другие гетероцистные цианобактерии	0,05 ± 0,01	2,53
Безгетероцистные цианобактерии	0,21 ± 0,02	10,85
Одноклеточные зелёные водоросли	0,10 ± 0,015	4,98
Всего	1,975 ± 0,1	100,00

многие годы использование этилированного бензина привело к его накоплению в почве.

Благодаря своим особенностям, ЦБ обладают свойством концентрировать ТМ, тем самым, очищая почву от них [9]. Но помимо почвы ТМ загрязняют водные источники. Поэтому мы поставили задачу определить сорбционные возможности биоплёнок в водной среде.

Определение сорбционной способности биоплёнок по отношению к ионам никеля (II) и меди (II) при различных условиях контактирования

Для данного исследования взяты плёнки *Nostoc commune*, отобранные вблизи АД. Навески сухих биоплёнок (высушивали на фильтровальной бумаге при комнатной температуре до постоянной массы) массой 0,02 г (до и после выращивания) помещали в растворы солей никеля и меди с концентрациями 2 и 20 мг/дм³, а также в смесь солей с аналогичными концентрациями каждого металла в смеси (доза-концентрация биопленок в таких условиях составляет 0,8 г/дм³). Биоплёнки до выращивания считали неочищенными, а после выращивания — очищенными от ТМ, полагая, что при культивировании в биоплёнках происходит существенное снижение природной концентрации ТМ (табл. 4).

Остаточное содержание ионов Cu²⁺ и Ni²⁺ определяли в фильтрате после суточного выдерживания в растворе токсикантов (табл. 5).

Сорбционные возможности очищенной от ТМ биоплёнки оказались выше. Скорее всего, при выращивании на питательной среде остались виды с большим сорбционным потенциалом, и содержащиеся до очистки в биоплёнке ТМ препятствовали поглощению ионов никеля (II) и меди (II).

После выявления значимости предварительной очистки микроорганизмов на их сорбционные свойства провели исследование влияния формы контактирования (гомогенат и плёнка) на способность сообщества очищать раствор от ионов металлов. Продолжительность контакта этих структур с токсикантами в водной среде составила 1 сутки (табл. 6, 7).

Остаточное содержание ионов ТМ в растворе после контакта с гомогенатом мень-

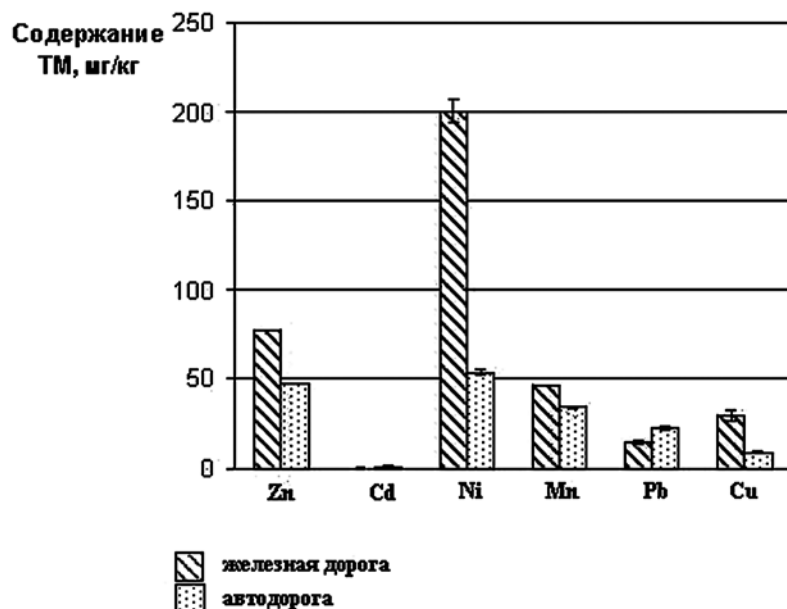


Рис. 1. Содержание ТМ в природных плёнках *Nostoc commune* из различных экотопов.

Таблица 4

Содержание некоторых ТМ в биоплёнке до и после выращивания на среде Громова № 6 без азота, мг металла/г сухой биоплёнки

Металл	От АД		От ЖД	
	До	После	До	После
Cu	8,80 ± 0,42	5,44 ± 0,39	29,4 ± 2,96	13,74 ± 0,22
Pb	22,80 ± 0,85	13,96 ± 1,15	14,65 ± 1,63	7,33 ± 1,09
Cd	1,25 ± 0,07	1,12 ± 0,06	1,40 ± 0,02	1,40 ± 0,07
Ni	54,04 ± 8,45	30,08 ± 6,02	200,00 ± 14,80	81,28 ± 5,09

Таблица 5

Остаточное содержание металлов в растворе после контакта с биоплёнкой до и после очистки

Исходные концентрации ионов металлов, мг/дм ³	Остаточное содержание ионов металла в растворе, мг/дм ³			
	Cu ²⁺		Ni ²⁺	
	до очистки	после очистки	до очистки	после очистки
Cu ²⁺ , 2	0,41 ± 0,06	0,09 ± 0,002	-	-
Cu ²⁺ , 20	4,10 ± 1,90	2,65 ± 0,02	-	-
Ni ²⁺ , 2	-	-	0,23 ± 0,01	0,03 ± 0,001
Ni ²⁺ , 20	-	-	10,27 ± 1,74	4,97 ± 0,001
Ni ²⁺ , 2 + Cu ²⁺ , 2	0,30 ± 0,03	0,10 ± 0,03	0,21 ± 0,002	0,06 ± 0,002
Ni ²⁺ , 20 + Cu ²⁺ , 20	1,53 ± 0,23	1,14 ± 0,03	12,27 ± 1,06	8,36 ± 0,03

Примечание: «-» — не определяли

ше, чем в плёнке. Очищенная плёнка от ЖД сорбирует оба металла полнее почти во всех вариантах, чем плёнка от АД. В вариантах со смесью ионов при концентрации 2 и 20 мг/дм³ остаточное содержание ионов никеля (II) больше после контакта с гомогенатом от ЖД, чем с гомогенатом культуры от АД. Можно предположить, что повышенная сорбция плёнок и гомогенатов от ЖД связана с высвобождением функциональных групп в оболочках клеток культуры при выращивании, поэтому увеличивается поглотительная ёмкость биоплёнок. Поглотительная способность гомогената выше, что может быть связано с большей площадью соприкосновения с раствором.

Ёмкость поглощения зависит от многих факторов, в том числе от количества металлов в биоплёнке, количества ионов металла в растворе и формы контактирования. Так, неочищенная плёнка массой 1 грамм сорбирует 2,2 мг никеля и 2,0 мг меди из растворов с концентрацией металлов 2 мг/дм³ и 10,9 мг и 20,0 мг из растворов с концентрацией металлов 20 мг/дм³ соответственно. После очистки культуры ёмкость по-

глощения увеличилась. Очищенная плёнка массой 1 грамм сорбирует 2,3 мг Ni и 2,2 мг Cu из растворов с концентрацией металлов 2 мг/дм³ и 13,0 мг и 20,3 мг из растворов с концентрацией 20 мг/дм³ соответственно. Ёмкость поглощения увеличивается после гомогенизации культуры. Составляет 2,4 мг Ni и 2,4 мг Cu из растворов с концентрацией металлов 2 мг/дм³ и 16,7 мг и 22,9 мг соответственно из растворов с концентрацией 20 мг/дм³.

Для исследования влияния ионов ТМ на некоторые биохимические процессы в клетках была проведена серия опытов, в ходе которых определяли физиолого-биохимический отклик биоплёнок на действие поллютантов.

Выявление физиолого-биохимического отклика комплекса микроорганизмов, входящих в состав биоплёнок Nostoc commune, на воздействие испытываемых поллютантов

Д.С. Лаптев,
кандидат биологических наук,
научный сотрудник
ФГБУН Институт физиологии Коми
НЦ Уральского
отделения
Российской академии наук

Е.М. Сластникова,
магистрант кафедры химии,
ФГБОУ ВПО
Вятский государственный гуманитарный университет

Выявление ответных реакций организмов на условия их потенциального применения является одним из аспектов биотехнологии. Внедрение в производственную практику любой живой системы требует знаний о её физиологических особенностях.

При стрессовых воздействиях у ЦБ возникает комплекс разнообразных изменений, которые нередко приводят к различным внутриклеточным нарушениям. В этих условиях для выживания и обеспечения жизнедеятельности крайне важным является функционирование систем поддержания гомеостаза. Поддержание клеточного гомеостаза у ЦБ при влиянии различных внешних факторов обеспечивается работой целого ряда защитных систем. К числу важнейших относится система антиоксидантной защиты, участвующая в протекции окислительных повреждений. Каталазная активность показывает, насколько организм способен реагировать на образование перекиси водорода в присутствии стресс-факторов.

В связи с тем, что хлорофилл и другие пигменты являются необходимой составной частью фотосинтезирующей системы, на-

Таблица 6

Остаточное содержание металлов в растворе после контакта с культурой в виде плёнки и гомогената (у автодороги)

Исходные концентрации ионов металлов, мг/дм ³	Остаточное содержание ионов металла в растворе, %			
	Cu ²⁺		Ni ²⁺	
	плёнка	гомогенат	плёнка	гомогенат
Cu ²⁺ , 2	20,5	4,5	-	-
Cu ²⁺ , 20	20,5	13,25	-	-
Ni ²⁺ , 2	-	-	11,5	1,5
Ni ²⁺ , 20	-	-	50,0	24,5
Ni ²⁺ , 2 + Cu ²⁺ , 2	15,0	5,0	10,5	0,3
Ni ²⁺ , 20 + Cu ²⁺ , 20	17,65	5,7	61,35	41,8

Примечание: «-» — не определяли

Таблица 7

Остаточное содержание металлов в растворе после контакта с культурой в виде плёнки и гомогената (у железной дороги)

Исходные концентрации ионов металлов, мг/дм ³	Остаточное содержание ионов металла в растворе, %			
	Cu ²⁺		Ni ²⁺	
	плёнка	гомогенат	плёнка	гомогенат
Cu ²⁺ , 2	4,7	2,6	-	-
Cu ²⁺ , 20	15,7	8,3	-	-
Ni ²⁺ , 2	-	-	6,5	2,0
Ni ²⁺ , 20	-	-	32,6	30,5
Ni ²⁺ , 2 + Cu ²⁺ , 2	4,1	2,8	8,5	4,0
Ni ²⁺ , 20 + Cu ²⁺ , 20	21,1	15,6	48,1	42,5

Примечание: «-» — не определяли

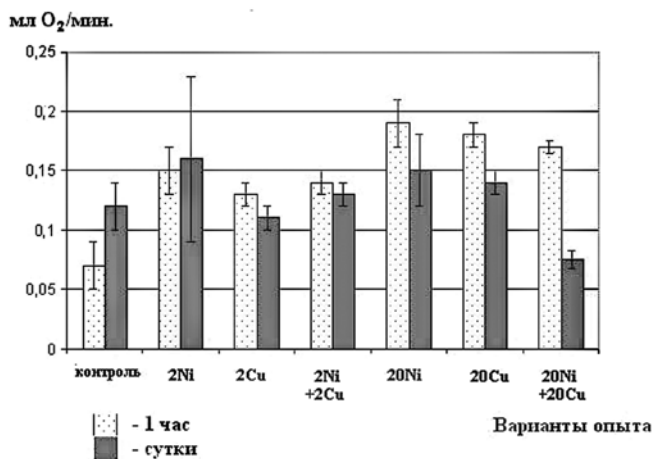


Рис. 2. Влияние концентрации токсикантов и продолжительности экспозиции на АК биоплёнок с доминированием ЦБ *Nostoc commune* (отобраны у автодороги).

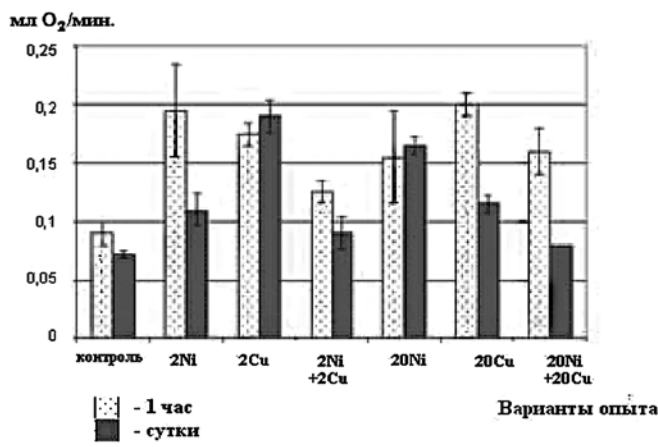


Рис. 3. Влияние концентрации токсиканта и продолжительности экспозиции на АК биоплёнок с доминированием ЦБ *Nostoc commune* (отобраны у железной дороги).

рушение их структуры или уменьшение их количества ведёт к значительному снижению фотосинтетической способности и как следствие — роста микроорганизмов.

Явление БХЛ широко используют для биотестирования токсичности окружающей среды. Ксенобиотики изменяют интенсивность биолюминесцентного сигнала. Ингибирование или активация БХЛ может характеризовать биологическую систему и служить для биотестирования состояния среды [10].

Многие учёные отмечают активную ответную реакцию ферментативных систем микробных комплексов на действие ТМ [11-13]. Среди всех ферментов наиболее, интенсивный отклик у ЦБ выявлен для АК [14]. Поэтому в группу исследуемых показателей входили АК, содержание хлорофилла *a* и интенсивность БХЛ.

Выявлено, что АК при воздействии ТМ на микробные сообщества в течение 1 ч возрастает, а через 24 ч в большинстве вариантов снижается (рис. 2, 3). Поллютанты стимулируют АК, что говорит о возникновении критического состояния в работе биологических систем сообщества. Значения АК в контрольных вариантах обеих серий (АД и ЖД) через час близки между собой, через сутки АК биоплёнок от АД увеличивается, а от ЖД — убывает.

Зависимость интенсивности АК микроорганизмов из различных экотопов от продолжительности контакта и концентрации ТМ несколько отличается друг от друга. В серии опытов с биоплёнкой от ЖД значения АК почти во всех вариантах превышают 0,15 см³/мин. Через сутки, если не учитывать контроль и вариант с концентрацией 2 мг/дм³, значения АК биоплёнок обеих серий схожи между собой как по своим величинам, так и по закономерностям изменений.

Сила первоначального отклика на воздействие токсикантов больше в опытах с плёнкой от ЖД. Можно предположить, что сообщество, отобранное вблизи ЖД, показывает большую «сопротивленческую» реакцию.

Параллельно с исследованием АК изучали влияние ионов ТМ на интенсивность БХЛ и содержания хлорофилла *a* (табл. 9).

Через 24 ч почти во всех вариантах интенсивность БХЛ снижается. Особенно отчетливо это заметно в вариантах с ионами меди. В то время как влияние ионов никеля неоднозначно. По сравнению с контролем, в большинстве случаев ионы никеля ослабляют интенсивность БХЛ, но по сравнению с вариантами, где токсикантом является медь, свечение сильнее. Наиболее приемлемым при проведении биотестирования является вариант экспозиции в течение суток. Показатели интенсивности БХЛ культур, отобранных у ЖД, отличаются от показателей культуры от отобранных у АД. У АД варианты по увеличению токсичности

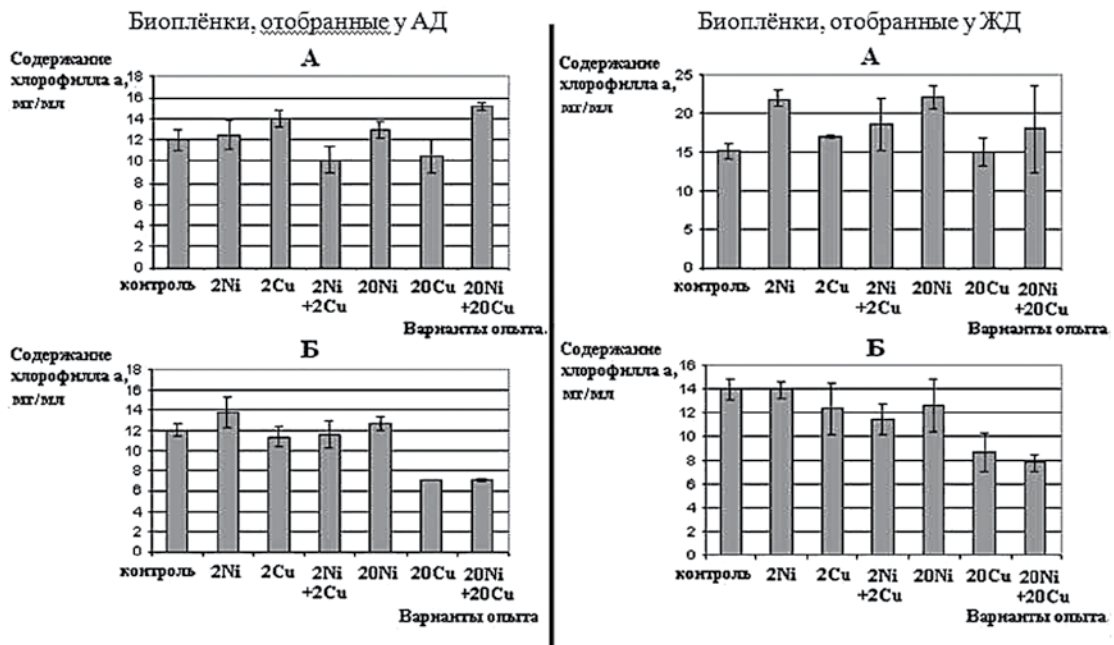


Рис. 4. Влияние ионов Ni^{2+} и Cu^{2+} и продолжительности экспозиции на содержание хлорофилла а в биоплёнках:
 А – через час экспозиции; Б – через сутки экспозиции.

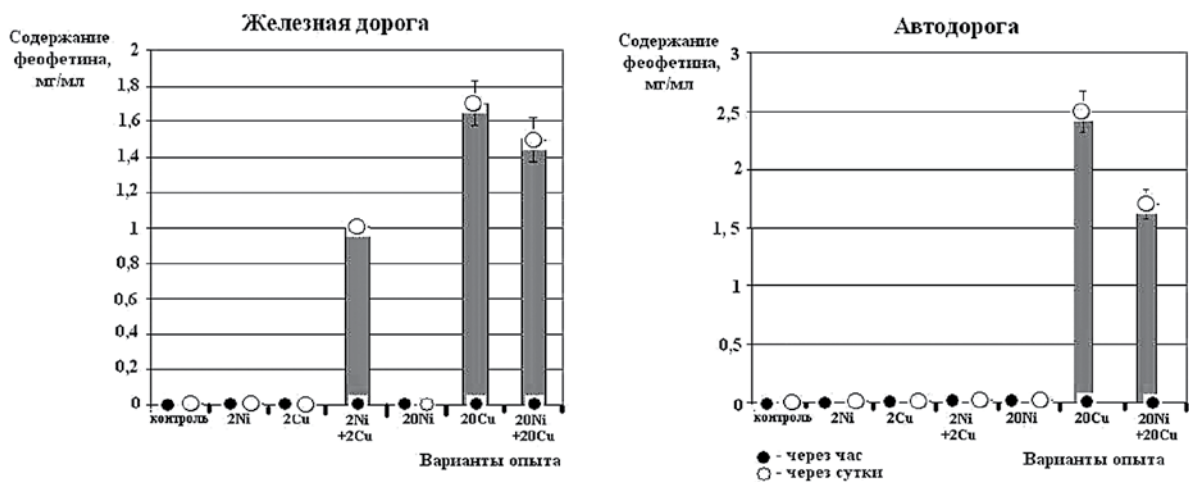


Рис. 5. Влияние ионов никеля (II), меди (II) и продолжительности экспозиции на содержание феофетина в биоплёнках.

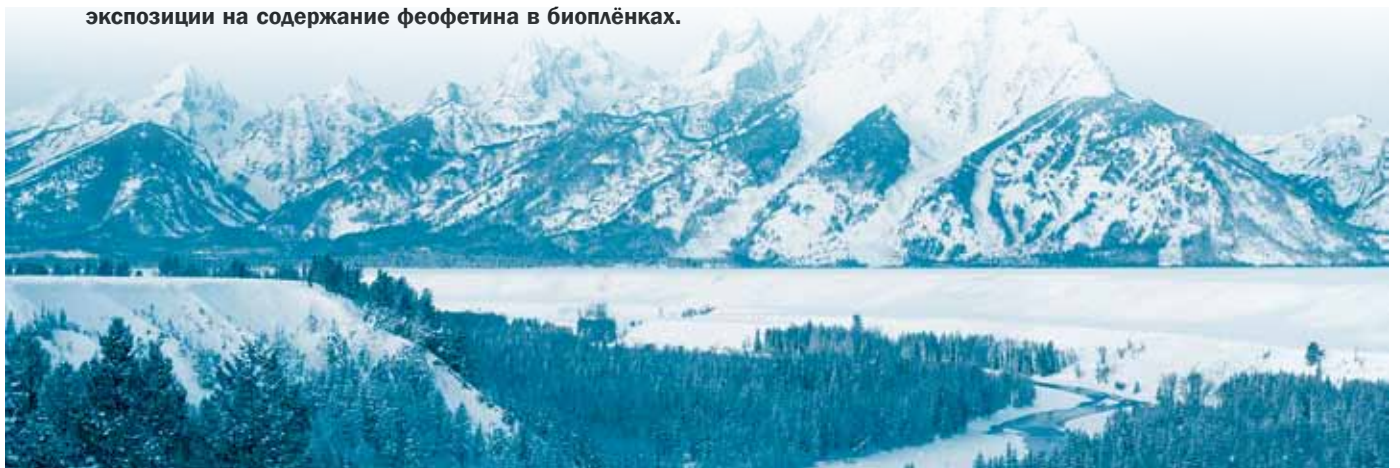


Таблица 9

Влияние ионов Ni^{2+} и Cu^{2+} и продолжительности экспозиции на интенсивность биофлуоресценции биоплёнок, I_{max} (мВ)

Исходные концентрации ионов металлов, мг/дм ³	Вблизи автодороги		Вблизи железной дороги	
	Через час	Через сутки	Через час	Через сутки
Контроль (соли металлов не вносили)	399±25	267±33	314±37	209±5
Ni^{2+} , 2	114±9	103±10	347±41	204±22
Cu^{2+} , 2	110±11	3±1	105±6	52±2
Ni^{2+} , 2 + Cu^{2+} , 2	138±19	2±0	246±29	45±6
Ni^{2+} , 20	222±9	54±10	240±10	178±9
Cu^{2+} , 20	9±2	4±1	12±1	0
Ni^{2+} , 20 + Cu^{2+} , 20	10±2	1±0	11±1	3±0

среды можно расположить в следующем порядке: контроль > Ni^{2+} (2) > Ni^{2+} (20) > Cu^{2+} (20) > Cu^{2+} (2) > Ni^{2+} + Cu^{2+} (2) > Ni^{2+} + Cu^{2+} (20). У железной дороги: контроль > Ni^{2+} (2) > Ni^{2+} (20) > Cu^{2+} (2) > Ni^{2+} + Cu^{2+} (2) > Ni^{2+} + Cu^{2+} (20) > Cu^{2+} (20).

Результаты исследования влияния токсикантов на содержание хлорофилла *a* представлены на рис. 4.

Заметна бóльшая токсичность Cu^{2+} , чем Ni^{2+} . При этом уменьшение содержания хлорофилла *a* наблюдается только через 1 сут.

Определение феофетина, как продукта распада хлорофилла, показало, что ионы ТМ в концентрациях 2 и 20 мг/дм³ через 1 ч не вызывают образования феофетина ни в одном из вариантов (рис. 5). Через 24 ч максимальное содержание феофетина наблюдали в вариантах с высоким содержанием Cu (II) как в индивидуальном растворе, так и в смеси с Ni (II). Кроме того, феофетин обнаружен в плёнке от ЖД, где ионы ТМ находятся в смеси при концентрациях 2 мг/дм³.

Заключение

Сообщества биоплёнок *Nostoc commune* отражают специфику техногенного воздействия на окружающую среду. Эти уникальные сообщества могут выживать и вегетировать в загрязнённых местообитаниях, сохраняя видовое и родовое разнообразие и высокую плотность популяции, а также фиксировать изменения, происходящие в природе. Было выявлено, что содержание ТМ указывает на специфику ан-

тропогенного воздействия на экотоп. Так, в биоплёнке, отобранной у АД, наблюдается высокое содержание свинца, у ЖД – меди, никеля, марганца, цинка. Видовое обилие фототрофов указывает на то, что токсичность местообитания вблизи ЖД выше.

Доказано, что биоплёнки, выращенные в жидкой питательной среде, обладают высокой сорбционной способностью. При этом уровень сорбционной активности определяется концентрацией ТМ и формой сорбента. Так, более активное поглощение ионов ТМ идёт при меньшей концентрации металлов. Отмечена повышенная поглощательная способность гомогената по сравнению с плёнкой. Сорбция ТМ сообществом микроорганизмов у ЖД выше, чем у АД.

Добавление ионов ТМ в среду культивирования *Nostoc commune* приводит к изменению таких физиологических и биохимических показателей биоплёнок, как АК, интенсивность БХЛ, содержание хлорофилла *a* и феофетина.

Литература

1. Домрачева Л.И. Биоплёнки *Nostoc commune* – особая микробная сфера / Л.И. Домрачева Л.В. Кондакова, О.А. Пегушина, А.И. Фокина // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 1. С. 15–19.
2. Голлербах М.М. Почвенные водоросли / М.М. Голлербах, Э.А. Штина. Л.: Наука, 1969. 228 с.
3. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.

4. Standard procedure for the determination of chlorophyll *a* by spectroscopic methods. Institute of Marine Research. Norway, 2000. 25 p.
5. РД 52.18.2 86-91. Методика выполнения измерений массовых долей токсичных металлов в пробах почв атомно-абсорбционным методом. М.: Государственный комитет по гидрометеорологии, 1991. 13 с.
6. Методические указания по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 40 с.
7. Руководство по эксплуатации биохемилюминометра БХЛ-07. Нижний Новгород: НИИ «Биоавтоматика», 2007. 35 с.
8. Домрачева Л.И. Цветение почвы и закономерности его развития. Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2005. 334 с.
9. Горностаева Е.А. Содержание тяжёлых металлов и групповой состав фототрофов в природных биоплёнках *Nostoc commune* как отклик на особенности местообитания / Е.А. Горностаева, А.И. Фокина, Л.В. Кондакова, С.С. Злобин, Г.И. Березин // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2011. № 4. С. 167–168.
10. Кудряшёва Н.С. Физико-химические основы биолюминесцентного анализа / Н.С. Кудряшёва, В.А. Кратасюк, Е.Н. Есимбекова. Красноярск: Красноярский университет, 2002. 154 с.
11. Скворцова И.Н. Зависимость некоторых показателей биологической активности почв от уровня концентрации тяжёлых металлов / И.Н. Скворцова, С.К. Ли, И.П. Ворожейкина // Тяжёлые металлы в окружающей среде. М.: МГУ, 1980. 121 с.
12. Коньшева Е.Н. Влияние тяжёлых металлов и их детоксикантов на ферментативную активность почвы / Е.Н. Коньшева, И.С. Коротченко // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2011. № 1. С. 114–119.
13. Валова Е.Е. Влияние тяжёлых металлов на ферментативную активность почвы / Е.Е. Валова, Ю.Б. Цыбенков, Е.В. Цыбикова // Учёные записки ЗабГГПУ: Экология, 2012. № 1. С. 63–66.
14. Фокина А.И. Влияние свинца на структуру фототрофных микробных комплексов почвы: Дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2008. 154 с.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук № МК-3326.2012.5.



E.A. Gornostaeva, A.I. Fokina, L.V. Kondakova, S.Yu. Ogorodnikova, L.I. Domracheva, D.S. Laptev, E.M. Slastnikova

APPLICATION PERSPECTIVENESS OF *NOSTOC COMMUNE* BIOFILMS AS HEAVY METAL SORBENT IN WATER

State of *Nostoc commune* biofilms in various ecotopes reflexes of specificity of human impact on environment. The societies responding to chemical pollution are indices of man-made load. Under conditions of developing pollution natural *Nostoc commune* biofilms because of their diverse composition and properties may play a part in biofiltration of toxicants.

Key words: *Nostoc commune*, heavy metals, ecotope, sorption capacity, physiological activity