УДК 621 311

DOI: 10.18384/2310-7251-2019-4-77-89

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЛАЗМЫ НА СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ СРЕД С ОРГАНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Бычков В. Л., Бикмухаметова А. Р., Дешко К. И., Михайловская Т. О., Черников В. А., Шваров А. П.

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация*

Аннотация. Проведены эксперименты по воздействию плазмы коронного разряда на образцы дисперсных сред с органическими объектами (такими, как различные виды почв). Выявлена роль ионизации воздуха при воздействии коронного разряда в изменении электропроводности сред и в изменении химических свойств, связанных с окислением молекулярного азота до его минеральных форм.

Ключевые слова: дисперсные среды, различные виды почв, коронный разряд, воздух, плазма

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF PLASMA ON THE PROPERTIES OF DISPERSED MEDIA WITH ORGANIC OBJECTS

V. Bychkov, A. Bikmukhametova, K. Deshko, T. Mikhailovskaya, V. Chernikov, A. Shvarov

*Lomonosov Moscow State University
Leninskie Gory 1, 119991 Moscow, Russian Federation*

Abstract. We have performed experiments on the influence of corona discharge plasma on samples of dispersed media with organic components (various types of soils). We have revealed the role of air ionization under the action of the corona discharge, which leads to a change in the electrical conductivity of media and to a change in the chemical properties associated with the oxidation of molecular nitrogen to its mineral forms.

Keywords: dispersed media, various types of soils, corona discharge, air, plasma

1. Введение

Исследование взаимодействия потоков заряженных частиц с дисперсными средами, в том числе с природными органическими и неорганическими веществами важно, для развития технологии создания и модификации различных материалов при воздействии на них плазменных или высокотемпературных потоков [1; 2]. В частности, обработка почво-подобных объектов плазмой различ-

ных разрядов может привести к улучшению культурных свойств почвы и, как следствие, к увеличению всхожести и уменьшению количества необходимых для здорового роста растений факторов [3].

К последним перспективным направлениям относятся: создание условий для модификации дисперсных сред, почвы; создание оптимальных условий для роста растений, компоненты которых препятствуют развитию онкологических заболеваний, и воздействия плазмы на дисперсные материалы на космических станциях-миссиях на Луну и Марс в условиях гравитации, отличной от Земной [4].

В данной работе проделаны эксперименты по плазменному воздействию на дисперсные материалы – два подтипа чернозёма с целью определения возможных параметров воздействия коронного разряда на почвенный и растительный покров в лабораторных условиях. Определены параметры плазмы, при которых возможно воздействие последних на такие материалы – различные типы почв. Проведены модельные исследования, где в качестве дисперсных материалов использовались: чернозём, слитый выщелоченный, а также чернозём типичный маломощный, глина и песок, и выявлены изменения электропроводности и других почвенных свойств.

2. Объект исследования воздействия коронного разряда на дисперсные материалы

При использовании плазмы коронного разряда в качестве объектов воздействия на дисперсные материалы были выбраны: чернозём слитой выщелоченный, чернозём типичный маломощный, глина и песок.

В Западной части республики Адыгея, в Гиагинском районе, был заложен непрофильный разрез, из которого были отобраны образцы для эксперимента. По гранулометрическому составу чернозём почти однороден по всему профилю. По классификации Качинского он соответствует лёгкой глине. Классификация 2004 года: постлитогенный аккумулятивно-гумусовый агро-чернозём, слитизированный, сильно выщелоченный на делювиальных суглинках. Основной сравнительный анализ свойств после взаимодействия коронного разряда и контроля проходил именно на этой почве.

Чернозём типичный маломощный был отобран в Липецкой области, Данковском районе. Классификация 2004 года: миграционно-мицелярный карбонатсодержащий среднекарбонатный на покровных суглинках [5].

Глина и песок. Для исследований использованы глина из Селивановского района, Владимирской области и песок кварцевый. По классификации [5] исходному образцу глины соответствует глина лёгкая (см. табл. 1.).

Исследования физико-химических свойств глины показали, что: ёмкость катионного обмена составляет: 31,5 мг-экв/100 г; степень насыщенности основаниями: 83,8%; содержание катионов (мг-экв/100 г): Са – 16,6; Mg – 7; К – 1,9; Na – 0,9. Кроме того, был определён минералогический состав илистой фракции изучаемой глины: содержание группы монтмориллонита составляет 35%; содер-

жание группы гидрослюд (иллита) – 30%; группы каолинита + хлорита – 28% от общей фракции.

В исследованиях использовался обезжелезненный кварцевый песок. По классификации [5] ему соответствует песок рыхлый. Содержание фракции крупного и среднего песка – 67,6%; мелкого песка – 32,4%.

Таблица 1.
Гранулометрический состав исходной глины

Фракция	Содержание
Песок крупный и средний (1–0,25 мм)	1,76%
Песок мелкий (0,25–0,05 мм)	9,80%
Пыль крупная (0,05–0,01 мм)	27,61%
Пыль средняя (0,01–0,005 мм)	11,20%
Пыль мелкая (0,005–0,001 мм)	10,81%
Ил (< 0,001 мм)	38,82%
Сумма частиц размером < 0,01 мм	60,83%

3. Методы исследования

3.1. Методы исследования дисперсных материалов

Определение электропроводности в почвенных пастах [6].

Данный метод был применён ко всем образцам. Образцы доводились до одинаковой влажности, разбавление 1:1. Измерение проводилось 4-х электродной установкой Landmapper-ERM. Образец помещали в кювету так, чтобы почва целиком заполнила её, затем подключали электроды и проводили измерение, выставив нужный режим на приборе.

Определение микроструктуры почвы на сканирующем электронном микроскопе.

Съёмку производили на микроскопе JSM-6380LA на увеличениях $\times 30$; $\times 100$; $\times 500$; $\times 2000$; $\times 7000$.

Определение гранулометрического и микро-агрегатного составов, лазерная дифрактометрия [8].

Определение KJCM распределения частиц по размерам на лазерном дифракционном анализаторе “Analysette 22 comfort”. Он измеряет частицы размером от 0,01 до 1250 мкм. Прибор состоит из измерительного блока с лазером и перемещающейся ячейкой и из блока подготовки пробы с ультразвуковой ванной (при микро-агрегатном анализе обработка ультразвуком при внесении пробы не производится).

Определение углерода, методом сухого сжигания [8].

Измерение производилось на приборе АН-7529. Содержание карбонатов проводилось по методу [8], а также на приборе АН-7529 методом кулонометрического титрования. Содержание карбонатов представляется в процентном содержании.

Определение сорбционной способности и удельной поверхности дисперсных материалов – почв методом БЭТ.

В результате строится график зависимости влажности почв от относительного давления паров и высчитывается полная удельная поверхность [7, с. 48–52, 79–83].

Определение pH, содержания NO_3 и NH_4 [8].

Определение производилось потенциометрическим методом, с использованием ион-селективных электродов. Прибор для определения данных свойств – Эксперт 001, анализатор жидкости [8].

Определение макроэлементов и микроэлементов [8]. Определение массовой доли макро и микроэлементов почвы проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре Agilent ICP-MS 7500.

3.2. Физические методы исследования [5]

Измерение полевых зависимостей намагниченности.

Для измерения магнитной характеристики образцов был использован метод измерения полевых зависимостей намагниченности на приборе LakeShore 7400.

Измерение количества аэроионов.

Измерение проводилось малогабаритным счётчиком аэроионов МАС–1. Для экспресс измерений лёгких аэроионов, подвижность которых составляет $0,4 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ диапазон измерения составлял $10^2 \div 10^6 \text{ в см}^3$. Собственный фон прибора 50 единиц в см^3 . Допустимая погрешность при измерении от 100 до 700 единиц $\pm 50\%$, а от 700 до 10^6 погрешность 40%.

4. Эксперименты при использовании коронного разряда

Для проведения экспериментов по воздействию плазмы на дисперсные материалы была использована установка по созданию коронного разряда [10]. Стандартная схема прибора и фотография области действия коронного разряда представлены на рис. 1; 2. В кювету помещается образец дисперсного материала типа почвы (рис. 1).

Рис. 1. Схема создания коронного разряда: 1 – кювета, 2 – образец, 3 – анод, 4 – подставка, 5 – катод, 6 – источник питания.

Кювета сделана из металла, её диаметр равен 130 мм, а высота 18 мм. Образец предварительно необходимо растереть и просеять через сито в 1 мм, затем ув-

лажнить до пастообразного состояния. Не обязательно заполнять кювету целиком. Важно, чтобы в месте воздействия находился материал. Толщина слоя дисперсного материала, выложенного в кювету, в экспериментах, не превышала 7 мм.

Рис. 2. Фотография разрядной области.

В качестве источника питания использовался генератор высокого напряжения, позволяющий менять электрическое напряжение на электродах в диапазоне $2 \div 50$ кВ с шагом 250 В. Типичный использованный диапазон электрического напряжения составлял $9 \div 12$ кВ. Ток разряда измерялся миллиамперметром и в ходе опыта мог изменяться на величину от 18 до 21 мкА. Верхний высоковольтный электрод представлял собой иглу диаметром 3 мм, с радиусом кончика – 0,4 мм. Его полярность можно было установить как положительной, так и отрицательной.

Расстояние между поверхностью образца и верхним электродом варьировалось от 10 до 30 мм (рис. 2). Электрод противоположной полярности находился непосредственно под почвой, то есть кювета выступала в качестве электрода. Обработка почвенного образца производилась в течение 1–2 минут. При поднятии напряжения выше 12 кВ появлялся искровой разряд между концом иглы и поверхностью материала.

4.1. Сравнение электропроводности для положительной и отрицательной корон в дисперсных материалах (чернозёме типичном маломощном, глине и песке)

В результате эксперимента выявлены изменения значения электропроводности обработанных образцов по сравнению с контролем: при положительной полярности коронного разряда (нижний электрод заземлен, потенциал на игле) электропроводность увеличивается заметнее (рис. 3), чем при отрицательной полярности (рис. 4) (потенциал на нижнем электроде, игла заземлена), как в случае чернозёма, так и в случае песка и глины.

Рис. 3. Изменение электропроводности образцов при положительной полярности коронного разряда.

Рис. 4. Изменение электропроводности образцов при отрицательной полярности коронного разряда.

4.2. Эксперименты с положительной короной с дисперсным материалом – чернозёмом выщелоченным слитым

4.2.1. Оценка изменения концентрации заряженных частиц в воздухе (аэроионов)

Содержание положительно и отрицательно заряженных частиц в кубическом сантиметре воздуха фоновых условий не превышало 150–200 единиц. Воздействие коронного разряда на атмосферный воздух привело к резкому росту концентрации аэроионов. Так, число положительно заряженных ионов возросло до 15000–17000, а отрицательных до 23000–25000 единиц в см³.

4.2.2. Электропроводность дисперсного материала–почвенных паст

Электропроводность почвенных паст чернозёма в результате его обработки коронным разрядом увеличилась более чем на 150 мСм/см (рис. 5).

Рис. 5. Изменение электропроводности образцов, обработанных коронным разрядом положительной полярности.

Данные статистически достоверны, при вероятности 0,90. Доверительный интервал для образца, обработанного разрядом, 580–600 мСм/см, а для контроля 452–501 мСм/см.

4.2.3. Магнитные характеристики

Кривые намагниченности практически не менялись.

4.2.4. Изменения химических свойств образцов

Показания содержания углерода в образце, обработанном короной, изменились слабо (см. табл. 2).

Таблица 2.
Содержание углерода в образцах

	Содержание С, %
Обработка коронным разрядом	2,65
Контроль	2,55

Погрешность данного определения составляет 0,05%.

При действии коронного разряда содержание минеральных форм азота резко возросло по сравнению с контролем. Так, содержание нитратов возросло в два с половиной раза, а аммиака – более чем в пять раз (см. табл. 3).

Таблица 3.
Изменение химических свойств дисперсного материала-чернозёма при действии коронного разряда

	pH	NO ₃ , мг/л	NH ₄ , мг/л
Контроль	6,59	14,7	28,0
Обработка коронным разрядом	5,90	39,5	159,6

Причина такого роста содержания минеральных форм азота на фоне коронного разряда лежит в ионизации атмосферного воздуха. Молекулярные формы азота и кислорода при коронном разряде в высоком электрическом поле переходят в ионные структуры с последующим окислением азота. В частности, как показано в [11], под действием тлеющего газового разряда в диапазоне напряжённости электрического поля 11–25 кВ/см концентрация ионов NO^+ растёт от 10^3 до 10^7 в см^3 при фоновой концентрации ионов 10^3 в см^3 , а концентрации нейтралов NO и N_2O за 20 секунд растут до 10^{13} в см^3 . То есть концентрации ионов и нейтралов с компонентами азота растут на несколько порядков величины под действием ионизации, произведённой коронным разрядом. Аммиак, по мнению Прянишникова Д. Н. (1934) [8], есть начало и конец азотного цикла окисления молекулярного азота. Поэтому его многократное преобладание по сравнению с контролем вполне объяснимо.

4.2.5. Гранулометрический и микроагрегатный составы

Гранулометрический состав.

Электрическое и электромагнитное воздействия, вероятно, привели к изменению дисперсного состояния чернозёма в результате воздействия коронного разряда (см. табл. 4). Данные статистически достоверны при вероятности 0,80. Доверительный интервал содержания ила в образце, обработанном коронным разрядом, варьируется в пределах 62,23–63,65, а в контрольном образце разброс составил 61,10–61,87. Содержание пыли в обработанном образце имеет доверительный интервал 36,21–37,73, а в контрольном образце 38,13–38,90.

Таблица 4.

Гранулометрический состав образца, обработанного коронным разрядом, и контроля

Мкм		Корона	Контроль
<1	Ил	14,06	13,40
5	Пыль мелкая	48,88	48,09
10	Пыль средняя	15,14	15,14
50	Пыль крупная	20,50	22,22
250	Песок мелкий	1,33	1,17
500	Песок средний	0,09	0,00
1000	Песок крупный	0,00	0,00

Рост содержания наиболее мелких фракций при действии коронного разряда происходил на фоне снижения содержания более крупных фракций.

Микроагрегатный состав.

При оценке микроагрегатного состава наблюдается обратная картина по сравнению с гранулометрическим составом (см. табл. 5).

Таблица 5.
Микроагрегатный состав образцов

Размер фракций, мкм	Обработка короной	Контроль
<1	0,87	1,07
5	7,00	9,33
10	6,81	8,91
50	25,34	34,13
250	40,31	42,46
500 ÷ 1000	19,69	4,12

Соотношение результатов гранулометрического и микроагрегатного анализов показывает прочность микроструктуры.

Содержание фракций микроагрегатов на контроле было выше, чем в обработанных короной образцах во всех фракциях, за исключением самых крупных микроагрегатов (рис. 6).

Данные так же статистически достоверны, при вероятности 0,80.

Рис. 6. Изменение содержания микроагрегатов в эксперименте.

Содержание самых крупных микроагрегатов при коронном разряде было в 4 раза выше чем на контроле.

4.2.6. Сорбционная способность и удельная поверхность

Воздействие коронного разряда на дисперсный материал – чернозём, привело к некоторому изменению его дисперсности и водо-удерживания в сорбционной области. На рис. 7 показаны изотермы сорбции чернозёма на контроле и при воздействии на него коронного разряда. Данные статистически достоверны при вероятности 0,80. Действие коронного разряда (рис. 7) способствовало росту влагосодержания в основном в области капиллярной конденсации. В механизме этого явления, по-видимому, лежит изменение катионного состава поглощающего комплекса.

Рис. 7. Изотермы сорбции паров воды контрольного образца и образца, обработанного коронным разрядом.

4.2.7. Микростроение

При рассмотрении образца, подвергнутого воздействию коронного разряда, при сравнении снимков обработанного образца и контроля, не было видно сильных различий. Почва оставалась однородной, элементарные почвенные частицы влиты в однородную массу.

4.2.8. Макроэлементный состав

Для обоснования трансформации почвенной матрицы чернозёма и некоторых свойств несомненный интерес представляет анализ элементного состава твёрдой фазы (см. табл. 6).

Таблица 6.
Содержание макроэлементов в образцах

	Na, мг/кг	Al, мг/кг	K, мг/кг
Контроль	142,74	46958,64	9560,02
Обработка коронным разрядом	222,07	51381,76	10558,63

Из табл. 6 видно, что содержание макроэлементов Na в образцах сильно увеличилось. Доверительный интервал содержания натрия в образце, обработанном короной, 173,21–270,92, а в контрольном образце 111,34–174,14 при вероятности 0,95.

Выводы

Отмечены особенности изменения концентраций некоторых химических элементов при действии коронного разряда на дисперсный материал – почву.

Выявлена роль ионизации воздуха при воздействии коронного разряда в изменении электропроводности дисперсных материалов почв: чернозёма, глины и песка. Наиболее сильно это проявляется в случае положительной короны.

При воздействии коронного разряда на дисперсный материал почвы происходит изменение его химических свойств, связанных с окислением молекулярного азота до его минеральных форм.

Данные эксперименты носят пионерский, предварительный характер. Требуются дальнейшие исследования как изменения электропроводности, так и химического состава дисперсного материала почвы с целью определения оптимальных условий и времени воздействия коронного разряда и выяснения физико-химических механизмов, ответственных за эти изменения.

Статья поступила в редакцию 16.05.2019 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оптические изображения искровых каналов при растекании импульсных токов в грунте / Ивонин В. В., Данилин А. Н., Ефимов Б. В., Колобов В. В., Селиванов В. Н., Василяк Л. М., Ветчинин С. П., Печеркин В. Я., Сон Э. Е. // Успехи прикладной физики. 2016. Т. 4. № 4. С. 50–53.
2. Electrical breakdown of soil under nonlinear pulsed current spreading / Vasilyak L. M., Pecherkin V. Ya, Vetchinin S. P., Panov V. A., Son E. E. et.al. // Journal of Physics D: Applied Physics. 2015. Vol. 48. No. 28. P. 285201–285206.
3. Friedman A. Plasma chemistry. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2008. 978 p.
4. Blankson I. M., Foster J. E. Plasma-Assisted Planetary Life – A Conceptual Plan // 11-th International Conference on Plasma Assisted Technologies (ICPAT-11). Abu Dhabi, UAE, 22–24 January. New York: New York University Abu Dhabi, 2018. P. 15–17.
5. Воронин А. Д. Методы измерения потенциала почвенной воды // Воронин А. Д. Основы физики почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. С. 134–140.
6. Поздняков А. И. Электрофизические методы исследования почв (методическое пособие для практики по физике почв). М.: Изд-во МГУ, Факультет почвоведения, МГУ им. М. В. Ломоносова, 2009. С. 14–22.
7. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А., Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
8. Орлов Д. С. Химия почв. М.: Изд-во МГУ, 1992. 400 с.
9. Сусленкова М. М., Умарова А. Б., Бутылкина М. А. Микроструктура почв разного генезиса и её трансформация в составе конструкторземов в условиях г. Москвы // Почвоведение. 2018. № 10. С. 1265–1273.
10. Electrohydrodynamic Peculiarities of Corona Discharge Interaction with a Liquid Surface / Aleksandrov A. F., Bychkov V. L., Bychkov D. V., Volkov S. A., Kostyuk A. A., Chernikov V. A. // Moscow University Physics Bulletin. 2011. Vol. 66. No. 4. P. 390–397.
11. Ardelyan N. V., Bychkov V. L., Kosmachevskii K. V. On Electron Attachment and Detachment Processes in Dry Air at Low and Moderate Constant Electric Field // IEEE Transactions on Plasma Science. 2017. Vol. 45. Iss. 12. P. 3118–3124.

REFERENCES

1. Ivonin V. V., Danilin A. N., Efimov B. V., Kolobov V. V., Selivanov V. N., Vasilyak L. M., Vetchinin S. P., Pecherkin V. Ya., Son E. E. [Optical images of spark channels under a spreading pulse current in soil]. In: *Uspekhi prikladnoi fiziki* [Advances in Applied Physics], 2016, vol. 4, no. 4, pp. 50–53.

2. Vasilyak L. M., Pecherkin V. Ya, Vetchinin S. P., Panov V. A., Son E. E. et.al. Electrical breakdown of soil under nonlinear pulsed current spreading. In: *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2015, vol. 48, no. 28, pp. 285201–285206.
3. Friedman A. Plasma chemistry. Cambridge, New York, Cambridge University Press Publ., 2008. 978 p.
4. Blankson I. M., Foster J. E. Plasma-Assisted Planetary Life – A Conceptual Plan. In: *11-th International Conference on Plasma Assisted Technologies (ICPAT-11). Abu Dhabi, UAE, 22–24 January*. New York, New York University Abu Dhabi Publ., 2018, pp. 15–17.
5. Voronin A. D. [Methods for measuring the potential of soil water]. In: Voronin A. D. *Osnovy fiziki pochv* [Fundamentals of soil physics] Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ., 1986, pp. 134–140.
6. Pozdnyakov A. I. *Elektrofizicheskie metody issledovaniya pochv (metodicheskoe posobie dlya praktiki po fizike pochv)* [Electrophysical methods for studying soils (Handbook for practice on soil physics)]. Moscow, Faculty of Soil Science of Lomonosov Moscow State University, Lomonosov Moscow State University Publ., 2009, pp. 14–22.
7. Vadyunina A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Research methods of physical properties of soil]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 416 p.
8. Orlov D. S. *Khimiya pochv* [Chemistry of soils]. Moscow, Moscow State University Publ., 1992. 400 p.
9. Suslenkova M. M., Umarova A. B., Butylkina M. A. [Microstructure of Soils of Different Geneses and Its Transformation in Constructozems of Moscow]. In: *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2018, no. 10, pp. 1265–1273.
10. Aleksandrov A. F., Bychkov V. L., Bychkov D. V., Volkov S. A., Kostyuk A. A., Chernikov V. A. Electrohydrodynamic Peculiarities of Corona Discharge Interaction with a Liquid Surface. In: *Moscow University Physics Bulletin*, 2011, vol. 66, no. 4, pp. 390–397.
11. Ardelyan N. V., Bychkov V. L., Kosmachevskii K. V. On Electron Attachment and Detachment Processes in Dry Air at Low and Moderate Constant Electric Field. In: *IEEE Transactions on Plasma Science*, 2017, vol. 45, iss. 12, pp. 3118–3124.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бычков Владимир Львович – доктор физико-математических наук, доцент кафедры физической электроники физического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: bychvl@gmail.com;

Бикмухаметова Адлия Ривальевна – студент кафедры физической электроники физического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: akellik95@yandex.ru;

Дешко Кирилл Игоревич – инженер-физик кафедры физической электроники физического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: kir.deshko@gmail.com;

Михайловская Тамара Олеговна – аспирант кафедры физики почв факультета почвоведения Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: tamaramiko@yandex.ru;

Черников Владимир Антонович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физической электроники физического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: vachernikov@rambler.ru;

Шваров Александр Петрович – кандидат биологических наук, доцент кафедры физики почв факультета почвоведения Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: ashvarov@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir L. Bychkov – Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Associated Professor at the Department of Physical Electronics, Lomonosov Moscow State University;
e-mail: bychvl@gmail.com;

Adliya R. Bikmukhametova – student at the Department of Physical Electronics of Physical Faculty, Lomonosov Moscow State University;
e-mail: akellik95@yandex.ru;

Kirill I. Deshko – Engineer-physicist at the Department of Physical Electronics of Physical Faculty, Lomonosov Moscow State University;
e-mail: kir.deshko@gmail.com;

Tamara O. Mikhailovskaya – postgraduate student at the Department of Soil Physics, Lomonosov Moscow State University; e-mail: tamaramiko@yandex.ru;

Vladimir A. Chernikov – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor at the Department of Physical Electronics of Physical Faculty, Lomonosov Moscow State University
e-mail: vachernikov@rambler.ru;

Aleksander P. Shvarov – PhD in Biological Sciences, Associate Professor at the Department of Soil Physics, Lomonosov Moscow State University;
e-mail: ashvarov@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Бычков В. Л., Бикмухаметова А. Р., Дешко К. И., Михайловская Т. О., Черников В. А., Шваров А. П. Исследования воздействия плазмы на свойства дисперсных сред с органическими объектами // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2019. № 4. С. 77–89.
DOI: 10.18384/2310-7251-2019-4-77-89

FOR CITATION

Bychkov V. L., Bikmukhametova A. R., Deshko K. I., Mikhailovskaya T. O., Chernikov V. A., Shvarov A. P. Investigation of the influence of plasma on the properties of dispersed media with organic objects. In: *Bulletin of Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics*. 2019, no. 4, pp. 77–89.
DOI: 10.18384/2310-7251-2019-4-77-89