

УДК 504.05

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0023

**ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА НА РЕЗУЛЬТАТЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ РТУТИ МЕТОДОМ БИОИНДИКАЦИИ В УСЛОВИЯХ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ**  
© 2022

**Новоселова Елена Александровна**, руководитель проекта

*АО НДЦ НПФ «Русская лаборатория»*

*(197229, Россия, г. Санкт-Петербург, тер. Ольгино, ул. Вокзальная, д. 2, корп. 3, стр. 1,*

*e-mail: novoselova-1989@mail.ru)*

**Аннотация.** В связи с появлением и широким применением диодных ламп возникла проблема ртутного загрязнения из-за бесконтрольной утилизации люминесцентных ламп и отсутствия специализированных учреждений по их уничтожению. Техногенные аварийные ситуации и инциденты на объектах газодобывающих предприятий, связанные с разгерметизацией оборудования для улавливания ртути из газа, также являются причиной значительной доли ртутного загрязнения. На основании этого разработан метод биоиндикации для количественного определения ртути в окружающей среде, основанный на изучении всхожести и количества проросших семян овса. Эффективность метода в реальных условиях зависит от многих факторов, в частности от разнообразия и изменчивости внешних факторов, воздействующих на экосистему. В связи с этим было исследовано влияние приложенного переменного потенциала на прорастание семян под действием токсина - ртути. В статье представлены результаты экспериментов при использовании алюминиевого и нихромового электрода, а также приведены результаты расчетов напряженности электрического поля, снятые с прибора «МАГ».

**Ключевые слова:** ртуть, хлорид ртути (II), хлорид натрия, аварийная ситуация, газ, люминесцентные лампы, овес, переменный потенциал, напряженность поля, алюминиевый электрод, нихромовый электрод.

**INFLUENCE OF VARIABLE POTENTIAL ON THE RESULTS OF QUANTITATIVE DETERMINATION  
OF MERCURY BY BIOINDICATION IN EMERGENCY SITUATIONS**

© 2022

**Novoselova Elena Alexandrovna**, project manager

*RUSSIAN LABORATORY Ltd.*

*(197229, Russia, St. Petersburg, ter. Olgino, st. Vokzalnaya, 2, bldg. 3, bldg. 1, e-mail: novoselova-1989@mail.ru)*

**Abstract.** In connection with the emergence and widespread use of diode lamps, the problem of mercury pollution arose due to the uncontrolled disposal of fluorescent lamps and the lack of specialized institutions for their destruction. Technogenic emergencies and incidents at gas production facilities associated with depressurization of equipment for capturing mercury from gas are also the cause of a significant proportion of mercury pollution. Based on this, a bioindication method was developed for the quantitative determination of mercury in the environment, based on the study of the germination and the number of germinated oat seeds. The effectiveness of the method in real conditions depends on many factors, in particular, on the diversity and variability of external factors affecting the ecosystem. In this regard, the effect of the applied variable potential on seed germination under the action of a toxin, mercury, was studied. The article presents the results of experiments using an aluminum and nichrome electrode, as well as the results of calculations of the electric field strength taken from the MAG device.

**Keywords:** mercury, mercury chloride (II), sodium chloride, emergency, gas, fluorescent lamps, oats, variable potential, field strength, aluminum electrode, nichrome electrode.

**Введение.** Одной из основных проблем на сегодняшний день является бесконтрольное поступление ртути и ее соединений в окружающую среду.

На сегодняшний день активная замена ламп накаливания и люминесцентных ламп на светодиодные энергосберегающие лампы влечет за собой различной степени загрязнения почвы и сточных вод при выбрасывании ламп на свалки, а отсутствие надежных систем и учреждений по утилизации ламп, содержащих ртуть, еще больше усугубляет ситуацию загрязнения окружающей среды ртутью. Аварийные ситуации на объектах газодобывающей промышленности, влекущие разгерметизацию абсорберов ртути, также ведут к загрязнению окружающей среды ртутью.

Основными источниками загрязнения ртутью являются неправильная утилизация энергосберегающих ртутьсодержащих источников света, а также аварий-

ные ситуации на предприятиях добычи газа, сопровождающиеся разгерметизацией адсорберов ртути.

Также, в литературе приводится количество ртути в добываемом газе различных месторождений:  $5 \times 10^{-8}$  –  $1,4 \times 10^{-5}$  г/м<sup>3</sup> [1-3]. Удаление ртути из добываемого газа происходит за счет адсорберов ртути [4-7], исходя из этого в качестве потенциального источника химической опасности также необходимо рассматривать аварийные ситуации на объектах газодобывающей промышленности, связанные с разгерметизацией оборудования.

Для оценки загрязнения окружающей среды ртутью ранее разработан метод биоиндикации, основанный на исследовании скорости прорастания и количества всхожих семян овса [8-11]. Овес в данном случае выступает не только как биоиндикатор изменения состояния всей биоты, но и как биологиче-

ский рекультивант, способствующий более быстрому разложению токсиканта. В этой связи представляет интерес количественная оценка воспроизводимости лабораторных экспериментов в условиях ликвидации чрезвычайных ситуаций при разливах ртути.

**Целью** работы является экспериментальное исследование влияния переменного потенциала от прибора «МАГ» на всхожесть семян овса в присутствии токсиканта – соединений ртути.

**Материалы и результаты исследования.** Разработанный метод биоиндикации предполагает использование следующих сред для проращивания овса:

1. Вода как тестовый образец;
2. Водные растворы хлорида ртути концентрациями 2,5 г/л; 0,25 г/л; 0,025 г/л;
3. Водные растворы хлорида натрия концентрациями 0,764 г/л; 0,076 г/л; 0,007 г/л.

Эксперименты проводились без участия почвы, чтобы исключить влияние факторов экосистемы. Также, было исследовано влияние температурных условий на всхожесть семян и скорость прорастания семян овса на фильтровальной бумаге с заданной концентрацией токсиканта [12].

При подготовке к эксперименту, связанному с подведением переменного потенциала к проращиваемым семенам, представлялось необходимым проверить влияние металла электрода – алюминиевой фольги на конечные результаты. Проведен эксперимент, в котором был добавлен небольшой кусочек фольги, располагающийся под фильтровальной бумагой с семенами овса, пропитанной токсикантом.

Исследование проращивания семян овса проводилось:

- а) без добавления токсиканта;
- б) с добавлением хлорида ртути (II);
- в) с добавлением хлорида натрия.

Результаты эксперимента показали, что фольга повлияла на долю прорастания семян (табл. 1) - всхожесть семян снизилась. Следовательно, можно сделать вывод, что фольга вступает в реакцию с токсикантом и уже продукты этой реакции влияют на прорастание семян.

Таблица 1 – Доля проросших семян с добавлением фольги

№ п/п	Наименование вещества	С добавлением фольги	Без добавления фольги
1	Вода (тестовый образец)	17	17
2	Раствор хлорида ртути (II), C=2,5 г/л	0	0
3	Раствор хлорида ртути (II), C=0,25 г/л	0	7
4	Раствор хлорида ртути (II), C=0,025 г/л	5	20
5	Раствор хлорида натрия, C=0,764 г/л	7	33
6	Раствор хлорида натрия, C=0,0764 г/л	32	30
7	Раствор хлорида натрия, C=0,00764 г/л	5	23

Так же при снятии результатов было обнаружено, что в пробах с хлоридом ртути (II) концентрацией C=2,5 г/л фольга разложилась (рис. 1).

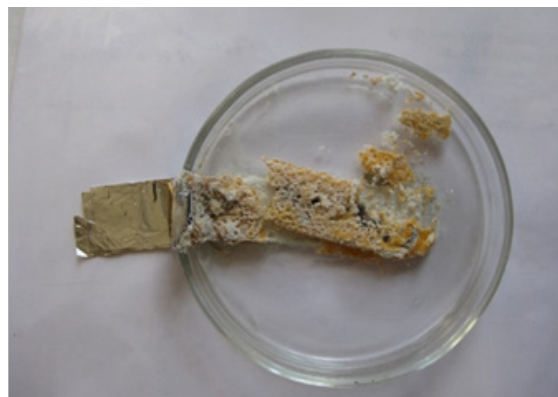


Рисунок 1 – Результат воздействия токсиканта-HgCl<sub>2</sub> при концентрации 2,5 г/л на алюминиевый электрод (фольга 0,15 мм) (слой фильтровальной бумаги, на котором лежали семена удален с электрода перед фотографированием)

При разбавленной форме хлорида ртути (II) концентрацией C=0,025 г/л наблюдается меньшее разложение фольги (рис. 2).



Рисунок 2 – Результат воздействия токсиканта-HgCl<sub>2</sub> при концентрации 0,025 г/л на алюминиевый электрод (фольга 0,15 мм) (слой фильтровальной бумаги, на котором лежали семена удален с электрода перед фотографированием)

При проведении экспериментов с использованием растворов токсиканта хлорида натрия, фольга не разложилась (рис. 3).

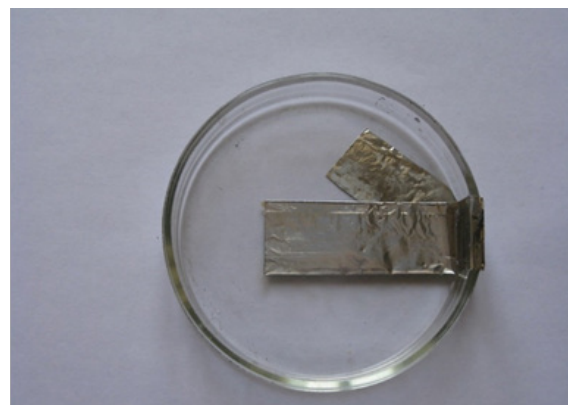


Рисунок 3 – Результат воздействия токсиканта-NaCl при концентрации 0,764 г/л на алюминиевый электрод (фольга 0,15 мм) (слой фильтровальной бумаги, на котором лежали семена удален с электрода перед фотографированием)

На основе полученных результатов – разложения фольги проведен дополнительный эксперимент с применением фольги, являющейся проводником электрического поля и подключенной к прибору «МАГ» [13-16]. Результаты опыта приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты эксперимента с подключением прибора «МАГ»

№ п/п	Наименование вещества	С потенциалом 110В	Без потенциала
1	Вода (тестовый образец)	0	23
2	Раствор хлорида ртути (II), C=2,5 г/л	0	0
3	Раствор хлорида ртути (II), C=0,25 г/л	0	7
4	Раствор хлорида ртути (II), C=0,025 г/л	0	3
5	Раствор хлорида натрия, C=0,764 г/л	0	37
6	Раствор хлорида натрия, C=0,0764 г/л	0	7
7	Раствор хлорида натрия, C=0,00764 г/л	1	7

Из таблицы 2 видно, что при подведении потенциала к пробам ни одно семя овса не взошло. Следовательно, переменный потенциал от прибора «МАГ» ухудшает прорастание семян. Этот метод инженерного воздействия в случае загрязнения ртутью не повышает толерантности биоиндикатора к токсическому действию катиона ртути.

После проведенных экспериментов с добавлением фольги, проведен опыт с добавлением никромового проволоки, не подверженной коррозии при подключении прибора «МАГ». Для проведения эксперимента были подготовлены две партии одинаковых образцов: одни образцы подключались к прибору «МАГ», а другие заматывались в фольгу, для того что бы на них не попадал ток. Эти образцы были помещены в термостат при температуре плюс 23°C и оставлены там на трое суток. На третьи сутки были получены следующие данные – см. таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты эксперимента с никромовыми электродами при подключении ПЧМС от прибора «МАГ»

№ п/п	Наименование вещества	С потенциалом 110В	Без потенциала
1	Вода (тестовый образец)	13	37
2	Раствор хлорида ртути (II), C=2,5 г/л	0	0
3	Раствор хлорида ртути (II), C=0,025 г/л	13	13
4	Раствор хлорида натрия, C=0,764 г/л	10	20
5	Раствор хлорида натрия, C=0,00764 г/л	10	23

Из таблицы 3 видно, что под воздействием потенциала прорастание семян ухудшается. При этом можно детализовать следующие моменты:

- в контрольном образце всхожесть на третьи сутки снижается почти в 3 раза;
- в присутствии хлорида натрия переменный частотно-модулированный потенциал снижает всхожесть, как и в контрольном образце;
- в присутствии хлорида ртути снижения всхожести не наблюдается.

Таким образом, полезное влияние переменного частотно-модулированного потенциала проявилось только при наличии сопутствующего токсиканта [17-20].

В рамках определения измерения параметров электрофизического воздействия на прорастания семян контролировалось два параметра:

- величина потенциала подаваемого на объект, В;
- величина напряженности электрического поля, В/м.

Замеры производились на расстоянии 10 см от объекта (условно выбранная точка). Замеры выполнялись в соответствии со схемами, изображенными на рисунке 4.

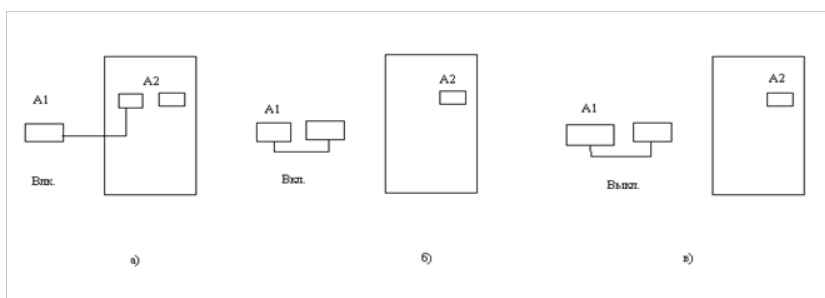


Рисунок 4 – Варианты подключения приборов для замеров

На рисунке 4 представлены:

а) прибор «МАГ», подключенный в сеть, дает на выходном электроде и на блоке кювет в термостате - потенциал 110 В. Контрольная группа кювет завернута в экранирующую фольгу, на поверхности которой замеряется потенциал  $V=55$  В;

б) прибор «МАГ» (А1,  $V=110$  В) и термостат, в котором находится одна проба, не подключенная к прибору «МАГ»;

в) выключенный прибор «МАГ» (А1) и термостат, в котором находится одна проба, не подключенная к

прибору «МАГ».

Напряженность электрического поля измерялась прибором ИЭП – 05, снабженным дипольной (векторной) антенной для измерения напряженности поля в трех мерном пространстве. Поскольку использовались биологические объекты исследования, они не имели видимых признаков направленного излучения (подавали на них поля), использование дискового пробника было проблематично.

При определении величины напряженности поля в трехмерном пространстве, замеры  $U$  производят-



ся при трех ориентационной антенны по  $x$ ,  $y$ ,  $z$  осям, нулевая точка которых выбиралась экспериментатором произвольно. В данном случае было принято следующее: ось  $x$  – «от окна внутрь помещения», ось  $y$  перпендикулярно оси  $x$ , ось  $z$  – вертикальная ось. Внутри камеры термостата дипольная антенна могла располагаться только по двум осям. По этой причине в помещении лаборатории, замеры выбранной точки проводятся по трем осям, а расчеты проводятся как по трем осям, так и по двум, измерения по которым мог-

ли быть выполнены и в камере термостата.

Для определения расчетов напряженности поля по трем осям, использовалась формула:

$$U = x^2 + y^2 + z^2.$$

Для определения напряженности поля по двум осям использовалась формула:

$$U = x^2 + y^2, \text{ где } x - \text{ось «от окна внутрь помещения»}; y - \text{ось перпендикулярная оси } x; z - \text{вертикальная ось}.$$

Результаты замеров приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов напряженности электрического поля при контрольных замерах

Напряженность $U$ , В/м	Значения, снятые с прибора «МАГ»	Значения, снятые с пробника не подключенного к прибору «МАГ»
Прибор «МАГ», подключенный в сеть дает на выходном электроде и на блоке кювет в термостате - потенциал 110 В. Контрольная группа кювет завернута в экранирующую фольгу, на поверхности которой замеряется потенциал $V = 55$ В		
	$x = 12; y = 94; z = 80$	$x = 30; y = 46; z = 8$
Напряженность поля по трем осям $U$ , В/м	24	55
Напряженность поля по двум осям $U$ , В/м	94	54
Прибор «МАГ» ( $V = 110$ В.) и термостат, в котором находится одна проба, не подключенная к прибору «МАГ»		
	$x = 52; y = 101; z = 94$	$x = 8; y = 46; z = 26$
Напряженность поля по трем осям $U$ , В/м	147	53
Напряженность поля по двум осям $U$ , В/м	113	46
Выключенный прибор «МАГ» ( $A_1$ ) и термостат, в котором находится одна проба, не подключенная к прибору «МАГ»		
	$x = 24; y = 29; z = 72$	$x = 14; y = 19; z = 33$
Напряженность поля по трем осям $U$ , В/м	81	40
Напряженность поля по двум осям $U$ , В/м	37	23

Данные таблицы показывают, что контрольные образцы и образцы, подвергнутые воздействию переменного частотно-модулированного потенциала, отличаются по величине измеряемого на них потенциала.

**Заключение.** По результатам проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

- алюминиевая фольга разлагается в присутствии токсиканта – раствора хлорида ртути, при снижении концентрации токсиканта степень разложения фольги снижается; при добавлении фольги всхожесть семян снижается в пробах с токсикантом из-за влияния продуктов реакции токсиканта с фольгой;
- при проведении экспериментов с использованием растворов токсиканта хлорида натрия, фольга не разложилась;
- переменный потенциал от прибора «МАГ» ухудшает прорастание семян, данный метод не повышает толерантности биоиндикатора к токсическому действию катиона ртути;
- контрольные образцы и образцы, подвергнутые воздействию переменного частотно-модулированного потенциала, отличаются по величине измеряемого на них потенциала.

Таким образом, полученные результаты в ходе данного исследования могут быть использованы для дальнейшего изучения свойств агрокультур с целью поиска оптимального вида для применения его в качестве биоиндикатора и рекультиванта при авариях, связанных с разливами ртути.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Новоселова Е.А. Методика демеркуризации хлорсодержащими рецептурами объектов нефтегазового комплекса в условиях Крайнего Севера: дис. канд. техн. наук: 05.26.02. - С.-Петербург. гос. ун-т ГПС МЧС России, СПб, 2017. 232 с.

2. Новоселова Е.А., Ефремов С.В., Колесников С.В. Особенности контроля поверхностей, загрязненных металлической ртутью // Научно-практический и учебно-методический журнал «Безопасность жизнедеятельности». 2015. № 4. С. 80-84.

3. Ivakhnyuk G.K., Skripnik I.L., Ksenofontov Yu.G., Kaverzneva T.T., Basharichev A.V. Investigation of heat flux intensity during composting of organic wastes // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 548:022021 DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022021. 2020

4. Гумерский Х. Х., Мамедов Ю. Б. Российская нефтяная промышленность на пороге нового века: оценки прошлого, настоящего, будущего. // Нефтяное хозяйство, – 2000. – № 7. – С. 22-26.

5. Новоселова Е.А., Ивахнюк Г.К. Выбор коррозионно-стойких сталей и сплавов на основе железа для предотвращения чрезвычайных ситуаций, вызванных коррозией нефтепроводов // Техносферная безопасность. 2021. № (31). С. 11-21.

6. Шаталов А. А., Селезнев Г.М. Обеспечение требований промышленной безопасности при ремонтах и модернизации оборудования // Химическая техника, 2015. – № 1. – С. 8-12

7. Аверичева Г.А., Черкасова Т.Г. Обеспечение эксплуатационной надежности промышленных сооружений при выполнении антикоррозионной защиты в условиях Кузбасского региона // Вестник Кузбасского гос. техн. университета: научно-технический журнал, – 2012. – № 6. – С. 65-67.

8. Шуберт Р. Биоиндикация загрязнения наземных экосистем. М.: Мир. 1988. 348 с.

9. Большаков В. А. Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами. М.: Наука. 1978. – 52 с.

10. Chalovskaya E.K., Klochihin I.O. and Kaverzneva T.T. Algorithm of Assessing Working Conditions at Waste Processing Plants, 2018 IEEE International Conference "Management of Municipal Waste as an Important Factor of Sustainable Urban Development" (WASTE), 2018, pp. 55-57, doi: 10.1109/WASTE.2018.8554133

11. Ivanov A.V. et al. Nanostructures management technology to reduce the fire risk in the oil and gas industry: Performance, features and implementation // Journal of Applied Engineering Science, – 2021. – Т. 19. – № 1. – С. 84-91

12. Novoselova E.A., Skripnik I.L., Voronin S.V. Development of environment mercury contamination bioindication at emergency mitigation // I international conference ASE-I - 2021: applied science and engineering: ASE-I - 2021 DOI: 10.1063/5.0075465

13. Новоселова Е.А., Иванов А.В., Колесников С.В. Аппаратурно-методическое обеспечение процессов демеркури-

зации объектов чрезвычайных ситуаций в условиях Крайнего Севера // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета противопожарной службы МЧС России», 2016. – № 2. – С. 16-20.

14. Соколовских Ю.М. Магнитная обработка веществ в химической промышленности // Химическая промышленность, 2010. – №7. – С. 64–67

15. Иванов А.В., Анашечкин А.Д., Хорошилов О.А. Перспективный метод нейтрализации статического электричества // Вестник СПб института ГПС МЧС России, 2005. – №2 (9). – С. 29-33.

16. Зайцев В.А., Каменир Э.А. Влияние электрического поля на скорость испарения жидкости // Вестник Челябинского аграрного университета, 1998. – № 25. – С. 140–142.

17. Аюпян С.Н. Исследования удельной электропроводности воды при воздействии постоянного магнитного поля, электромагнитного поля и низкочастотных механических колебаний // Биофизика. – 2005. – С. 265-269.

18. Стась И.Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства дистиллированной воды // Вестник Томского государственного университета, 2006. – № 62. – С. 43-51.

19. Буковский М.И., Муравьева С.И., Прохорова Е.К. Руководство по контролю вредных веществ в воздухе рабочей зоны. М.: Химия, 1991. – 368 с.

20. Шипунов Б.П. Температурная зависимость эффективности воздействия высокочастотного электромагнитного поля на дистиллированную воду // Вестник Томского государственного университета, 2006. – № 62. – С. 52-61.

*Статья поступила в редакцию 16.01.2022*

*Статья принята к публикации 10.03.2022*