

DOI: 10.22363/2312-797X-2018-13-1-70-77

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ БИОСЕНСОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АНАЛИЗЕ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Л.А. Бутусов^{1,2}, Г.К. Чудинова^{2,3}, Е.А. Борулева³,
М.В. Кочнева¹, В.И. Омельченко¹, А.В. Шорыгина¹,
Т.А. Аликберова¹

¹Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

²Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН
ул. Вавилова, 38, Москва, Россия, 119991

³Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Каширское ш., 31, Москва, Россия, 115409

Рассмотрены существующие разработки в области биосенсорных технологий с возможностью практического применения для установления показателей безопасности продуктов питания. Приведена классификация биосенсоров в зависимости от физических явлений, лежащих в основе его работы, суть и примеры конкретных разработок для определения микроорганизмов, тяжелых металлов и антибиотиков в пищевой продукции. Оценены перспективы биосенсорных технологий в пищевой промышленности.

Ключевые слова: биотехнологии, биосенсор, физико-химический анализ, контаминанты, пестициды, микроорганизмы, антибиотики, пищевая безопасность

Пищевая промышленность постоянно нуждается в новых аналитических методах для управления процессами трансформации продуктов питания в процессе производства, проверки состава и качества образующихся продуктов. Эти методы должны быть быстрыми, селективными, с высокой степенью воспроизводимости результатов, а также недорогими. Биосенсорные технологии являются одним из таких методов благодаря сочетанию селективного элемента биологического распознавания (антитела, ферменты, ДНК, РНК, клетки и др.), и преобразователя. В настоящее время успешно применяются биосенсоры для обнаружения и/или количественной оценки сахаров, кислот, спиртов, подслащивающих веществ и аминокислот в пищевых продуктах.

Биосенсоры представляют собой устройства, которые могут быть использованы для анализа и диагностики веществ путем преобразования биологической реакции в сигнал. Биосенсоры могут быть охарактеризованы с использованием различных терминов, которые описывают их деятельность, таких как иммуносенсоры, биочипы, глюкометры и т.д., и различных параметров, таких как чувствительность, селективность, специфичность, воспроизводимость, размер, скорость диагностического теста, а также стоимостных характеристик.

Биосенсор состоит из двух основных частей: биологический элемент, чувствительный к определенным молекулам и датчик/преобразователь сигнала (рис. 1).

Биосенсорные технологии могут быть классифицированы на основе чувствительных элементов или датчиков.

Оптические биосенсоры

Измеряемый выходной сигнал оптических биосенсоров — световое излучение, которое позволяет осуществлять прямое (label-free) детектирование пищевых патогенов. Когда клетки связываются с рецепторами или иммобилизованы на поверхности датчиков, эти датчики способны обнаруживать мельчайшие изменения в оптических свойствах. Оптическая дифракция и электрохемиллюминесценции являются стандартными физическими явлениями для оптических биосенсоров. Используя метод оптической дифракции, кремниевая пластина, покрытая белками через ковалентные связи, подвергается воздействию ультрафиолетового света через фотошаблон. В этих условиях антитела, которые подвергаются воздействию ультрафиолетового света, инактивируются. При инкубировании антиген-антитела анализа только антитела способны создать связь с антигеном и произвести отклик на источник излучения в виде сигнала. Этот сигнал измеряется непосредственно или усиливается различными методами для повышения чувствительности [1].

Оптические биосенсоры подразделяются на большое количество подкатегорий, в зависимости от конкретного физического явления, например, отражение, преломление, резонанс, дисперсия, фосфоресценция, инфракрасное излучение, комбинационное рассеяние, флуоресценция и хемиллюминесценция. Оптические биосенсоры на основе явления поверхностного плазменного резонанса (SPR) и флуоресценции используются для обнаружения болезнетворных микроорганизмов вследствие их высокой чувствительности.

Электрохимические биосенсоры

Основной принцип электрохимических биосенсоров связан с их способностью обнаруживать определенные молекулы. Они в основном используются для обнаружения ДНК-связывающих лекарств, глюкозы и гибридной ДНК. В этом методе измеряемые электроны или ионы образуются или подавляются различными типами химических реакций. Эти биосенсоры можно классифицировать как амперометрические, потенциометрические или кондуктометрические [2].

Масс-чувствительные биосенсоры

Массочувствительные биосенсоры используются реже, чем оптические и электрохимические биосенсоры [3]. Также известные как пьезоэлектрические биосенсоры, они используют пьезоэлектрические кристаллы, которые очень чувствительны и могут обнаруживать небольшие изменения массы. Когда применяется пере-

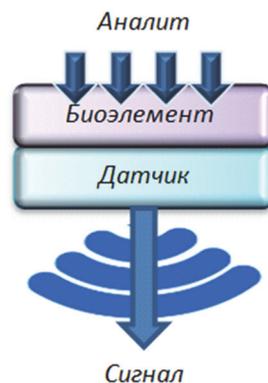


Рис. 1. Принципиальная схема работы биосенсора и его составные части

менный электрический ток с фиксированной частотой, пьезоэлектрические кристаллы вибрируют с определенной частотой. Эта частота зависит от массы кристалла в дополнение к фиксированной электрической частоте. Химические реакции влияют на частоту колебаний, которая измеряется как выходной сигнал. Два основных типа масс-чувствительных биодатчиков: устройства объемных волн и устройства поверхностной акустической волны.

Биосенсоры для обнаружения микроорганизмов

Твердофазный иммуноферментный анализ является одним из наиболее широко используемых методов для обнаружения патогенов в пищевых продуктах, а также в тканях человека и других животных. Хотя этот метод обеспечивает точное обнаружение возбудителей пищевого происхождения, это трудоемко и дорого [4].

Сальмонеллез является одним из наиболее распространенных заболеваний пищевого происхождения, вызванных сальмонеллой у людей и животных. По оценкам, ежегодно в мире насчитывается 93,8 миллиона человеческих инфекций и 155 000 случаев смерти. Симптомы включают диарею, лихорадку и абдоминальную боль, продолжающуюся от 4 до 7 дней. Поэтому обнаружение сальмонеллы чувствительным и быстрым образом особенно важно для безопасности пищевых продуктов [5].

Обнаружение сальмонелл с помощью SPR-анализов с антителами в качестве элемента распознавания было описано во многих исследованиях [6—10].

Кроме того, для обнаружения сальмонеллы [11] сообщалось о P-7 SPR-оптических волоконных датчиках. Недавно были предложены новые биосенсоры SPR на основе ДНК для обнаружения сальмонеллы на основе гена *invA* [12].

В другом исследовании беспроводные магнитоупругие биосенсоры использовались для быстрого, чувствительного и прямого обнаружения сальмонеллы на яичной скорлупе. Описана разработка одноцветных ДНК-электрохимических биолатформ для селективного обнаружения сальмонелл даже при наличии других патогенов [13].

Биосенсоры для обнаружения пестицидов

Органофосфор является широко используемым пестицидом, несмотря на его негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Необходимо разработать методы для точного анализа этих пестицидов. Ферментативные биосенсоры были широко изучены для этой цели благодаря их стабильности, чувствительности и точности. Оптические, калориметрические, электрохимические и пьезоэлектрические биосенсоры были разработаны на основе ингибирования ферментов для измерения пестицидов.

Среди различных типов ферментов, которые используются в биосенсорах, холинэстеразы, фосфорорганические гидролазы и уреазы обычно используются для создания электрохимических биосенсоров для обнаружения пестицидов. В статье [14] обобщены наиболее распространенные ферменты, используемые для биосенсоров для обнаружения пестицидов. Кроме того, обсуждались общие ферментативные биосенсоры для обнаружения пестицидов и гербицидов [15].

Биосенсоры для обнаружения тяжелых металлов

Распространение ионов тяжелых металлов от промышленных процессов к окружающей среде является серьезной угрозой для общественного здравоохранения. Как правило, тяжелые металлы плотнее железа, например, кадмий, ртуть (Hg) и свинец (Pb), и они не подвержены биологическому разложению. Они часто происходят от выбросов транспортных средств, химических удобрений или свинцово-кислотных батарей [16]. Для защиты здоровья человека и окружающей среды необходимы срочные меры по восстановлению этих тяжелых металлов из пищевых продуктов. Однако широкомасштабные методологии обнаружения тяжелых металлов на основе спектрометрии и хроматографии являются дорогостоящими, трудоемкими и требуют экспертизы. Необходим переносной, быстрый и недорогой метод обнаружения тяжелых металлов, который может использоваться для скрининга на месте.

Микробиологические биосенсоры обладают достаточно высокой чувствительностью для обнаружения ионов тяжелых металлов по низкой цене. Например, биосенсорные устройства на основе микробной флуоресценции используют репортерные гены, которые реагируют только тогда, когда происходят биохимические взаимодействия между клеточными репортерами и молекулами-индукторами. Комбинация хемотростической микрофлюидной платформы и микробных биодатчиков облегчает обнаружение молекулярного анализа на чипе. Для быстрого обнаружения ионов тяжелых металлов оптический биосенсор ДНК в сочетании с анализом эванесцентной волны может обеспечить обнаружение *in situ* [17].

Особо актуальна разработка биосенсорных устройств для определения антибиотиков в продуктах животноводства. Существует оптический биосенсор с флуоресцентной регистрацией [18], заявленный как сверхчувствительное устройство для детекции белков и других биомолекул флуоресцентным методом анализа. В основе разработки лежит использование молекулы ДНК в качестве чувствительного элемента, связывающегося с молекулами аналита посредством как химических, так и физических взаимодействий, что делает данный сенсор достаточно универсальным при исследовании биомолекул. Данная разработка может содержать добавки в виде сложных оксидов неорганических люминофоров для увеличения отклика системы. Особенно важно, что заявленные пороги детекции лежат в пределах 10^{-14} — 10^{-16} мг/мл, что является крайне существенным результатом, относительно классического флуоресцентного анализа с порогом детекции 10^{-11} мг/мл.

Оптические сенсоры с флуоресцентной регистрацией могут быть применены для анализа большого числа органических соединений, это не только белки, аминокислоты, ДНК, но так же и антибиотики, например тетрациклиновой группы. Согласно литературным данным возможно селективное определение любого антибиотика группы тетрациклина, т.к. положение максимумов флуоресцентного отклика не пересекается [19]. Путем изменения длины волны источника излучения возможно определение антибиотиков других групп, а различные модификации сенсора позволяют добиться устойчивого сигнала для ультрамалых концентраций — вплоть до 10^{-14} мг с использованием флуоресцентного детектора.

Заключение

Принимаются все более активные усилия для разработки методов выявления патогенов, побочных продуктов производства и пестицидов, тяжелых металлов, антибиотиков и других контаминантов, содержащихся в пищевых продуктах. Биосенсорные технологии имеют ряд преимуществ по сравнению с применяемыми в обеспечении пищевой безопасности методами: скорость обнаружения — некоторые сенсоры существенно упрощают процессы пробоподготовки; селективность — зачастую нет потребности в хроматографическом разделении; стоимостные характеристики; воспроизводимость; отсутствие необходимости модернизации приборной базы; стоимостные характеристики. Однако, как и любым новым технологиям, биосенсором необходимо пройти долгий путь от лабораторного образца до коммерческого продукта, как, например, иммуноферментный анализ шел к коммерческому применению порядка 20 лет.

Потенциал биосенсоров оценивается достаточно высоко, скорость определения, высокие пороги детекции, низкая стоимость позволяют рассматривать их как замену существующим технологиям в долгосрочной перспективе. Переход от лабораторных к коммерческим образцам, установление всех необходимых метрологических характеристик, разработка новых стандартов являются ключевыми в введении биосенсорных технологий в пищевые производства как средства их контроля.

© Л.А. Бутусов, Г.К. Чудинова, Е.А. Борулева, М.В. Кочнева, В.И. Омельченко, А.В. Шорыгина, Т.А. Аликберова, 2018.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Velusamy V., Arshak K., Korostynska O., Oliwa K., Adley C.* An overview of foodborne pathogen detection: In the prespective of biosensors. *Biotechnology advances*. 2010; Vol. 28(2):232—254.
2. *Arugula M.A., Simonian A.* Novel trends in affinity biosensors: current challenges and perspectives. *Measurement Science and Technology*. 2014; Vol. 25(3):032001—032022.
3. *Mass-Sensitive Biosensor Systems to Determine the Membrane Interaction of Analytes.* National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine 2017; 1520:145—157.
4. *Nowak B., Müffling T., Chaunchom S., Hartung J.* Salmonella contamination in pigs at slaughter and on the farm: A field study using an antibody ELISA test and a PCR technique. *International Journal of Food Microbiology*. 2007; Vol. 115(3):259—267.
5. *Wang Z.P., Xu H., Wu J., Ye J., Yang Z.* Sensitive detection of Salmonella with fluorescent bioconjugated nanoparticles probe. *Food Chemistry*. 2011; Vol. 125(2):779—784.
6. CDC. 2015 Food Safety Report. Centers for Disease Control and Prevention; USA, IL: 2016.
7. *Bokken G.C.M.B., Corbee R.J., Knapen F., Bergwerff A.A.* Immunochemical detection of Salmonella group B, D and E using an optical surface plasmon resonance biosensor. *FEMS Microbiology Letters*. 2003; Vol. 222(1):75—82.
8. *Mazumdar S.D., Hartmann M., Kampfer P., Keusgen M.* Rapid method for detection of Salmonella in milk by surface plasmon resonance (SPR). *Biosensors and Bioelectronics*. 2007; Vol. 22(9-10):2040—2046.
9. *Singh A., Verma H.N., Arora K.* Surface Plasmon Resonance Based Label-Free Detection of Salmonella using DNA Self Assembly. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2015; Vol. 175(3): 1330—1343.

10. *Vaisocherová-Lisalová H., Višová I., Ermini M.L., Špringer T., Song X.C. Mrázek J., Lamačová J., Lynn N.S Šedivák P. Homol J.* Low-fouling surface plasmon resonance biosensor for multi-step detection of foodborne bacterial pathogens in complex food samples. *Biosensors and Bioelectronics*. 2016; Vol. 80:84—90.
11. *Romanov V., Galelyuka I., Glushkov V., Starodub N., Son'ko R.* P7 — Optical Immune Biosensor Based on SPR for the Detection of Salmonella Typhimurium. In: *Proceedings OPTO 2011*. In: *AMA Conferences*; 2011; Nurnberg. 139—144.
12. *Rahn K., De Grandis S.A., Clarke R.C., McEwen S.A., Galán J.E., Ginocchio C., Curtiss R., Gyles C.L.* Amplification of an *invA* gene sequence of Salmonella typhimurium by polymerase chain reaction as a specific method of detection of Salmonella. *Molecular and Cellular Probes*. 1992; Vol. 6(4):271—279.
13. *Chai Y., Li S., Horikawa S., Mi-Kyung Park, Vodyanoy V., Bryan A.* Rapid and Sensitive Detection of Salmonella Typhimurium on Eggshells by Using Wireless Biosensors. *Journal of Food Protection*. 2012; Vol. 75(4):631—636.
14. *Zhang L., Zhang A., Du D., Lin Y.* Biosensor based on Prussian blue nanocubes/reduced graphene oxide nanocomposite for detection of organophosphorus pesticides. *Nanoscale*. 2012; Vol. 4(15): 4674–4679.
15. *Arduini F., Amine A.* Biosensors based on enzyme inhibition. In: *Biosensors Based on Aptamers and Enzymes*. Berlin: p. 299—326. ISSN: 0724-6145.
16. *Gammoudi I., Tarbague H., Othmane A., Moynet D., Rebiere D., Kalfat R., Dejous C.* Love-wave bacteria-based sensor for the detection of heavy metal toxicity in liquid medium. *Biosensor & Bioelectronics*. 2010; Vol. 26(4):1723—1726.
17. *Long F., Zhu A., Shi H., Wang H., Liu J.* Rapid on-site/in-situ detection of heavy metal ions in environmental water using a structure-switching DNA optical biosensor. *Scientific Reports*. 2013; Vol. 3: Article number: 2308.
18. Fluorescent optical DNA-biosensor: pat. 2668787 RF IPK51 C1 / *Butusov L.A., Nagovitsyn I.A., Kurilkin V.V., Chudinova G.K.*; the applicant and the patent holder — Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). — No. 2016107983; claimed. 03/04/2016; publ. 18.04.2017, *Bul. № 11*. http://www1.fips.ru/wps/PA_FipsPub/res/Doc.
19. *Pautke C., Vogt S., Kreutzer K., Haczek C., Wexel G., Kolk A., Imhoff A.B., Zitzelsberger H., Milz S., Tischer T.* Characterization of eight different tetracyclines: advances in fluorescence bone labeling. *Journal of Anatomy* 2010; Vol. 217(1): 76—82.

Сведения об авторах:

Бутусов Леонид Алексеевич — ассистент агроинженерного департамента Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов; e-mail: leonid.butusov@ya.ru.

Чудинова Галина Константиновна — доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Центра естественнонаучных исследований Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН, профессор кафедры лазерных микро- и нанотехнологий Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»; e-mail: mvkochneva@mail.ru.

Борулева Екатерина Алексеевна — аспирант Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»; e-mail: mvkochneva@mail.ru.

Кочнева Маргарита Васильевна — кандидат технических наук, доцент агроинженерного департамента Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов; e-mail: mvkochneva@mail.ru.

Омельченко Виктория Игоревна — студент 4 курса Российского университета дружбы народов; e-mail: omelchenko.viky@yandex.ru.

Шорыгина Анастасия Владимировна — студент 2 курса магистратуры Российского университета дружбы народов; e-mail: avshorygina@gmail.com.

Аликберова Татьяна Александровна — студентка 2 курса магистратуры Российского университета дружбы народов, e-mail: tanya.vinogra2014@yandex.ru.

Для цитирования:

Бутусов Л.А., Чудинова Г.К., Борулева Е.А., Кочнева М.В., Омельченко В.И., Шорыгина А.В., Аликберова Т.А. Возможности и перспективы биосенсорных технологий в анализе продуктов питания // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2018. Т. 13. № 1. С. 70—77. doi 10.22363/2312-797X-2018-13-1-70-77.

DOI: 10.22363/2312-797X-2018-13-1-70-77

OPPORTUNITIES AND PROSPECTS BIOSENSOR TECHNOLOGIES FOR FOOD ANALYSIS

L.A. Butusov^{1,2}, G.K. Chudinova^{2,3}, EA Boruleva³,
M.V. Kochneva¹, V.I. Omelchenko¹, A.V. Shorygina¹,
T.A. Alikberova¹

¹Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
Miklukho-Maklaya st., 6, Moscow, Russia, 117198

²Institute of General Physics A. Prokhorov RAS
Vavilov st. 38, Moscow, Russia, 119991

³National Research Nuclear University "MEPhI"
Kashirskoye sh., 31, Moscow, Russia, 115409

Abstract. Existing developments in the field of biosensor technologies with the possibility of practical application for establishing food safety indicators were considered. The classification of biosensors is described depending on the physical phenomena underlying its work, the essence and examples of specific developments for the determination of microorganisms, heavy metals and antibiotics in food products are presented. Prospects of biosensor technologies in the food industry are estimated.

Key words: biotechnology, biosensor, physical and chemical analysis, contaminants, pesticides, microorganisms, antibiotics, food safety

REFERENCES

1. Velusamy V., Arshak K., Korostynska O., Oliwa K., Adley C. An overview of foodborne pathogen detection: In the prespective of biosensors. *Biotechnology advances*. 2010; Vol. 28(2): 232—254.
2. Arugula M.A., Simonian A. Novel trends in affinity biosensors: current challenges and perspectives. *Measurement Science and Technology*. 2014; Vol. 25(3):032001—032022.
3. Mass-Sensitive Biosensor Systems to Determine the Membrane Interaction of Analytes. National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine 2017; 1520:145—157.
4. Nowak B., Müffling T., Chaunchom S., Hartung J. Salmonella contamination in pigs at slaughter and on the farm: A field study using an antibody ELISA test and a PCR technique. *International Journal of Food Microbiology*. 2007; Vol. 115(3):259—267.
5. Wang Z.P., Xu H., Wu J., Ye J., Yang Z. Sensitive detection of Salmonella with fluorescent bioconjugated nanoparticles probe. *Food Chemistry*. 2011; Vol. 125(2):779—784.
6. CDC. 2015 Food Safety Report. Centers for Disease Control and Prevention; USA, IL: 2016.

7. Bokken G.C.M.B., Corbee R.J., Knapen F., Bergwerff A.A. Immunochemical detection of Salmonella group B, D and E using an optical surface plasmon resonance biosensor. *FEMS Microbiology Letters*. 2003; Vol. 222(1):75—82.
8. Mazumdar S.D., Hartmann M., Kampfer P., Keusgen M. Rapid method for detection of Salmonella in milk by surface plasmon resonance (SPR). *Biosensors and Bioelectronics*. 2007; Vol. 22(9—10):2040—2046.
9. Singh A., Verma H.N., Arora K. Surface Plasmon Resonance Based Label-Free Detection of Salmonella using DNA Self Assembly. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2015; Vol. 175(3):1330—1343.
10. Vaisocherová-Lísalová H., Víšová I., Ermini M.L., Špringer T., Song X.C. Mrázek J., Lamačová J., Lynn N. Šedivák P. Homol J. Low-fouling surface plasmon resonance biosensor for multi-step detection of foodborne bacterial pathogens in complex food samples. *Biosensors and Bioelectronics*. 2016; Vol. 80:84—90.
11. Romanov V., Galelyuka I., Glushkov V., Starodub N., Son'ko R. P7 — Optical Immune Biosensor Based on SPR for the Detection of Salmonella Typhimurium. In: *Proceedings OPTO 2011*. In: AMA Conferences; 2011; Nurnberg. 139—144.
12. Rahn K., De Grandis S.A., Clarke R.C., McEwen S.A., Galán J.E., Ginocchio C., Curtiss R., Gyles C.L. Amplification of an *invA* gene sequence of Salmonella typhimurium by polymerase chain reaction as a specific method of detection of Salmonella. *Molecular and Cellular Probes*. 1992; Vol. 6(4):271—279.
13. Chai Y., Li S., Horikawa S., Mi-Kyung Park, Vodyanoy V., Bryan A. Rapid and Sensitive Detection of Salmonella Typhimurium on Eggshells by Using Wireless Biosensors. *Journal of Food Protection*. 2012; Vol. 75(4):631—636.
14. Zhang L., Zhang A., Du D., Lin Y. Biosensor based on Prussian blue nanocubes/reduced graphene oxide nanocomposite for detection of organophosphorus pesticides. *Nanoscale*. 2012; Vol. 4(15):4674—4679.
15. Arduini F., Amine A. Biosensors based on enzyme inhibition. In: *Biosensors Based on Aptamers and Enzymes*. Berlin: p. 299—326. ISSN: 0724-6145.
16. Gammoudi I., Tarbague H., Othmane A., Moynet D., Rebiere D., Kalfat R., Dejous C. Love-wave bacteria-based sensor for the detection of heavy metal toxicity in liquid medium. *Biosensor & Bioelectronics*. 2010; Vol. 26(4):1723—1726.
17. Long F., Zhu A., Shi H., Wang H., Liu J. Rapid on-site/in-situ detection of heavy metal ions in environmental water using a structure-switching DNA optical biosensor. *Scientific Reports*. 2013; Vol. 3: Article number: 2308.
18. Fluorescent optical DNA-biosensor: pat. 2668787 RF IPK51 C1 / Butusov L.A., Nagovitsyn I.A., Kurilkin V.V., Chudinova G.K.; the applicant and the patent holder — Russian University of Peoples Friendship. — No. 2016107983; claimed. 03/04/2016; publ. 18.04.2017, Bul. № 11. http://www1.fips.ru/wps/PA_FipsPub/res/Doc.
19. Pautke C., Vogt S., Kreutzer K., Haczek C., Wexel G., Kolk A., Imhoff A.B., Zitzelsberger H., Milz S., Tischer T. Characterization of eight different tetracyclines: advances in fluorescence bone labeling. *Journal of Anatomy* 2010; Vol. 217(1): 76—82.

For citation:

Butusov L.A., Chudinova G.K., Boruleva E.A., Kochneva M.V., Omelchenko V.I., Shorygina A.V., Alikberova T.A. Opportunities and prospects biosensor technologies for food analysis. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2018, 13 (1), 70—77. DOI: 10.22363/2312-797X-2018-13-1-70-77.