

5. *Афанасенко А.Г., Веревкин А.П.* Нейросетевое моделирование показателей качества процесса карбонизации // Вестник УГАТУ. Управление, ВТ и И. – 2009. – Т. 13, № 2 (35). – С. 222-225.
6. *Бахметов Н.А., Токарев С.В.* Моделирование технологических процессов с помощью нейронных сетей // Современные наукоемкие технологии. – 2008. – № 2. – С. 139-140.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н., доцент К.Н. Матюхин.

Бедная Татьяна Алексеевна – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Таганрогский государственный педагогический институт имени А.П. Чехова»; e-mail: bednayat@mail.ru; 346844, Ростовская обл., Неклиновский р-он., с. Боцманово, ул. Морская, 37; тел.: 89289561532; кафедра теоретической, общей физики и технологии; аспирант.

Семенистая Татьяна Валерьевна – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: semenistaya@yandex.ru; 347939, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП 17А; тел.: 89515222035; кафедра химии и экологии; к.х.н.; доцент.

Bednaya Tatyana Alekseevna – Federal State-Owned State-Financed Educational Establishment of Higher Vocational Education «Taganrog state pedagogical institute named after A.P. Chekhov»; e-mail: bednayat@mail.ru; 37, Morskaya, Neklinovskiy district, Rostov region, 346844, Russia; phone: +7289561532; the department of theoretical, general physics and technology; postgraduate student.

Semenistaya Tatiana Valerievna – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: semenistaya@yandex.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +79515222035; the department of chemistry and ecology; cand. chem. sc.; associate professor.

УДК 574(07)

И.С. Захаров, А.В. Завгородний, Т.В. Гурская

АППАРАТУРНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ БИОТЕСТОВОЙ РЕАКЦИИ ПОЛОСОВОГО БАКТЕРИАЛЬНОГО ХЕМОТАКСИСА

Исследован новый метод контроля тест-реакции бактериального полосового хемотаксиса, использующегося для оценки токсичности водных сред. С помощью фотометрического прибора на базе монохроматического излучателя и линейки фотоприемников получены функции изменения коэффициента пропускания среды с бактериальной полосой по высоте пробы. На основе математического моделирования структуры полосы инфузорий функцией с линейными трендами и принципа зависимости между функциями, описывающими коэффициент пропускания полосы в среде, применен кросскорреляционный метод выявления информативных параметров реакции.

Бактерии; хемотаксис; биотест; метод; контроль.

I.S. Zakharov, A.V. Zavgorodny, T.V. Gurskaya

DEVICE METHOD FOR CONTROL OF BACTERIA BAND CHEMOTAXIS BIOASSAY

The article is about a new method to control the bioassay of band bacterial chemotaxis, which is used to assess the toxicity of aquatic environments. With the help of the photometric device based on a monochromatic source and the line of photodetectors function obtained transmittance change the environment with bacterial stripe height of the sample. Based on mathematical

modeling of the band structure of ciliates function with linear trends and the principle of dependence between the functions describing the transmittance bands in the medium used cross-correlation method for identifying informative parameters of the reaction.

Bacteria; biotest; method; control.

Биотест на основе полосового бактериального хемотаксиса основан на перемещении слоя бактерий внутри тестируемой пробы, которую наслаивают на взвесь бактерий (рис. 1). Тест позволяет по высоте подъема слоя оценивать токсичность водных растворов солей металлов (CuSO_4 , CoCl_2 , ZnSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), питьевой, сточных, технологических и природных вод, биоцидное действие антибиотиков, ультрафиолета, корневых выделений растений [1]. На рис. 1,а – наслаивание пробы на взвесь бактерий; 1,б – тест в безвредной среде; 1,в – тест в токсичной среде.

Проблема измерения высоты подъема слоя обусловлена необходимостью выявления центра полосы и учетом изменения объема бактериальной взвеси и выбором информативных параметров тест-реакции, по которым можно определить скорость подъема центра полосы.

В качестве тест-объекта (ТО) использовался штамм бактерии *Bacillus subtilis*. Эти бациллы являются безвредными для человека и животных, хорошо изученными и неприхотливыми в культивировании. *Bacillus subtilis* обладает количественно измеряемой реакцией полосового бактериального хемотаксиса.

При культивировании *Bacillus subtilis* из спор их проращивание производилось по методу, описанному в [1]. Формирование тест-реакции (ТР) осуществлялось с использованием методики наслаивания в фотометрической кювете, при помощи микропипетки, 2 мл пробы на 0,2 мл бактериальной культуры. Время проведения опытов составляло 120 минут. За это время высота подъема бактериальной полосы (БП) достигает максимума, не претерпевая качественных изменений.

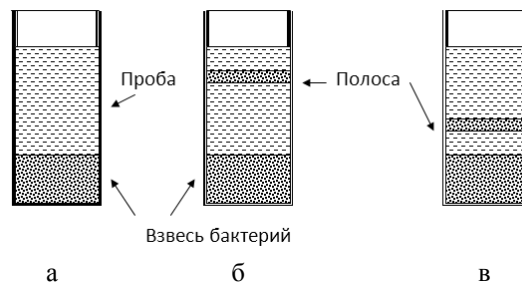


Рис.1. Полосовой хемотаксис

В качестве контрольной среды были использованы стандартизированные растворы близкие по составу солей к пресным – среда Лозина-Лозинского (раствор солей макроэлементов). Данные среды не содержат питательных веществ, что упрощает их приготовление и интерпретацию полученных результатов.

Контроль подъема полосы проводили с помощью фотометрического прибора с использованием монохроматического источника излучения и линейки фотоприемников [2].

Для моделирования полосы было проведено исследование структуры бактериального слоя, показавшее, что, что ее можно аппроксимировать распределением с линейными трендами [1] (рис. 1).

В этом случае, если полоса сохраняет характер изменения структуры, перемещение ее центра можно выявить с помощью кросс-корреляционного метода, при котором смещение максимума будет соответствовать максимуму корреляционной функции (рис. 3). На рис. 3 и 4 показаны результаты моделирования коэффициента пропускания движущейся полосы, меняющей координаты центра и ранговые

кросскорреляционные функции (ККФ) между функциями коэффициента пропускания, описывающими первую и последующие полосы. Как видно из графика максимальные ранги соответствуют перемещению центра полосы.

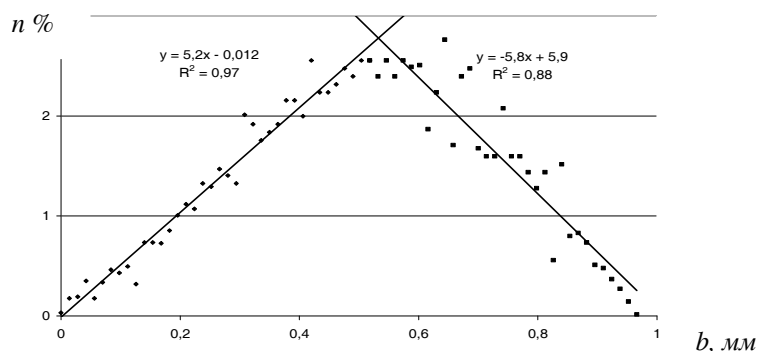


Рис. 2. Распределение клеток по высоте полосы

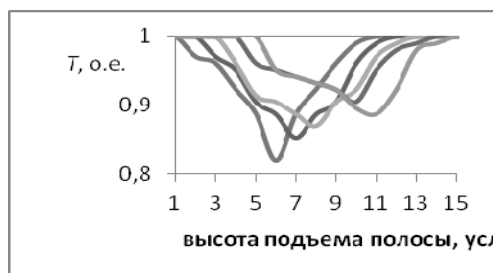


Рис. 3 Коэффициент пропускания полосы T

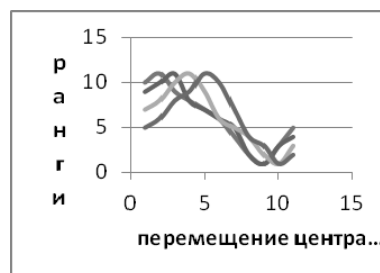


Рис. 4 Ранги ККФ

С помощью установки, описанной в [2], производились измерения транзитивной составляющей падающего потока, проходящего через кювету. По полученным данным производился расчёт скорости подъёма бактериальной полосы. Схема проведения измерений и расчётов приведена на рис. 2.

Расчёт скорости подъёма БП основан на детектировании координаты полосы, вдоль которой она перемещается, в разные моменты времени. Детектирование производится корреляционным методом, где в качестве одного из сигналов используется фрагмент массива, содержащий $T_{пр}$, обусловленные БП, априори.

Устранение статических помех осуществляется на основании того, что их среднее во времени значение не изменяется.

$$T_{пр} = T_{стат} + T_{БП},$$

где $T_{пр}$ – коэффициент пропускания бактериальной взвеси, $T_{стат}$ – коэффициент пропускания, обусловленный статическими оптическими помехами, $T_{БП}$ – коэффициент пропускания, обусловленный наличием бактериальной полосы.

$$\overline{T_{пр}} = \frac{\sum T_{стат}}{N} + \frac{\sum T_{БП}}{N} = T_{стат} + \frac{\sum T_{БП}}{N},$$

где N – количество измерений $T_{пр}$.

При больших значениях N вторым слагаемым можно пренебречь.

Таким образом, полезный сигнал ТР $T_{np,j}'$ рассчитывается как:

$$T_{np,j}' = T_{np,j} - \overline{T_{np}}$$

Полученный сигнал после фильтрации пороговым способом содержит информативную часть, отражающую координаты положения БП. Пример такого сигнала показан на рис. 6.

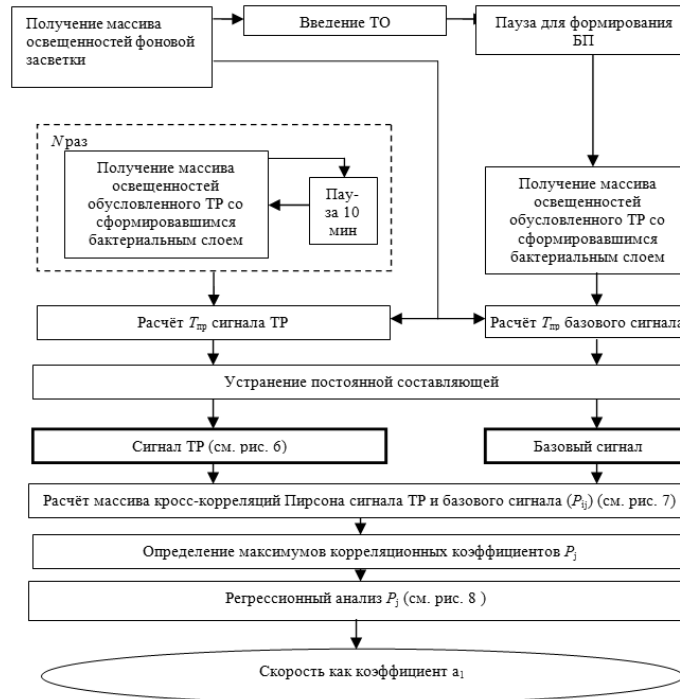


Рис. 5. Алгоритм метода

Примеры сигналов, полученных на промежуточных этапах преобразования, представлены на рис. 5–7. Результат регрессионного анализа зависимости высоты подъёма БП от времени представлен на рис. 8.

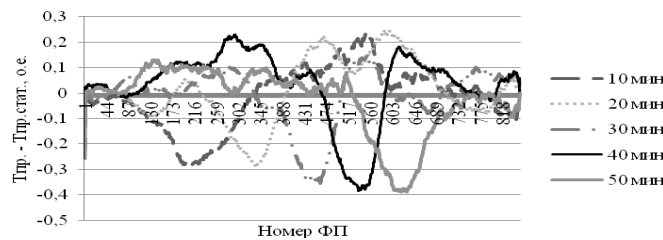


Рис. 6. Сигналы от передвигающейся полосы после фильтрации

На графике рис. 8 показана зависимость приращения высоты подъема от приращения времени, поэтому диапазон времени на 10 мин. меньше. Как видно из графика, эксперимент подтверждает прежние наблюдения о постоянстве скорости полосы в течение 1 часа.

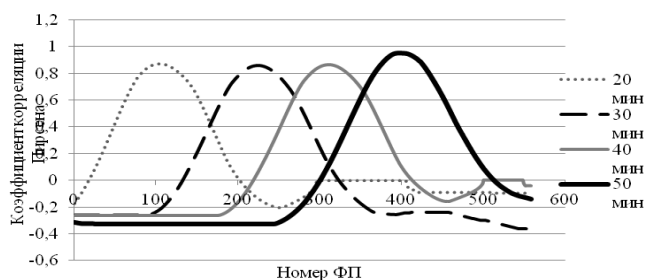


Рис. 7. Сигналы от движущейся полосы после кросскорреляции

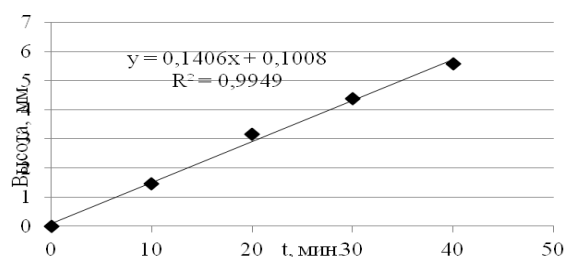


Рис. 8. График зависимости высоты подъема полосы в безвредной среде от времени

В статье показана возможность оценки токсичности с помощью аппаратно-региструемой тест-реакции на основе бактериального хемотаксиса. Предложен помехозащищенный метод обработки данных, позволяющий измерять скорость перемещения центра бактериальной полосы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Захаров И.С., Пожаров А.В., Сидоренко В.М., Суворова Т.В. Экспрессные методы интегральной оценки экологического состояния окружающей среды: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007. – 80 с.
2. Завгородний А.В. Биотехническая система для контроля популяции микроорганизмов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – СПб. 2008 – Вып. 2. – С. 55-61.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н., доцент А.Н. Алипов.

Захаров Игорь Сергеевич – Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет; e-mail: Segeich188@gmail.com; 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Попова, 5; тел.: 88122349071; кафедра инженерной защиты окружающей среды; к.т.н.; доцент.

Завгородний Алексей Владимирович – e-mail: zavgorodny-av@ya.ru; 190023, г. Санкт-Петербург, ул. Руднева, 21, кв. 80; ассистент.

Гурская Татьяна Владиславовна – ФГУП НИИ «Вектор»; e-mail: suvtv@inbox.ru; 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Попова, 5; тел.: 88122349071; к.т.н., нач. экологического отдела.

Zakharov Igor Sergeevich – Saint-Petersburg State Electrotechnical University; e-mail: Segeich188@gmail.com; 5, Popov's street, Saint-Petersburg, 197376, Russia; +78122349071; the department of engineering defence of environment; cand. of eng. sc.; associate professor.

Zavgorodny Alexey Vladimirovich – e-mail: zavgorodny-av@ya.ru; 21-80, Rudnev's street, Saint-Petersburg, 190023, Russia; assistant.

Gurskaya Tatjana Vladislavovna – FGUP NII "Vector"; e-mail: suvtv@inbox.ru; 5, Popov's street, Saint-Petersburg, 197376, Russia; +78122349071; chief of ecology department; cand. of eng. sc.