

Demin Igor Yurievich

Nizhniy Novgorod State University of N.I.Lobachevsky.

E-mail: demin@rf.unn.ru.

23, Gagarin's avenue, N. Novgorod, 603950, Russia, Phone: (831)4656305.

Assistant professor, Cand. of Sc.

Клемина Анна Викторовна

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского.

E-mail: klemina@rf.unn.ru.

603950, Н. Новгород, пр. Гагарина, 23, тел.: (831)4656305.

Аспирантка.

Klemina Anna Victorovna

Nizhniy Novgorod State University of N.I.Lobachevsky.

E-mail: klemina@rf.unn.ru.

23, Gagarin's avenue, N. Novgorod, 603950, Russia, Phone: (831)4656305.

Post-graduate student.

Клемин Виктор Александрович

ЗАО «фирма «БИОМ».

E-mail: biom-nn@mail.ru.

603950, Н. Новгород, ул. Ветеринарная, 3, тел.: (831)4345080.

С.н.с., к.б.н.

Klemin Victor Alexandrovich

Company «BIOM».

E-mail: biom-nn@mail.ru.

3, street Veterinary, N. Novgorod, 603950, Russia, Phone: (831) 4345080.

Cand. of Sc.

УДК 57.087

И.С. Захаров, А.Г. Казанцева**РЕКУРРЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ГАЛЬВАНОТАКСИСА ДЛЯ ПРИБОРОВ
КОНТРОЛЯ ТОКСИЧНОСТИ ВОДНЫХ СРЕД**

Описана модель, на основе которой формируются информативные параметры токсичности водных сред по характеристикам фаз гальванотаксической реакции.

Гальванотаксис; рекуррентная формула; фаза.

I.S. Zakharov, A.G. Kazantseva**THE RECURRENT MODEL OF GALVANOTAXIS FOR AQUA MEDIA TOXIC
CONTROL DEVICES**

The model of galvanotaxis assay stages has developed. Information parameters of aqua media toxicity for the model are investigated.

Galvanotaxis; recurrent formula; stage.

Важной проблемой создания биотестовой аппаратуры является необходимость разработки математических моделей тест-реакций организмов. При этом модели должны позволять описывать экспрессные популяционные тест-реакции микроорганизмов, которые повышают статистическую достоверность результатов

тестирования, обосновывать выделение информативного параметра тест-реакции, который отражает воздействие на нее токсичных факторов, а также давать возможность получать характеристики для определения токсичности среды.

Для уменьшения времени тест-реакции организмов получила распространение реакция популяционного движения инфузорий, управляемая электрическим полем [1], – гальванотаксис. Ее формирование осуществляется путем подачи напряжения на электроды, погруженные в среду, содержащую взвесь микроорганизмов. Это вызывает направленное движение клеток к катоду и перераспределение их по кювете (первая фаза гальванотаксиса), а после переключения полярности напряжения (вторая фаза) – перемещение сконцентрированных полем организмов, количество которых отражает токсичность водной среды (так как к гальванотаксису способны только живые клетки).

Классические биофизические модели гальванотаксиса единичных клеток [2, 3] и популяции [4] являются или весьма трудоемкими, или недостаточно гибкими для отражения воздействия токсичных веществ и не отвечают задачам аппаратного биотестирования. Математическая модель гальванотаксиса инфузорий Захарова-Ковалевской [5] связывает токсичность водных сред только с изменением максимума функции распределения сконцентрированных полем клеток в центре кюветы.

В работе [6] авторами была описана новая модель, основанная на представлении популяционного процесса гальванотаксиса рекуррентными функциями, отражающими формирование распределения концентраций клеток в кювете как зависимость последующих значений от предыдущих. Рассмотрим получение на ее основе характеристик токсичности среды.

Пусть кювета со взвесью микроорганизмов, распределенной равномерно, разделена на l зон (ячеек), при этом исходное количество клеток в каждой ячейке равно A , а α – доля клеток, перемещающаяся к катоду за единичный отсчет времени из предыдущей ячейки в последующую. Рекуррентные формулы, с помощью которых рассчитывают распределение концентрации клеток по зонам кюветы, имеют вид

$$n_{lk} = A(1 - \alpha)^{k-l+1} \sum_{j=0}^{l-1} V_{jk} \alpha^j ; V_{jk} = \sum_{i=0}^j m_{i(k-1)}, \quad (1)$$

где m_i – множитель α в сумме, описывающей изменение количества объектов в ячейке l в $k-1$ момент времени, принимающий значение 1 в момент начала движения объектов в ячейке, при $k < l$ $n_{lk} = A$.

Для последней ячейки, в которой накапливаются объекты, их количество за время k отсчетов описывается формулой

$$n_k = A(1 + \sum_{i=0}^{k-1} n_i \alpha). \quad (2)$$

Основное отличие второй фазы гальванотаксиса от первой состоит в том, что клетки не распределены равномерно вдоль кюветы, а собраны у катода в количестве B , а потом начинают движение в сторону «нового» катода, и доля клеток, перемещающаяся к катоду за единичный отсчет времени из предыдущей ячейки в последующую, в этой фазе обозначена β . Эта стадия описывается следующей формулой:

$$n_{lk} = B\beta^{l-1} \sum_{i=0}^{k-1} m_{i(k-1)} (1 - \beta)^{k-l+1}, \quad (3)$$

где m_i – множитель α в сумме, описывающей изменение количества объектов в ячейке l в k – момент времени, принимающий значение 1 в момент начала движения объектов в ячейке.

Для последней ячейки, в которой накапливаются объекты, их количество за время k отсчетов описывается формулой

$$n_k = \sum_{i=0}^{k-1} n_{li} \beta. \quad (4)$$

На рис. 1 представлены графики коэффициентов пропускания для центральных ячеек кюветы во второй фазе гальванотаксиса (параметры модели: $V = 900$, $\beta = 0,5$, $\kappa = 40$, $l = 6$, $T = \exp(-0,005nlk)$).

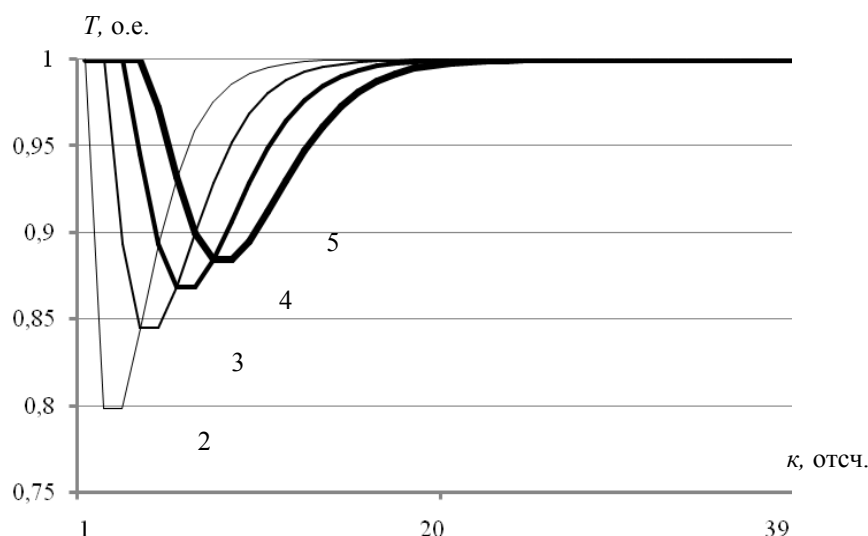


Рис. 1

Эти графики отражают оптические характеристики движения сконцентрированных клеток вдоль кюветы при перемене полярности электродов. Форма сигнала асимметрична, как и в модели [5], но отражает изменение пространственного распределения клеток вдоль кюветы, при котором амплитуда сигнала уменьшается в нетоксичной среде при приближении клеток к катоду. Это обуславливает необходимость высокой точности при размещении оптического канала контроля тест-реакции в зонах кюветы при амплитудных информативных параметрах сигнала [5].

Предлагаемая модель позволяет обосновать выбор нового информативного параметра токсичности водных сред. Величины α и β , ($0 \dots 1$) зависят от напряжения на электродах и физического состояния клеток, причем α определяет начальное состояние, а β – после воздействия дозы токсичного вещества.

Если напряжение является постоянным, то физическое состояние клеток определяется токсичностью среды. Причем в нетоксичной среде величина β/α стремится к 1, а при увеличении токсичности – к 0.

Если прологарифмировать величины, полученные по формулам (1), (3), то, как показало проведенное компьютерное моделирование, их функции будут иметь линейный участок для всех ячеек, который может быть описан линейной регрессией от α или β соответственно с коэффициентом детерминацией $R^2 > 0,95$. Рекур-

рентное описание фаз гальванотаксиса показывает, что функции изменения числа объектов от времени в любой зоне кюветы могут быть использованы для контроля токсичности водных сред, так как являются зависимыми от параметров α и β .

Подобный подход обеспечивает инвариантность приборного определения токсичности от размещения зоны оптического контроля объектов, так как все характеристики максимумов количества объектов, как в модели [5], заменяются градиентными. Предложенная модель описывает реакцию гальванотаксиса как популяционную в широком диапазоне напряжений за счет перехода к градиентным величинам, что позволяет уменьшить изменение свойств пробы за счет уменьшения ее электрохимического разложения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Определение токсичности водных сред по реакции гальванотаксиса / А.С. Ковалевская, А.Г. Казанцева, С.В. Голядкин, Д.И. Петрова // Известия СПбГЭТУ, Биотехнические системы в медицине и экологии. – 2006. – №3. – С. 73-77.
2. *Jahn T.L.* 1961 The mechanism of ciliary movement. I. Ciliary reversal and activation by electric current; the Ludloff phenomenon in terms of core and volume conductors. *J. Protozool.*, 8: 369-380.
3. *Ogawa K., Hiromasa O., Hashimoto K.* Physical model for galvanotaxis of Paramecium cell//*Journal of Theoretical Biology* 242(2006). – P. 314-328.
4. *Murray J. D.* *Mathematical Biology: I. An Introduction.* Third Edition. Springer, 2001. P. 408.
5. *Захаров И.С., Ковалевская А.С.* Перспективы применения гальванотаксиса в биотестировании и модель гальванотаксической реакции в токсичной среде // Известия СПбГЭТУ. – 2005. – Вып. 2. – С. 96-100.
6. *Захаров И.С., Казанцева А.Г.* Рекуррентная модель гальванотаксиса инфузорий// Известия СПбГЭТУ. – 2009. – Вып. 5 – С. 63-66.

Захаров Игорь Сергеевич

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ».
E-mail: Sergeich188@gmail.com.
197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5, тел.: (8812)2349071.
Кафедра инженерной защиты окружающей среды, доцент, к.т.н.

Zakharov Igor Sergeevich

Saint-Petersburg Electrotechnical University «LETI».
E-mail: Sergeich188@gmail.com.
5, Prof. Popov str., Saint-Petersburg, 197376, Russia, Phone: (8812)2349071.
Department of Engineering Protection of Environment, Cand. Eng. Sc.

Казанцева Анна Геннадьевна

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ».
E-mail: kasanutik@mail.ru.
197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5, тел.: (8812)2349071.
Кафедра инженерной защиты окружающей среды, аспирантка.

Kazantseva Anna Gennadievna

Saint-Petersburg Electrotechnical University «LETI».
E-mail: Sergeich188@gmail.com.
5, Prof. Popov str., Saint-Petersburg, 197376, Russia, Phone: (8812)2349071.
Department of Engineering Protection of Environment, post-graduate student.