

УДК 504.06 (571.122)

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В РАЙОНАХ НЕФТЕДОБЫЧИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БИОТЕСТИРОВАНИЯ

С.С. БЕДНАРЖЕВСКИЙ, Е.С. ЗАХАРИКОВ, Н.А. РАДЧЕНКО, В.А. СУЗДАЛЬЦЕВ,
Н.Г. ШЕВЧЕНКО

Сургутский государственный университет, 628400, г. Сургут,
проспект Ленина, 1, СурГУ, (3462)762812, e-mail: sbed@mail.ru

Резюме: С применением методов системного анализа исследованы взаимосвязи данных биотестирования (тест-объект *Chlorella vulgaris*) и результатов физико-химического анализа экологического состояния поверхностных вод в районах интенсивной добычи нефти. Выявлены статистически значимые зависимости между данными биоинформационных и физико-химических методов анализа степени загрязненности поверхностных вод. Описана новая ускоренная методика биотестирования с применением тест-объекта *Chlorella vulgaris*.

Ключевые слова: системный анализ, тест-объект *Chlorella vulgaris*, биотехнология.

THE SYSTEM ANALYSIS OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF SUPERFICIAL WATERS IN AREAS OF OIL EXTRACTING WITH APPLICATION OF BIOTESTING

S.S.BEDNARZHEVSKY, E.S.ZAKHARIKOV, N.A.RADCHENKO, V.A.SUZDALZEV,
N.G.SHEVCHENKO

The Surgut state university, 628400, Surgut, Lenin's prospectus, 1, СурГУ
tel.: 3462 762812, e-mail: sbed@mail.ru

Summary: With application of methods of the system analysis interrelations of data of biotesting (test-object *Chlorella vulgaris*) and results of the physical and chemical analysis of an ecological condition of superficial waters in areas of an intensive oil recovery are investigated. Statistically significant dependences between data of bioinformation and physical and chemical methods of the analysis of a degree of impurity of superficial waters are revealed. The new accelerated technique of biotesting with application the test-object *Chlorella vulgaris* is described.

Key words: system analysis, test-object *Chlorella vulgaris*, biotechnology.

ВВЕДЕНИЕ

Системные экологические исследования состояния объектов окружающей природной среды на фоне прогрессирующего развития промышленности приобретают все большее значение [1]. Быстрое развитие в последние годы методов биологического тестирования стимулирует потребность в их более широком использовании при системной оценке экологической безопасности природной среды территорий испытывающих техногенную нагрузку, к числу которых относятся районы интенсивной нефтедобычи [2]. С каждым годом биотестовые методы в системе экологического мониторинга играют все более заметную роль, поскольку позволяют производить интегральную оценку воздействия всего комплекса загрязняющих веществ, находящихся в исследуемой природной среде, на живой организм – тест-объект. На фоне дорогостоящих химико-аналитических измерений, дополнительным плюсом биотестирования является дешевизна и относительная простота в проведении исследований, а применение аппаратного обеспечения в биотестовых исследованиях позволило сделать эти методы экспрессными. В тоже время биотестовые методы обладают рядом недостатков, таких как недостаточно развитая методическая база, соотношения результатов биотестирования полученных с помощью различных методик и интерпретация полученных результатов. Также не всегда удается подобрать оптимальный тест-объект для проведения биотестирования тех или иных природных сред т.к. различные тест-объекты обладают разной чувствительностью по отношению к загрязняющим веществам.

Целью настоящей работы является усовершенствование метода биотестирования с применением одного из самых распространенных тест-объектов – одноклеточной водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris*).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки качества поверхностных вод анализировались следующие показатели, с применением стандартных физико-химических методов: рН, NH₄, Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻, нефтепродукты, сухой остаток, фториды (F⁻), жесткость, Са, гидрокарбонаты (НСО₃), нитриты (NO₂), нитраты (NO₃), Mg, Na+К и суммарная минерализация.

Токсичность определялась методом биотестирования с использованием в качестве тест-объекта одноклеточной водоросли хлореллы *Chlorella vulgaris* Beijer по ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 16.1:2.3:3.7-04 [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате математической обработки данных экологических исследований поверхностных вод получена регрессионная модель, связывающая результаты биотестирования (токсичность) и физико-химических исследований:

$$y = -5,3117 + 1,1307X_1 + 5,0968X_2 - 0,0834X_3 - 0,6513X_4 - 71,1970X_5 + 20,5523X_6 + 0,0144X_7 + 24,1271X_8 - 3,9572X_9 + 0,3767X_{10} + 0,0077X_{11} + 3,0336X_{12} + 5,5968X_{13} + 0,0389X_{14} - 0,0118X_{15} - 0,0375X_{16}$$

где, y – токсичность; X_1 – pH, X_2 – NH_4 , X_3 – Cl, X_4 – SO_4^{2-} , X_5 – PO_4^{3-} , X_6 – нефтепродукты, X_7 – сухой остаток, X_8 – F, X_9 – жесткость, X_{10} – Ca, X_{11} – HCO_3 , X_{12} – NO_2 , X_{13} – NO_3 , X_{14} – Mg, X_{15} – Na+K, X_{16} – суммарная минерализация.

Результаты расчетов показывают, что гипотеза об отсутствии какой бы то ни было линейной связи между данными биотестирования и результатами физико-химических анализов ($X_1 \dots X_{16}$) отклоняется. Расчетное значение F-критерия Фишера $F(16,8)=8,78$ больше табличного значения равного 3,12 для уровня значимости $\alpha < 0,00205$, что говорит о высокой степени достоверности установленной взаимосвязи. Коэффициент множественной корреляции между данными биотестирования и результатами физико-химических анализов составляет 0,97.

После обработки данных методом пошаговой множественной регрессии установлено, что наиболее значимыми факторами являются X_1 – pH, X_9 – жесткость, X_{13} – NO_3 . Коэффициент множественной корреляции для этого случая уменьшился незначительно и составил 0,94.

Таким образом, установлена статистически значимая линейная зависимость между данными биотестирования (тест-объект *C. vulgaris*) экологического состояния поверхностных вод и результатами физико-химических методов анализов. Из оцениваемых в поверхностных водах шестнадцати показателей наиболее значимыми факторами для тест-объекта хлорелла *C. vulgaris* являются pH, жесткость и содержание NO_3 .

Одним из недостатков биотестирования является длительность проведения анализа. Совершенствование процедуры биотестирования достигается за счет выбора наиболее оптимальных параметров для культивирования хлореллы (температуры, источника облучения и др.), что создает благоприятных условия для быстрого роста культуры и значительно снижает время, затрачиваемое на выращивание микроводорослей.

Рис. 1 демонстрирует характерные особенности спектра пропускания водоросли хлорелла в видимом диапазоне длин волн от 360 до 800 нм. На спектрограмме наблюдаются две характерные области с максимумом в сине-зеленом (от 420 до 480 нм) и более значительным пиком в красном (от 625 до 670 нм) спектральных диапазонах.

Таким образом, найден диапазон длин волн (красная область спектра от 625 до 670 нм), воздействие которых возможно создаст более благоприятные условия для ускоренного культивирования водоросли хлореллы.

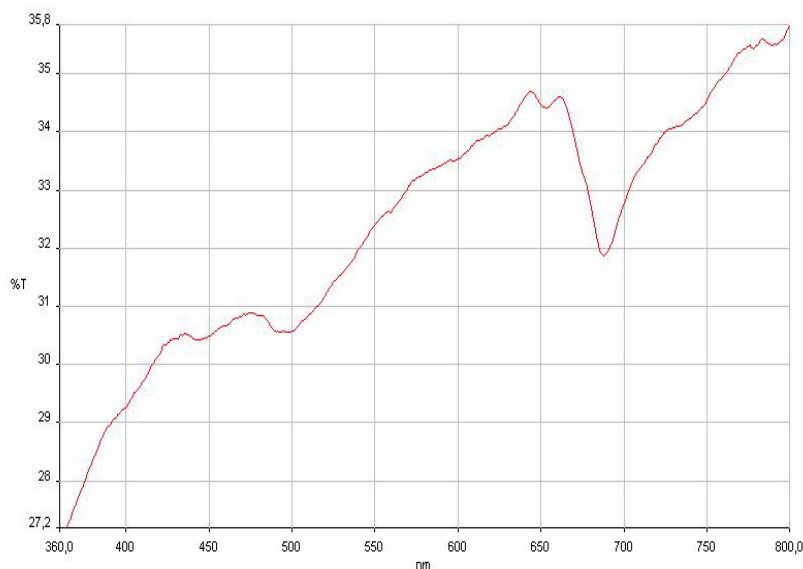


Рис. 1. Спектр пропускания одноклеточной водоросли хлорелла в видимом диапазоне длин волн от 360 до 800 нм.

Результаты исследований по выбору оптимальной температуры культивирования водорослей при воздействии излучения красной области спектра приведены на рис. 2.

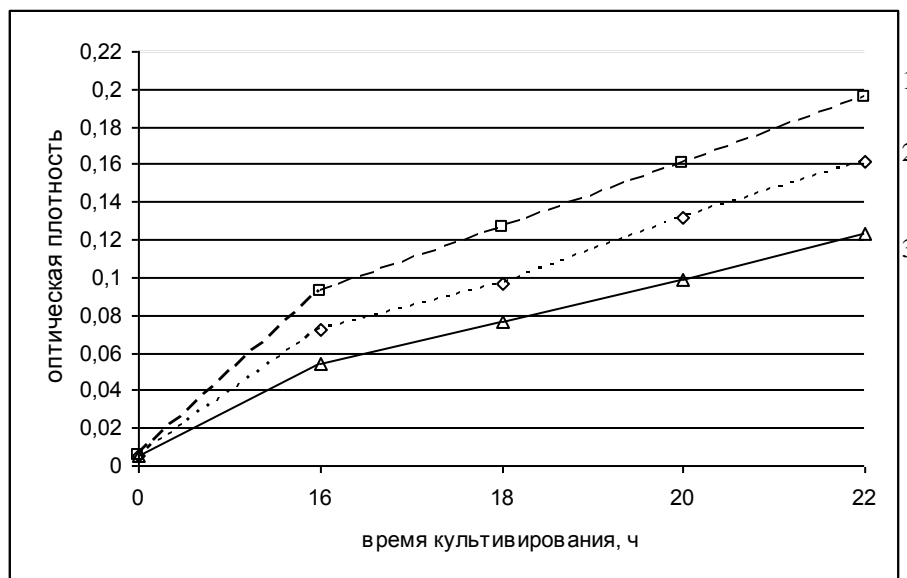


Рис. 2. Зависимость оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*C. vulgaris*) от времени культивирования при воздействии света в красной области спектра:
1 – температура культивирования $36,0\pm 0,5^{\circ}\text{C}$,
2 – температура культивирования $39,0\pm 0,5^{\circ}\text{C}$,
3 – температура культивирования $33,5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Анализ результатов показывает, что при температуре $33,5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (кривая 3) время культивирования не изменяется и оптическая плотность нарастающей биомассы водоросли хлорелла после 22 ч культивирования достигает требуемой методикой величины $0,123$. При температуре $39,0\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (кривая 2) время культивирования снижается более чем на 2 ч и уже по истечении 20 ч культивирования оптическая плотность достигает значения $0,132$. При этом наблюдается практически одинаковая интенсивность роста водоросли на всем протяжении проведения исследований.

При температуре культивирования $36\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (кривая 1) интенсивность роста культуры самая высокая и уже после 18 ч превышает пороговую величину и составляет $0,127$, а по окончании 22-х часового культивирования достигает значения оптической плотности $0,196$.

Таким образом, оптимальная температура культивирования водоросли хлорелла при облучении красным светом составила $36\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Результаты исследований культивирования *C. vulgaris* при температуре $36\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ и воздействии света от лампы накаливания с красным светофильтром и без представлены на рис. 3.

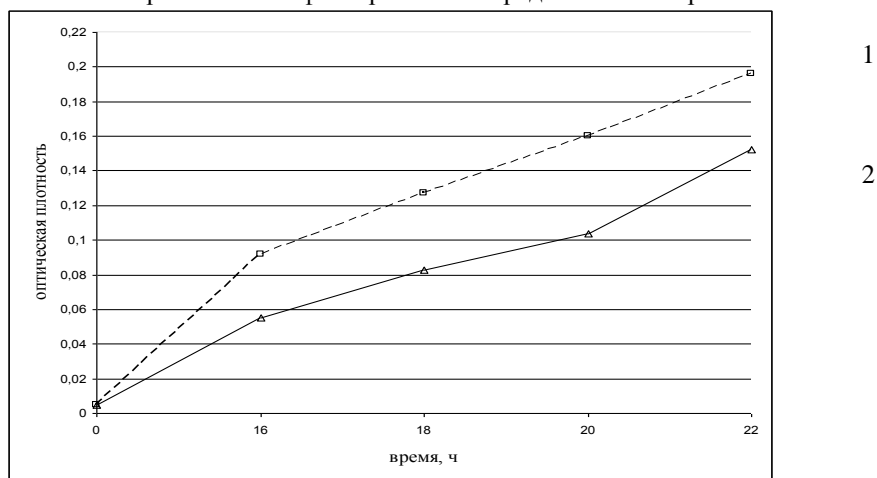


Рис. 3. Зависимость оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*C. vulgaris*) от времени культивирования при облучении светом от лампы накаливания с красным светофильтром (1) и без него (2).

Из рис. 3 видно, что при облучении культуры водоросли хлореллы в процессе биотестирования светом с длинами волн видимого диапазона (обычная лампа накаливания) порогового значения (0,12) оптической плотности достигается только после 20,8 ч культивирования, в то время как при воздействии на исследуемый объект красным светом пороговое значение оптическая плотность достигает за 17,8 ч, то есть на 3 ч быстрее.

Таким образом, при облучении *C. vulgaris* красным светом и температуре культивирования $36 \pm 0,5^\circ\text{C}$ создаются наиболее благоприятные условия для ее ускоренного роста, тем самым уменьшается время необходимое для проведения анализов при оценке экологической безопасности природных объектов.

На рис. 4 приведено устройство [4] для ускоренного биотестирования водных сред с использованием *C. vulgaris*.

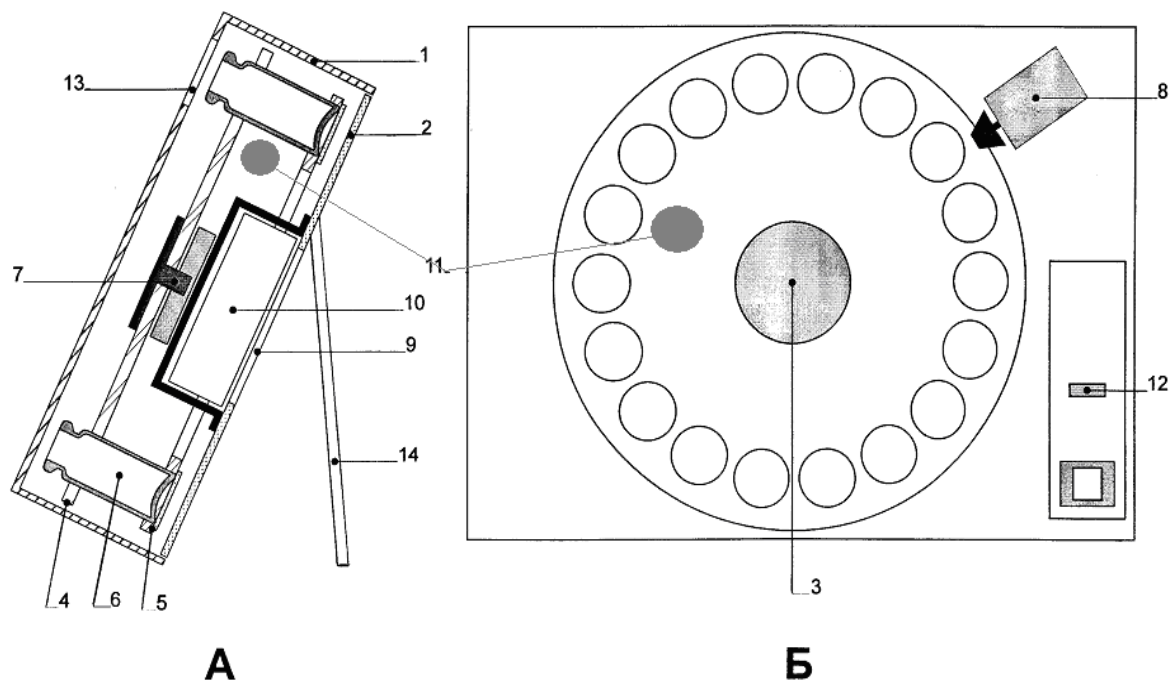


Рис. 4. Устройство для биотестирования в разрезе (вид А и Б):

1 – крышка корпуса; 2 – основание корпуса; 3 – кассета с цилиндрическими емкостями; 4 – диск для крепления цилиндрических емкостей; 5 – кольцо, удерживающее цилиндрические емкости; 6 – цилиндрические емкости; 7 – вал; 8 – электродвигатель; 9 – отверстие в корпусе; 10 – вентилятор; 11 – источник излучения света в красной области спектра; 12 – блок с термодатчиком; 13 – отверстие в крышке; 14 – упор.

Устройство работает следующим образом. Включение электродвигателя 9 приводит во вращение кассету 3, установленную под углом к горизонтальной плоскости (благодаря наклонно расположенному корпусу), что обеспечивает перемешивание и обмен CO_2 и O_2 суспензии водоросли с окружающей средой. Угол наклона выбирается таким образом, чтобы содержимое емкостей не вытекало наружу. Источник излучения в красной области спектра от 625 до 670 нм 11 в устройстве создает оптимальные световые условия для фотоавтотрофного роста водорослей и является источником тепловой энергии для обеспечения, требуемого оптимального температурного режима ($36 \pm 0,5^\circ\text{C}$) при их выращивании. Поддержание заданной температуры выращивания проб обеспечивается включением встроенного вентилятора 10, который прокачивает через отверстия в корпусе более прохладный внешний воздух. После снижения температуры ниже необходимой вентилятор автоматически отключается по команде термодатчика.

Экспериментальная проверка ускоренной процедуры биотестирования показала, что в результате создания оптимальных условий для фотоавтотрофного роста водорослей при их облучении светом в красной области спектра от 625 до 670 нм, длительность культивирования сокращается на несколько часов. Эти данные свидетельствуют о том, что предлагаемое устройство позволяет значительно снизить время культивирования микроводорослей, что существенно ускоряет процесс биотестирования при оценке экологической безопасности природных объектов.

Литература

1. Булатов А.И., Макаренко П.П., Шеметов В.Ю. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности. – М.: Недра, 1997. 482 с.
2. Беднаржевский С.С., Голубятников В.П., Захариков Е.С., Смирнов Г.И., Шевченко Н.Г. О корреляции информационных данных биотестирования и экоаналитического контроля окружающей среды в районах нефтедобычи // Вестник НГУ. Серия: Математика, механика, информатика. 2006. Т. 6, Вып. 4. С. 71–76.
3. Методика определения токсичности проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почвы, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris Beijer*) ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 16.1:2.3:3.7-04. М., 2004 г. 26 с.
4. Пат. № 0059055 РФ. Устройство для биотестирования / Беднаржевский С.С., Ситников А.В., Захариков Е.С. // Оpubл.: 2006. Бюл. № 34.