

Методология изучения влияния ионов тяжёлых металлов на культуры почвенных цианобактерий

© 2011. А. И. Фокина¹, к.б.н., ст. преподаватель, Ю. Н. Зыкова², аспирант, Д. Н. Данилов¹, к.х.н., доцент, Т. Я. Ашихмина¹, д.т.н., зав. кафедрой, М. С. Жмак¹, студент,

¹Вятский государственный гуманитарный университет,

²Вятская государственная сельскохозяйственная академия,
e-mail: anya_var@mail.ru

При изучении влияния тяжёлых металлов на цианобактерии использовано три принципа: комплексности, преемственности и исследования «от простого к сложному». Результаты таких исследований информативны, позволяют оценить не только объект исследования, но и методы исследований. На конкретных примерах показаны результаты применения микробиологических, химических и физических методов к изучению одного и того же объекта.

At investigating the influence of heavy metals on soil cyanobacteria three methods were used: comprehensiveness, continuity and researching from the simple to the complex. The results are informative and they let evaluate not only the object but also the methods of investigation. Examples of using microbiological, chemical and physical methods in research of one and the same object are presented.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, цианобактерии, принципы исследований

Key words: heavy metals, cyanobacteria, principles of research

Введение

Многочисленные уникальные свойства цианобактерий (ЦБ) делают эти организмы интереснейшим объектом исследований. В частности, намечены пути использования ЦБ в качестве организмов-биоиндикаторов, организмов-биотестеров, антагонистов для борьбы с фитопатогенами, адсорбентов и деструкторов поллютантов различной химической природы [1 – 5], продуцентов биотоплива, лекарственных веществ и т. д. Для получения информации о требуемом качестве микроорганизма учёные опираются на различные методы. Опыт показывает, что в большинстве случаев один и тот же объект целесообразно изучать разносторонне. Такой путь изучения помогает проверить применимость методов исследования (данные, получаемые различными методами, должны согласоваться, если этого не происходит, следовательно, результаты, получаемые «сомнительным» методом, следует проверить, пересмотреть сам метод, а может, и отказаться от него), полнее изучить и понять объект исследования.

Цель работы – показать возможность использования комплекса микробиологических, химических и физических методов для исследования изменений культуры почвен-

ных цианобактерий под воздействием токсикантов.

Микробиологические методы выявляют демографические особенности популяций микроорганизмов, химические – физиолого-биохимический отклик организмов на воздействие факторов, изменение химических параметров окружающей среды, а физические – изменение состояния на уровне механических, световых и т. п. характеристик. В работе использованы штаммы ЦБ *Nostoc paludosum* 18, *Nostoc muscorum*, *Nostoc linckia* и *Microchaete tenera* 263 из коллекции кафедры ботаники, физиологии растений и микробиологии им. Э. А. Штиной Вятской государственной сельскохозяйственной академии и природные биоплёнки *Nostoc commune*. Химический анализ проведён на базе экоаналитической лаборатории Вятского государственного гуманитарного университета, а морфологию поверхности клеток цианобактерий изучали на сканирующем зондовом микроскопе в лаборатории нанохимии и нанотехнологии данного университета.

Принципы исследований

В основу системы исследования легли следующие принципы: комплексность, пре-

емственность методов и принцип «от простого к сложному».

1. *Комплексность в исследовании.* Данный принцип реализуется, во-первых, через многогранность сторон исследования культуры после контакта с токсикантом; во-вторых, через реализацию как минимум двух целей в ходе одного и того же эксперимента, например, выявление устойчивости, с одной стороны, и установление способности очищать раствор от токсиканта – с другой; в-третьих, через подтверждение достоверности результатов анализа путём применения нескольких независимых методов.

2. *Преемственность методов исследования.* Реализуется через применение методов исследований из других отраслей знаний, ранее не применяемых к изучению конкретных групп микроорганизмов или микроорганизмов вообще. Это один из самых интересных, но иногда труднореализуемых принципов, так как новая методика исследования часто первое время трудна в исполнении. Принцип преемственности очень важен для познания, хотя надо помнить, что применение какого-либо метода должно быть целесообразно, а не исходить просто из интереса.

3. *«От простого к сложному».* В природе влияние тех или иных факторов на организмы усложняется влиянием множества посторонних факторов. Поэтому вычленив степень действия одного из факторов практически невозможно. Исходя из этого предположения, исследуется действие одного фактора, а в дальнейшем – совокупности факторов. Такой подход даёт возможность оценить не только влияние, но и особенности проявления влияния факторов в присутствии друг друга.

Реализация принципа комплексности в исследовании

Устойчивость штаммов ЦБ *Nostoc paludosum*, *Nostoc muscorum*, *Nostoc linckia* и *Microchaete tenera* к свинцу изучали выращиванием культур в жидкой среде Громова № 6 без азота, при внесении свинца в виде ацетата в концентрациях 1, 2, 4, 8 ммоль/л. Культуры ЦБ выращивали в течение 108 суток. Продолжительность опыта определяли в зависимости от темпов роста микроорганизмов. В течение опыта проводили учёт доли гетероцист в культурах цианобактерий. По окончании опыта в культуральной жидкости (КЖ) определено остаточное содержание свинца.

Выявлено, что культуры *N. paludosum*, *N. linckia* и *M. tenera* не развились в вариан-

тах с концентрацией свинца выше 4 ммоль/л. *N. muscorum* выживает даже при концентрации 2 ммоль/л. Химический анализ КЖ показал, что поглощение свинца составляет у *N. muscorum* 91,30%, а у *N. paludosum* – 80,15% от начальной концентрации. В вариантах со свинцом доля гетероцист гораздо выше, чем в вариантах без поллютанта. Вероятно, это связано с тем, что в гетероцистах сосредоточена глутатионовая система, участвующая в детоксикации ТМ [2]. Увеличение доли гетероцист даёт возможность предположить, что это ответная адаптационная реакция.

При исследовании влияния никеля (в виде соли $NiSO_4 \cdot 7H_2O$) и нефтепродуктов (НП) (смазочные охлаждающие масла) на ЦБ *N. linckia* культуры ЦБ в контрольном и опытном вариантах выращивали на жидкой среде Громова № 6 без азота в течение двух недель в люминостатах при постоянной температуре (+25 °С) и круглосуточном освещении (3000 лк). Поллютанты брали в концентрациях 2 и 20 мг/л, а также изучали смесь поллютантов сульфата никеля и нефтепродуктов в равных количествах, в тех же суммарных концентрациях. Выбор данных поллютантов обусловлен тем, что они являются одними из основных компонентов сточных вод машиностроительных предприятий, где есть гальванические цеха. В концентрации 20 мг/л они обычно поступают для внутренней очистки на предприятии. Титр ЦБ при постановке опыта составлял $7 \cdot 10^6$ клеток/мл. Подсчёт численности клеток проводили в камере Горяева [6]. По окончании опыта исследовали:

- жизнеспособность клеток ЦБ по активности дегидрогеназы тетразолюно-топографическим методом [6];
- интенсивность роста (прямой микроскопический учёт);
- численность гетеротрофных бактерий в культурах методом посева на агаризованную питательную среду МПА, при которой каждую выросшую колонию признают за колониюобразующую единицу (КОЕ). Посев осуществляли из 3-го и 4-го разведений в четырёхкратной повторности. Снятие опыта проводили через 4 дня. Полученные результаты подвергли статистической обработке. Кроме того, был вычислен коэффициент корреляции по Пирсону между числом бактерий-спутников и дозами внесения сульфата никеля, нефтепродуктов и их смеси;
- остаточное содержание токсикантов в культуральной жидкости. Остаточное содержание ионов металлов в культуральной жид-

кости определяли методами инверсионного электрохимического анализа (ИЭА) и методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС). Измерения проводили на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА» с датчиком «Модуль ЕМ-04» и атомно-абсорбционном анализаторе «Спектр-5» [7, 8];

– изменение морфологии поверхности клеток цианобактерий, определяемой методом сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). Сканирование вели методом атомно-силовой микроскопии на СЗМ NanoEducator в полу-контактном режиме. Разрешающая способность прибора составляет 50 нм в горизонтальной плоскости и 4 нм по вертикали [9, 10]. Образцы цианобактерий готовили осаждением из культуральной жидкости на чистое покровное стекло с последующим высушиванием при 20° С.

В результате комплексного исследования выявлено:

– высокие концентрации ионов никеля приводят к почти полной гибели популяции ЦБ (по определению жизнеспособности);

– за время экспозиции численность клеток в популяции ЦБ в контрольном варианте выросла более чем в 35 раз; под влиянием нефтепродуктов (2 и 20 мг/л) – в 20 и 29 раз соответственно, тогда как в присутствии сульфата никеля численность клеток увеличивалась очень незначительно – от 1,2 до 2,9 раза по сравнению с первоначальным титром;

– ионы никеля и нефтепродукты оказывают сильное действие как на культуру ЦБ *N. linckia*, так и на состояние популяций бактерий-спутников. Но действие это различно: применяемые токсиканты в любой концентрации вызывают угнетение развития фототрофной бактерии и увеличение процентного содержания в её популяции мёртвых клеток, что особенно чётко проявляется во всех вариантах с внесением Ni. В то же время с ингибированием развития *N. linckia* происходит активизация размножения бактерий-спутников [11];

– определение содержания ионов никеля и нефтепродуктов показало, что за 14 суток экспозиции ЦБ *N. linckia* в загрязнённой среде содержание токсикантов в культуральной жидкости существенно снизилось (табл. 1). При определении содержания никеля оба метода анализа дают сопоставимые результаты, хотя метод ААС даёт повышенные показатели поглощения. Некоторые расхождения в результатах можно объяснить тем, что для инверсионного определения приемлемы низкие

концентрации, поэтому перед анализом исследуемые растворы были разбавлены в 250 раз. При разбавлении неизбежна ошибка анализа, чем и объясняется некоторая разница результатов анализа двумя методами. Чувствительность методов значительно выше ПДК никеля в воде (чувствительность метода 0,01 мг/дм³, а ПДК = 0,1 мг/дм³). Таким образом, оба метода подходят для определения остаточного содержания поллютанта в растворе.

На этом примере хорошо прослеживается третий принцип – «от простого к сложному». Простым является изучение влияния только ионов никеля, сложным – смеси сульфата никеля и нефтепродуктов. В их совместном присутствии прослеживается принцип антагонизма.

Исследования проводили не только на жидких средах, но и на твёрдых субстратах. Влияние свинца на культуры ЦБ исследовалось на плотных питательных средах, как при непосредственном контакте культуры со средой, содержащей токсикант, так и на фильтрах. Такие опыты проведены с культурами ЦБ *N. paludosum* и *N. muscorum*. ЦБ выращивали на агаризованной среде Громова № 6 без азота с различным содержанием ацетата свинца (6, 30, 60, 300, 600, 900 и 1200 мг/кг Pb). Было определено изменение биомассы ЦБ под действием свинца в течение пяти суток (табл. 2).

Как видно из таблицы 2, с увеличением концентрации свинца уменьшается биомасса ЦБ обоих штаммов. Наиболее резко происходит снижение биомассы у *N. muscorum*. Выявлен высокий уровень отрицательной корреляции между концентрацией свинца и логарифмом значения биомассы: $r = -0,94$ для *N. muscorum* и $r = -0,60$ для *N. paludosum*.

Как правило, для количественного выражения степени ингибирования роста организмов применяется показатель ЕС₅₀, соответствующий концентрации токсиканта, при которой рост популяции угнетается на 50% [11]. Для *N. muscorum* ЕС₅₀ лежит в диапазоне концентраций свинца от 6 до 300 мг/кг. У *N. paludosum* адаптационные возможности существенно ниже и резкое ингибирование роста происходит уже при концентрации свинца 6 мг/кг.

Таким образом, несмотря на филогенетическую и экологическую близость данных видов ЦБ, *N. muscorum* имеет более широкий диапазон толерантности по сравнению с *N. paludosum*, и это обстоятельство нужно реально учитывать, отбирая штаммы как для биотестирования, так и для создания сорбентов.

Таблица 1

Остаточное содержание ионов никеля в культуральной жидкости *N. linckia* по данным двух методов определения

Вариант (по дозе вносимого токсиканта), мг/л	Ni ²⁺ , ИЭА, мг/л	Ni ²⁺ , ААС, мг/л
Ni ²⁺ , 2	1,32 ± 0,60	1,31 ± 0,37
Ni ²⁺ , 2 + НП, 2	1,38 ± 0,62	1,18 ± 0,33
Ni ²⁺ , 20	11,75 ± 2,29	8,23 ± 2,33
Ni ²⁺ , 20 + НП, 20	11,13 ± 2,67	9,15 ± 2,52

Таблица 2

Влияние различных концентраций ионов свинца на изменение биомассы цианобактерий

Концентрация Pb ²⁺ , мг/кг	Начальная биомасса, мкг	Биомасса на 5-е сутки, мкг	
		<i>N. muscorum</i>	<i>N. paludosum</i>
контроль	1606,88	13600,00 ± 168,00	9150,45 ± 61,22
6		8274,80 ± 287,52	9094,14 ± 27,34
30		4480,00 ± 40,00	1764,72 ± 112,83
60		4600,00 ± 10,00	1575,19 ± 23,16
300		3866,64 ± 13,32	1535,67 ± 18,28
600		1500,00 ± 300,00	1320,56 ± 13,78
900		1268,00 ± 280,00	1350,12 ± 148,50
1200		600,00 ± 6,00	1268,24 ± 15,85

Кроме того, особенности развития ЦБ *N. paludosum* изучали при содержании свинца 0, 600 и 1200 мг/кг в песке, увлажнённом до 60%. Исследуемый штамм вносили на данный субстрат в виде чистой культуры. Песок помещали в чашки Петри, а на его поверхность раскладывали стёкла обрастания. Опыт продолжался 13 суток. На 3, 7 и 13-е сутки производили подсчёт количества организмов путём микроскопирования стёкол обрастания. По окончании опыта проведено исследование ферментативной активности субстрата. Для реализации принципа «от простого к сложному» в песчаный субстрат кроме ацетата свинца вносили культуру гриба-фитопатогена *Fusarium oxysporum*.

В ходе эксперимента выявлено следующее:

- во всех вариантах биомасса ЦБ со временем увеличивается, при этом чем выше содержание свинца в субстрате, тем меньше рост биомассы к концу опыта. В присутствии фузариума нарастание биомассы ЦБ меньше, чем без него (в контрольных вариантах). При содержании свинца 600 и 1200 мг/кг песка к концу опыта биомасса ЦБ становится выше, чем в контрольном варианте. Вероятнее всего, микромицет *F. oxysporum* сделал среду обитания ЦБ благоприятнее за счёт поглощения определённого количества поллютанта;

- с увеличением содержания свинца в вариантах с культурой ЦБ наблюдается тенден-

ция к увеличению каталазной активности субстрата (рис. 1).

В варианте, когда ферментативная активность определялась влиянием свинца не только на отдельные виды организмов, но и взаимным влиянием ЦБ и грибов, наблюдается закономерное увеличение каталазной активности до содержания 600 мг/кг внесённого свинца в песке. При дозе 1200 мг/кг наблюдается незначительное снижение каталазной активности, но превышающее значение данного показателя в контроле (рис. 2).

Таким образом, сравнивая ферментативную активность загрязнённых культур ЦБ и их смеси с микроскопическим грибом, можно предположить, что каталазная активность является адекватным отражением суммарной активности партнёров этого комплекса.

Реализация принципа преемственности

Методика с трифенил-тетразолий хлоридом (ТТХ), применяемая в растениеводстве [12], апробирована на культурах ЦБ *N. paludosum* и биоплёнках *N. commune* в условиях токсичного действия свинца. Для проведения опыта выдерживали культуру в растворе токсиканта (3, 30, 3000, 6000 мг/л свинца). По истечении установленного срока культуру ЦБ отмывали со средой Громова № 6 без азота путём центрифугирования, заливали 20 мл 0,075% раствора ТТХ, приготовленного на той же среде, и оставляли на сутки. Далее ЦБ отмывали дистиллированной водой и подсчитывали количество живых клеток под

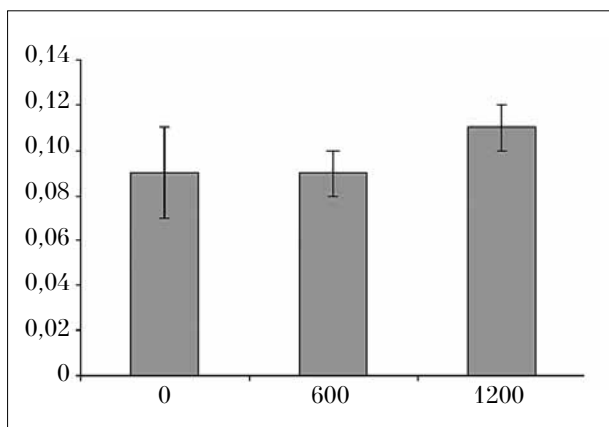


Рис. 1. Каталазная активность модельного субстрата, загрязнённого свинцом. По горизонтали – доза вносимого свинца (мг/кг), по вертикали – значения каталазной активности (мл O₂/мин на 1 г песка)

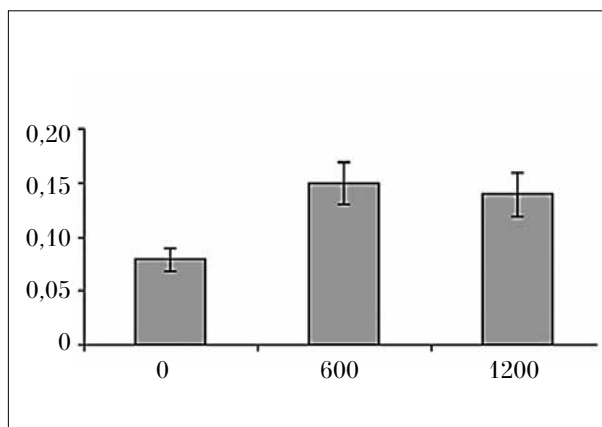


Рис. 2. Каталазная активность модельного субстрата, загрязнённого свинцом (серия со смесью грибов и цианобактерий). По горизонтали – доза вносимого свинца (мг/кг), по вертикали – значения каталазной активности (мл O₂/мин на 1 г песка)

микроскопом с использованием масляной иммерсии при увеличении × 1350. В каждой пробе просматривали по 500 клеток, учитывая отдельно число клеток с кристаллами формазана и без них (рис. 3).

Для выявления оптимального для биотестового титра ЦБ проведена серия опытов, где при одинаковой концентрации свинца (3 мг/л) использовали суспензии культуры *N. paludosum* с различным количеством клеток в 1 мл [3, 13, 14]. Как видно из таблицы 3, применение культуры *N. paludosum* является более информативным, по сравнению с *N. commune*.

Установлено, что увеличение титра ЦБ *N. paludosum* синхронно возрастанию процента жизнеспособных клеток (коэффициент корреляции между логарифмом значения



Рис. 3. Вид клеток цианобактерий с кристаллами формазана и без них

титра и процентом живых клеток составляет 0,99) (табл. 4).

Следовательно, суспензии культур с малым титром можно применять в качестве биотестеров, а с большой концентрацией клеток – для поглощения свинца из окружающей среды.

Впервые для изучения поверхности цианобактерий *N. paludosum* и *N. linckia* использован метод сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). В течение трёх недель в жидкой среде Громова № 6 без азота на культуры ЦБ воздействовали сульфатом никеля в концентрации ионов никеля 20 мг/дм³. На сканах образцов ЦБ до воздействия поллютанта отчётливо видны как отдельные клетки ЦБ, так и их скопления (рис. 4).

После воздействия поллютанта в течение трёх недель на сканах не удалось заметить ни одной целой клетки ЦБ (рис. 5). Исследование изменений структурных особенностей цианобактерий методом сканирующей зондовой микроскопии показало, что любая продолжительность контакта с токсикантом отрицательно влияет на структуру ЦБ. Результаты, полученные методом сканирующей зондовой микроскопии, подтверждаются данными оптической микроскопии.

Выводы

Применение принципов комплексности, преимущественности и принципа «от простого к сложному» позволяет наиболее полно изучить влияние различных поллютантов на культуры цианобактерий.

Исследование влияния таких ТМ, как свинец и никель, на ЦБ *Nostoc paludosum* 18, *Nostoc*

Таблица 3

Влияние свинца на жизнеспособность ЦБ *Nostoc paludosum* и *Nostoc commune*

Концентрация свинца, мг/л	Доля живых клеток, %	
	<i>N. paludosum</i>	<i>N. commune</i>
0	98,09 ± 0,62	30,03 ± 18,00
30	95,79 ± 0,91	4,60 ± 2,10
300	82,08 ± 7,05	0
3000	5,99 ± 1,90	0
6000	3,35 ± 1,90	0

Таблица 4

Влияние титра ЦБ *Nostoc paludosum* на жизнеспособность в растворе ацетата свинца

Титр ЦБ, кл/мл	Доля живых клеток, %
2,21 × 10 ⁶	11,17 ± 0,18
4,40 × 10 ⁶	21,60 ± 3,70
2,21 × 10 ⁷	44,55 ± 2,10
2,21 × 10 ⁸	91,47 ± 1,50

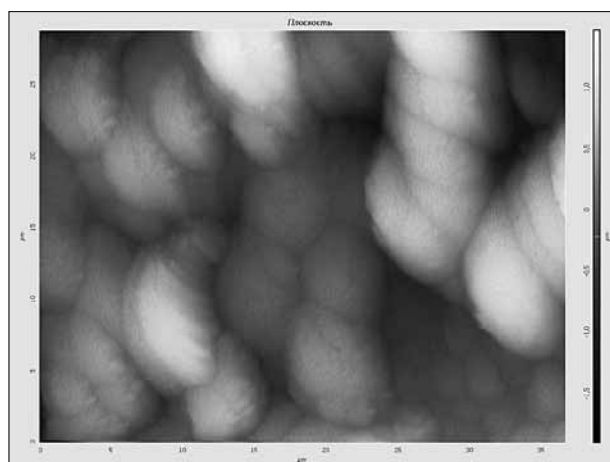


Рис. 4. Вид скопления ЦБ *N. paludosum* до воздействия ионов никеля



Рис. 5. Вид скопления ЦБ *N. paludosum* после воздействия ионов никеля

muscorum, *Nostoc linckia* и *Microchaete tenera* 263, *Nostoc commune* можно проводить используя как жидкие среды, так и плотные питательные среды. В случае если культура находится в смеси с твёрдым субстратом, можно достаточно легко применять все вышеописанные методы, кроме определения остаточного содержания токсиканта в среде, из-за трудности разделения ЦБ с субстратом.

Метод СЗМ применим в исследовании поверхности клеток цианобактерий, подверженных действию токсикантов.

Доказана возможность применения методов ИЭА и ААС в определении остаточного количества поллютантов в жидких средах. Если количество токсиканта исчисляется микрограммами, то в этом случае незаменим метод ИЭА, а при более высоких концентрациях токсиканта целесообразно применять метод ААС, который не требует особой пробоподготовки и экспрессен.

Литература

1. Бреховских А.А. Защитные механизмы автотрофной цианобактерии *Nostoc muscorum* от токсического воздействия ионов кадмия: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва: Институт биохимии А. Н. Баха РАН, 2006. 26 с.
2. Саванина Я.В., Лебедева А.Ф., Барский Е.Л. Значение глутатионовой системы в накоплении и детоксикации тяжёлых металлов в клетках цианобактерий и микроводорослей // Вестник МГУ. Сер. 16. 2003. № 3. С. 29–37.
3. Фокина А.И. Влияние свинца на структуру фототрофных микробных комплексов почвы: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар. 2008. 23 с.
4. Фокина А.И., Домрачева Л.И., Широких И.Г., Кондакова Л.В., Огородникова С.Ю. Микробная детоксикация тяжёлых металлов (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 1. С. 4–10.
5. Фокина А.И., Злобин С.С., Березин Г.И., Зыкова Ю.Н., Огородникова С.Ю., Домрачева Л.И., Кови-

на А.Л., Горностаева Е.А. Состояние цианобактерий *Nostoc linckia* в условиях загрязнения среды никелем и нефтепродуктами и перспективы её использования в качестве биосорбента // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 1. С. 69–76.

6. Практикум по микробиологии / Под ред. А.И. Нетрусова. М.: Академия, 2005. 608 с.

7. Методика выполнения измерений массовых долей токсичных металлов в пробах природных, питьевых и сточных вод атомно-абсорбционным методом. ФР.1.31.2007.03683. Москва. 13 с.

8. Сборник методик измерений массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия, цинка, висмута, марганца, никеля и кобальта методом вольтамперометрии на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА». М.: ООО «Эконикс-Эксперт», 2004. 61 с.

9. Мионов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Техносфера, 2005. 144 с.

10. Неволин В.К. Зондовые технологии в электронике. М.: Техносфера, 2005. 152 с.

11. Зыкова Ю.Н., Домрачева Л.И., Фокина А.И. Развитие ЦБ и бактерий-спутников при действии никеля

и нефтепродуктов // Молодые учёные в решении актуальных проблем науки: Матер. II междунар. науч.-практ. конф. Владикавказ. 2011. С. 21–25.

12. Walsh, G.E., Merrill R.G. Algal bioassays of industrial and energy process effluents // Algae as Ecological indicators. London etc.: Acad. Press, 1984. P. 329–360.

13. ГОСТ 12039–82 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения жизнеспособности. 40 с.

14. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Ашихмина Т.Я., Огородникова С.Ю., Олькова А.С., Фокина А.И. Применение тетразольно-топографического метода определения дегидрогеназной активности цианобактерий в загрязнённых средах // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 2. С. 23–28.

15. Домрачева Л.И., Ашихмина Т.Я., Кондакова Л.В. Дуализм цианобактерий как тест-организмов, зависимый от их титра // Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития: Матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием в 2 част. Киров. 2007. Ч. 2. С. 133–135.

УДК 543.426

Люминесцентный датчик для определения экотоксикантов полициклических ароматических углеводородов

© 2011. О. А. Дячук, к.х.н., доцент,
Саратовский государственный технический университет,
e-mail: djachuko@mail.ru

Люминесцентным методом исследованы процессы сорбции пирена модифицированной поверхностно-активными веществами целлюлозной матрицей. Обнаружено, что применение поверхностно-активных веществ для сорбционного модифицирования целлюлозной матрицы в люминесцентном методе способствует повышению чувствительности метода и снижению пределов обнаружения анализируемых веществ. На основе исследований подобраны оптимальные характеристики люминесцентного датчика для определения полициклических ароматических углеводородов в водных средах.

Using the luminescent the method sorption process of polycyclic aromatic hydrocarbon pyrene by modified surface-active agents of cellulose matrix was studied. It was found that the use of surfactants for modification of the cellulose matrix in the fluorescence method enhances the method of sensitivity and reduces the detection limits of analytes. Research-based optimal characteristics of luminescent sensor for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in water samples were chosen.

Ключевые слова: люминесцентный датчик, пирен, люминесценция, поверхностно-активные вещества, целлюлозная матрица

Key words: luminescent sensor, pyrene, luminescence, surface-active agents, cellulose matrix

Определение экотоксикантов – полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) – является важной задачей экологического мониторинга [1]. Поэтому для совре-

менной науки актуальной является разработка эффективных экспрессных методов контроля содержания этих веществ в окружающей среде. Для определения ПАУ наиболее пер-