

УДК 543.555: 57.08: 504.4: 544.6
DOI: 10.15587/2313-8416.2016.69648

ТЕНДЕНЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ КОНДУКТОМЕТРИИ В ИЗМЕНЯЕМОМ ПО НАПРЯЖЕННОСТИ ИМПУЛЬСНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

© В. А. Шигимага

В статье показаны научно-практические тенденции применения метода кондуктометрии в изменяемом по напряженности импульсном электрическом поле (ИНИЭП). Приведены ссылки на результаты применения метода в репродуктивной биотехнологии, биофизике для реконструкции эмбрионов, диагностики состояния клетки и электропорации мембраны. Показаны перспективы применения метода кондуктометрии в ИНИЭП для экологических исследований природных вод биосферы, пищевых продуктов
Ключевые слова: кондуктометрия, импульсное электрическое поле, изменяемая напряженность, проводимость, тенденции, перспективы

The article shows scientific and practical application trends of conductometry method in changeable on strength pulse electric field (CSPEF). Links to results applying method in reproductive biotechnology, biophysics for embryos reconstruction, diagnostic cells condition and membrane electroporation are given. The prospects of applying conductometry method in CSPEF for ecological researches of biospheric natural waters and foods are shown

Keywords: conductometry, pulse electric field, changeable strength, conductivity, trends, prospects

1. Введение

Метод кондуктометрии известен давно и широко применяется в различных областях науки и техники [1–4], традиционно являясь предметом изучения отдельной дисциплины – электрохимии [5]. Существуют различные методические варианты метода, включающие и импульсную кондуктометрию [6]. Недавними исследованиями было показано, что возможности метода импульсной кондуктометрии могут быть значительно расширены путем использования принципа измерений электропроводности (проводимости) в изменяемом по напряженности импульсном электрическом поле (ИНИЭП) [7–9]. Впервые измерения проводимости в ИНИЭП растворов некоторых сильных электролитов выполнил немецкий физик М. Вин более 90 лет назад [10]. Однако техническое решение измерительной аппаратуры и состояние науки того времени не позволили, по-видимому, пойти дальше исследования электролитов. С тех пор этот подход, по данным современной доступной литературы, по крайней мере, в отношении к органическим, а также слабопроводящим жидким средам на водной основе и биообъектам (клеткам), никем не использовался.

2. Аналитический обзор

Первая техническая публикация по применению кондуктометрии в ИНИЭП для целей клеточной инженерии вышла 15 лет назад [11]. В этой работе была представлена аппаратура для электрослияния и измерения проводимости живых клеток животных. Позже был описан метод кондуктометрии в ИНИЭП и особенности его применения [12]. Впоследствии было установлено, что метод кондуктометрии в ИНИЭП может быть классифицирован, как новый вид клеточной электроманипуляции, поскольку в его основе лежит известное биофизическое явление обратимой или необратимой электропорации мембраны клетки [7]. Общая схема научно-практических при-

ложений, реализуемых на единой аппаратно-методической основе кондуктометрии в ИНИЭП, представлена на рис. 1. Тенденции применения кондуктометрии в ИНИЭП для решения различных научно-практических задач можно условно разбить на два направления: электроманипуляции с клетками и кондуктометрия жидких сред. Перспектива применения методов электроманипуляции в репродуктивной биотехнологии, например, для решения задач реконструкции эмбрионов в практике животноводства (клонирование, получение химер, клеточных гибридов путем электрослияния) определяется, главным образом, уровнем развития современной аппаратуры, которая применяется для этих работ [7–9, 11]. Накопленный мировой опыт по разработке новейших методов и аппаратуры электроманипуляции с живыми клетками достигли уже такой стадии, когда можно широко внедрять автоматизацию биотехнологических процессов [13, 14].

Применение кондуктометрии в ИНИЭП в биофизике имеет тенденции исследования электрических параметров мембраны клетки (проводимость, емкость [9, 11–13, 15, 16]) с целью углубленного познания функциональных закономерностей и раскрытия механизмов различных клеточных процессов: эмбрионального онтогенеза, апоптоза, дифференциации, транспорта ионов и макромолекул через естественные и искусственные поры в мембране и т. п., а также разработки на этой основе методов и аппаратуры автоматизированного управления, что значительно облегчается благодаря электрической природе основных процессов жизнедеятельности клетки [7]. Данный метод позволяет реализовать не только практически все известные методы электроманипуляции с клетками, но и проводить импульсную стимуляцию развития клеток [17, 18], прижизненную диагностику и исследование функциональных особенностей живых клеток в криосредах до и после криоконсервации [19–23].



Рис. 1. Научно-практические направления и процессы, объединяемые на основе кондуктометрии в ИНИЭП

Перспективные тенденции применения кондуктометрии в ИНИЭП жидких сред состоят в следующем. Прежде всего, это актуальный в настоящее время экологический мониторинг проводимости природных вод биосферы – рек, водоемов, артезианских скважин, а также водосборов и т. п. с целью контроля качества и исследования влияния антропогенных и геофизических факторов, техногенных катастроф, атмосферных осадков и пр. [13, 24]. Далее – контроль качества технических жидкостей по наличию малых добавок, изменяющих проводимость топлива с присадками и/или посторонними примесями, технологическая, например, охлаждающая вода или жидкости на ее основе, контроль водоподготовки в энергетике и т.п. И наконец – контроль качества жидких пищевых продуктов, в частности, с целью поиска фальсификата: вино, молоко, соки, питьевая и минеральная вода [24], мед [25] и т. п.

3. Результаты исследования

Согласно рассмотренным выше направлениям развития кондуктометрии в ИНИЭП уже проведены плановые и поисковые научно-исследовательские работы, получены и опубликованы некоторые положительные результаты в таких отраслях знаний: репродуктивной биотехнологии животных (реконструкция эмбрионов [7, 8, 11, 17, 18]), криобиологии (диагностика жизнеспособности и влияния криопротекторов на клетки [19–23]), биофизике (электрические параметры клетки – проводимость и емкость [12, 15, 16] и экологии (использование проводимости природных вод в качестве параметра экологического мониторинга [24, 25]).

Приведенные тенденции находятся в ряду современных перспективных биотехнологических, биофизических и технико-экологических направлений, но таковыми не исчерпываются. Данные научно-практические тенденции не исключают применения кондуктометрии в ИНИЭП также и для стандартных физико-химических задач, решаемых в настоящее время методами традиционной кондуктометрии. Ве-

роятно, происходящее ныне в мире развитие этих направлений позволит сформировать еще и другие перспективные сопредельные приложения, потенциально способные к реализации на базе кондуктометрии в ИНИЭП биологических клеток и жидких сред.

4. Выводы

Приведенные тенденции применения кондуктометрии ИНИЭП в современной научно-практической работе являются новыми перспективными направлениями, которые могут развиваться в биотехнологии, биофизике, технико-экологических и других отраслях знаний.

Литература

1. Слепченко, Г. Б. Электрохимический контроль качества вод (обзор) [Текст] / Г. Б. Слепченко, Н. П. Пикун, Н. М. Дубова, Т. И. Щукина, О. С. Жаркова // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314, № 3. – С. 59–70.
2. Кузьмичева, В. А. Экологический мониторинг при эксплуатации объектов водного транспорта с использованием методов кондуктометрии [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / В. А. Кузьмичева. – М., 2005. – 144 с.
3. Андреев, В. С. Кондуктометрические методы в биологии и медицине [Текст] / В. С. Андреев. – М.: Медицина, 1973. – 335 с.
4. Грилихес, М. С. Контактная кондуктометрия: теория и практика метода [Текст] / М. С. Грилихес, Б. К. Филановский. – Л.: Химия, 1980. – 175 с.
5. Дамаскин, Б. Б. Электрохимия [Текст] / Б. Б. Дамаскин, О. А. Петрий, Г. А. Цирлина. – М.: Химия, 2006. – 672 с.
6. Латышенко, К. П. Принципы построения и разработка амплитудных, частотных и импульсных кондуктометров для контроля природной среды и технологических процессов [Текст]: дис. ... д-ра. техн. наук / К. П. Латышенко. – М., 2006. – 237 с.
7. Шигимага, В. О. Біотехнічний комплекс імпульсної кондуктометрії і електроманіпуляції з клітинами тварин [Текст]: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук / В. О. Шигимага. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – 36 с.
8. Шигимага, В. А. Метод и аппаратура импульсной кондуктометрии одиночных клеток животных и жидких

сред [Текст]: науч.-техн. конф. / В. А. Шигимага // Актуальн. вопр. биофизики и химии. – Севастополь, 2011. – С. 25–26.

9. Шигимага, В. А. Импульсный кондуктометр для биологических клеток и жидких сред [Текст] / В. А. Шигимага // Измерительная техника. – 2012. – № 11. – С. 45–49.

10. Wien, M. Über die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes für Elektrolyte bei sehr hohen Feldstärken [Text] / M. Wien // Annalen Der Physik. – 1924. – Vol. 378, Issue 3-4. – P. 161–181. doi: 10.1002/andp.19243780302

11. Шигимага, В. О. Апаратура для електрозлиття та вивчення провідності клітин [Текст] / В. О. Шигимага // Вісник Харківск. держ. техн. ун-ту сільськ. госп-ва. – Харків, 2001. – Вип. 6. – С. 386–389.

12. Шигимага, В. А. Определение проводимости эмбриональных клеток животных [Текст] / В. А. Шигимага // Проблемы бионики. – Харьков, 2003. – Вып. 59. – С. 60–64.

13. Шигимага, В. А. Импульсная кондуктометрия в изменяемом электрическом поле: перспективы развития измерений [Текст] / В. А. Шигимага // Измерительная техника. – 2014. – № 10. – С. 65–68.

14. Шигимага, В. О. Перспективи розвитку методів і апаратури електроманіпуляції у клітинній біотехнології [Текст] / В. О. Шигимага // Наук.-техн. бюлетень ІТ НААН. – 2015. – № 113. – С. 305–309.

15. Шигимага, В. А. Применение метода импульсной кондуктометрии для исследования электрических характеристик биологических клеток [Текст] / В. А. Шигимага, Ю. Е. Мегель // Труды Института электродинамики НАН Украины. – 2012. – Вып. 31. – С. 147–155.

16. Шигимага, В. А. Измерения емкости биологической клетки импульсным методом [Текст] / В. А. Шигимага // Измерительная техника. – М.: ФГУП Стандартинформ, 2014. – № 2. – С. 69–72.

17. Колесникова, А. О. Імпульсна стимуляція розвитку ооцитів свавів in vitro [Текст] / А. О. Колесникова, В. О. Шигимага // Наук.-техн. бюл. ІБТ УААН. – Львів, 2006. – Вип. 7, № 3-4. – С. 228–232.

18. Колесникова, А. А. Влияние стимуляции созревания на электропроводность и оплодотворяемость ооцитов мыши [Текст] / А. А. Колесникова, В. А. Шигимага, Е. И. Смольянинова // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4. – С. 896–899.

19. Смольянинова, Е. И. Электрическая проводимость как диагностический параметр оценки качества ооцитов и эмбрионов млекопитающих в биотехнологических операциях [Текст] / Е. И. Смольянинова, В. А. Шигимага, О. А. Стриха, Л. И. Попивненко, Е. А. Гордиенко // Биофизика живой клетки. – 2014. – Т. 10. – С. 193–195.

20. Smolyaninova, E. I. Effect of Cryopreservation Stages by Vitrification in Ethylene Glycol and Sucrose Medium on 2-Cell Murine Embryos Electric Conductivity [Text] / E. I. Smolyaninova, V. A. Shigimaga, O. A. Strikha, L. I. Popivnenko, E. G. Lisina // Problems of Cryobiology and Cryomedicine. – 2013. – Vol. 23, Issue 3. – P. 228–239.

21. Strikha, O. A. The effect of ovary hormone stimulation on mouse oocyte and early embryo electric conductivity [Text] / O. A. Strikha, E. I. Smolyaninova, E. O. Gordienko, V. A. Shigimaga, A. A. Kolesnikova // European biophysics journal with biophysics letters. – 2011. – Vol. 40. – P. 240.

22. Смольянинова, Е. И. Вплив ступеня зрілості на електричну провідність ооцитів мишей [Текст] / Е. И. Смольянинова, В. О. Шигимага, А. О. Колесникова, О. А. Стриха, Л. І. Попівненко, Е. О. Гордієнко // Біологія тварин. – 2015. – Т. 17, № 1. – С. 118–125.

23. Смольянинова, Е. И. Влияние различных этапов криоконсервирования методом витрификации на морфофункциональные и электрические параметры ранних эмбрионов мыши [Текст] / Е. И. Смольянинова, О. А. Стриха,

В. А. Шигимага, Е. Г. Лисина, Л. И. Попивненко // Проблемы криобиологии и криомедицины. – 2012. – Т. 22, № 3. – С. 275.

24. Шигимага, В. А. Измерения электропроводности природных вод биосферы [Текст] / В. А. Шигимага // Экологические системы и приборы. – М.: Научтехлитиздат, 2016. – № 4. – С. 22–28.

25. Шигимага, В. А. Проводимость природных вод как параметр экологического мониторинга [Текст]: сб. тр. XXIV Межд. н-практ. конф. / В. А. Шигимага // КАЗАНТИП-ЭКО-2016. Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экологии, энерго- и ресурсосбережения. – Харьков: ГП УкрНТЦ «Энергосталь», 2016.

26. Шигимага, В. А. Измерение удельной электропроводности натурального мёда [Текст] / В. А. Шигимага, Л. М. Колбина // Наук.-техн. бюл. ІТ УААН. – 2009. – № 100. – С. 509–514.

References

1. Slepchenko, G. B., Pikula, N. P., Dubova, N. M., Shhukina, T. I., Zharkova, O. S. (2009). Jeletrohimicheskij kontrol' kachestva vod (obzor). Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 314 (3), 59–70.

2. Kuz'micheva, V. A. (2005). Jekologicheskij monitoring pri jekspluatacii ob'ektov vodnogo transporta s ispol'zovaniem metodov konduktometrii. Moscow, 144.

3. Andreev, V. S. (1973). Konduktometricheskie metody v biologii i medicine. Moscow: Medicina, 335.

4. Griliches, M. S., Filanovskij, B. K. (1980). Kontaktnaja konduktometrija: teorija i praktika metoda. Leningrad: Himija, 175.

5. Damaskin, B. B., Petrij, O. A., Cirlina, G. A. (2006). Jeletrohimija. Moscow: Himija, 672.

6. Latyshenko, K. P. (2006). Principy postroenija i razrabotka amplitudnyh, chastotnyh i impul'snyh konduktometrov dlja kontrolja prirodnoj sredy i tehnologicheskijh processov. Moscow, 237.

7. Shygy maga, V. O. (2014). Biotehnichnyj kompleks impul'snoj konduktometrii i elektromanuljacii z klitynamy tvaryn. Kharkiv: HNTUSG, 36.

8. Shygy maga, V. A. (2011). Metod y apparatura ymпуль'snoj konduktometriy odnochnnyh kletok zhyvotnyh y zhydkyh sred. Aktual'n. voпр. byofyzyky y hymyy. Sevastopol', 25–26.

9. Shygy maga, V. A. (2012). Ymпуль'snyy konduktometr dlja byologicheskijh kletok y zhydkyh sred. Yzmyrytel'naja tehnyka, 11, 45–49.

10. Wien, M. (1924). Über die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes für Elektrolyte bei sehr hohen Feldstärken. Annalen Der Physik, 378 (3-4), 161–181. doi: 10.1002/andp.19243780302

11. Shygy maga, V. O. (2001). Aparatura dlja elektrozylytja ta vyvchennja providnosti klityn. Visnyk Harkivsk. derzh. tehn. un-tu sil's'k. gosp-va. Harkiv, 6, 386–389.

12. Shigimaga, V. A. (2003). Opređenje provodimosti jembrional'nyh kletok zhyvotnyh. Problemy bioniki. Kharkiv, 59, 60–64.

13. Shigimaga, V. A. (2014). Impul'snaja konduktometrija v izmenjaemom jelektricheskom pole: perspektivy razvitija izmerenij. Izmeritel'naja tehnyka, 10, 65–68.

14. Shygy maga, V. O. (2015). Perspektivy rozvytku metodiv i aparatury elektromanuljacii u klitynnij biotehnologii'. Naук.-tehn. bjuleten' IT NAAN, 113, 305–309.

15. Shigimaga, V. A., Megel', Ju. E. (2012). Primenenie metoda impul'snoj konduktometrii dlja issledovanija jelektricheskijh harakteristik biologicheskijh kletok. Trudy Instituta jelektrodinamiki NAN Ukrainy, 31, 147–155.

16. Shigimaga, V. A. (2014). Izmerenija emkosti biologicheskij kletki impul'snym metodom. Izmeritel'naja tehnyka. Moscow: FGUP Standartinform, 2, 69–72.

17. Kolesnikova, A. O., Shygyrnaga, V. O. (2006). Impul'sna stymuljacija rozvytku oocytiv ssavciv in vitro. Nauk.-tehn. bjul. IBT UAAN. Lviv, 7 (3-4), 228–232.
18. Kolesnikova, A. A., Shigimaga, V. A., Smol'janinova, E. I. (2013). Vlijanie stimulyacii sozrevanija na jelektroprovodnost' i oplodotvorjaemost' oocitov myshi. Fundamental'nye issledovanija, 4, 896–899.
19. Smol'janinova, E. I., Shigimaga, V. A., Striha, O. A., Popivnenko, L. I., Gordienko, E. A. (2014). Jelektricheskaja provodimost' kak diagnosticheskij parametr ocenki kachestva oocitov i jembrionov mlekopitajushhij v biotehnologicheskijh operacijah. Biofizika zhivoj kletki, 10, 193–195.
20. Smolyaninova, E. I., Shigimaga, V. A., Strikha, O. A., Popivnenko, L. I., Lisina, E. G. (2013). Effect of Cryopreservation Stages by Vitrification in Ethylene Glycol and Sucrose Medium on 2-Cell Murine Embryos Electric Conductivity. Problems of Cryobiology and Cryomedicine, 23 (3), 228–239.
21. Strikha, O. A., Smolyaninova, E. I., Gordienko, E. O., Shigimaga, V. A., Kolesnikova, A. A. (2011). The effect of ovary hormone stimulation on mouse oocyte and early embryo electric conductivity. European biophysics journal with biophysics letters, 40, 240.
22. Smol'janinova, Je. I., Shygyrnaga, V. O., Kolesnikova, A. O., Striha, O. A., Popivnenko, L. I., Gordijenko, Je. O. (2015). Vplyv stupenja zrilosti na elektrychnu providnist' oocytiv myshej. Biologija tvaryn, 17 (1), 118–125.
23. Smol'janinova, E. I., Striha, O. A., Shigimaga, V. A., Lisina, E. G., Popivnenko, L. I. (2012). Vlijanie razlichnyh etapov kriokonservirovanija metodom vitrifikacii na morfofunkcional'nye i elektricheskie parametry rannijh embrionov myshi. Problemy kriobiologii i kriomedicy, 22 (3), 275.
24. Shigimaga, V. A. (2016). Izmerenija jelektroprovodnosti prirodnyh vod biosfery. Jekologicheskie sistemy i pribory. Moscow: Nauchtehlitizdat, 4, 22–28.
25. Shigimaga, V. A. (2016). Provodimost prirodnykh vod kak parametr ekologicheskogo monitoringa. KAZANTIP-EKO-2016. Innovatsionnye puti resheniya aktualnykh problem bazovykh otrasley, ekologii, energo- i resursoberezheniya. Kharkiv: GP UkrNTTs «Energostal».
26. Shigimaga, V. A., Kolbina, L. M. (2009). Izmerenie udel'noj jelektroprovodnosti natural'nogo mjoda. Nauk.-tehn. bjul. IT UAAN, 100, 509–514.

Дата надходження рукопису 06.04.2016

Шигимага Виктор Александрович, доктор технических наук, доцент, кафедра технических систем и технологий животноводства, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, ул. Артема, 44, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: vash105@gmail.com