

## О потенциале использования низкотемпературной плазмы в промышленности и социальной сфере

*К. В. Гостев, А. С. Штыков, А.С. Васильев*

*Петрозаводский государственный университет*

**Аннотация:** вопросам использования низкотемпературной плазмы в промышленности и в социальной сфере уделяется серьезное внимание в России и за рубежом. Плазменные технологии являются экологически чистыми и позволяют решать проблемы ресурсосбережения и энергосбережения. Статья посвящена поиску направлений использования низкотемпературной плазмы и созданию соответствующих технологий и оборудования в промышленности и в социальной сфере. На основе анализа научно-технической и патентной информации высказано мнение о недооценке потенциала низкотемпературной плазмы в лесном хозяйстве и в лесной промышленности.

**Ключевые слова:** низкотемпературная плазма, применение в промышленности и в социальной сфере, лесные семена, предпосевная обработка.

В связи с тем, что плазменные технологии являются экологически чистыми и позволяют решать проблемы ресурсосбережения и энергосбережения поиску направлений использования низкотемпературной плазмы (НТП) и созданию соответствующих технологий и оборудования в промышленности и в социальной сфере в последние годы уделяется серьезное внимание в России [1-3] и за рубежом [4-6].

Существенный вклад в развитие плазменной эмиссионной электроники внесли Ю.Е. Крейндель, П.М. Щанин, В.А. Груздев, А.П. Семенова, Е.М. Окса, Н.В. Гаврилова, Н.Н. Коваль, С.П. Никулин, Н.Г. Ремпе, В.Я. Мартенс А.В. Жаринова, Ю.А. Коваленко [7-8] и др., зарубежные ученые D. Goebel, R. Watkins, A. Forrester, A. Herchcovitch [9-10] и др.

Ниже показан потенциал применения НТП в промышленности и в социальной сфере.

Как показано в работе [7], НТП обладает существенными экологическими и ресурсосберегающими функциями, экологические функции НТП могут быть использованы для обеззараживания сточных вод, понижения активности радиоактивных выбросов и отходов, разрушения

---

токсичных примесей выхлопных газов и дымов, а ресурсосберегающие – для модификации деталей и инструмента, удлиняя их срок службы и заменяя дорогостоящие легирующие элементы. Модификация микроструктуры покрытий нитрида титана показана в [11], формирование износостойкого покрытия изделий из конструкционной стали в патенте RU № 2131480, полимеризации полиэфиров в [12]. Формирование новых знаний в области физики процессов в многокомпонентной НТП [13] обусловили разработку технологии и оборудования для модификации поверхности конструкционных материалов.

Образованное при воздействии НТП на поверхности обжиговых материалов стекловидное покрытие выполняет защитную функцию, повышает химическую стойкость, морозостойкость и долговечность [14].

При обработке НТП создается гидрофобная поверхность специальной кожи, повышаются ее гигиенические показатели [15].

Обработкой НТП сухого, измельченного листового опада получают сорбент для удаления нефти и нефтепродуктов с поверхности воды по патенту RU № 2595654 Казанского национального исследовательского университета. Согласно патенту RU № 2573903 с использованием НТП получают электропроводящую полимерную пленку. Газообразную смесь, содержащую  $H_2$  и  $CO$ , по патенту RU № 2458860 высокотемпературной струей реакционного газа, полученной с использованием НТП получают продувая активированный уголь. Наноразмерные слои нитрида алюминия ( $AlN$ ) на различных подложках получают согласно патентам RU № 92241 и RU № 133233.

Институтом теплофизики сибирского отделения Российской академии наук получен патент RU № 2616079 на способ и устройство для плазменной газификации твердого углеродсодержащего материала и получения синтез-газа. Этим же институтом получен патент RU № 2595304

---

на совершенствование процесса сжигания угольного топлива за счет использования НТП.

Московский физико-технический институт и Федеральный исследовательский центр «Биотехнологии» Российской академии наук запатентовали способ получения низкомолекулярного водорастворимого хитина в сильнонеравновесной электронно-пучковой НТП (патент RU № 2595162). Некаталитическое гидрообессеривание нефтепродуктов обеспечивается техническим решением, защищенным патентом RU № 2579099 нефтяной компании «Роснефть», и включающим взаимодействие жидких нефтепродуктов с неравновесной водородной НТП.

Патент Саратовского государственного технического университета RU № 2428521 повышает износостойкость режущего инструмента в стационарном комбинированном разряде НТП.

При воздействии НТП на биологические объекты обработанная вода влияет на функциональную активность иммунокомпетентных клеток и модулирует их взаимодействия с молекулами-регуляторами. В [16] показан возможный путь биомедицинского применения плазменной технологии. Воздействие НТП на лекарственное растительное сырье обеспечивает фунгицидное и бактерицидное действие [17]. В работе [18] рассмотрено использование НТП для решения различных биомедицинских задач, в том числе в качестве противоопухолевого воздействия. Способ антисептирования материалов НТП защищен патентом RU № 2443433. Согласно патенту RU № 2619704 текстильный материал с антибактериальными свойствами для спецодежды получают обработкой НТП.

Способ и установка для стерилизации инструментов защищен патентом RU № 2595842. Заточка режущей кромки микрохирургических ножниц по способу производственно-технического объединения

---

«Медтехника» (патент RU № 2532657) под воздействием НТП уменьшает их ширину, увеличивает твердость и износостойкость режущей кромки.

Анализ свидетельствует, что в России и за рубежом ведется интенсивный поиск направлений использования низкотемпературной плазмы и создание для этого соответствующих технологий и оборудования в широком спектре областей:

- изготовление сорбента для удаления нефти и нефтепродуктов с поверхности воды и обеззараживание сточных вод;
  - понижение активности радиоактивных выбросов и отходов и разрушение токсичных примесей в выхлопных газах и дымах;
  - модификация микроструктуры покрытий нитрида титан, формирование износостойкого покрытия на поверхности изделий из конструкционной стали в патенте, полимеризации полиэфиров;
  - повышение износостойкости, прочности и долговечности разнообразных деталей и инструментов (например, медицинских ножниц),
  - образование стекловидного покрытия обжиговых материалов, повышающего их защитные функции, химическую стойкость, морозостойкость и долговечность;
  - газификация твердого углеродсодержащего материала и получение синтез-газа;
  - получение низкомолекулярного водорастворимого хитина;
  - биомедицинское применение плазменной технологии, в том числе в качестве противоопухолевого воздействия;
  - антисептирование различных материалов (тканей, кожи и др.) с приданием им антибактериальных свойств;
  - фунгицидное и бактерицидное воздействие, например, на лекарственное сырье;
  - стерилизация медицинских инструментов и др.
-

Анализ показал, что, несмотря на широкий диапазон применения низкотемпературной плазмы в промышленности и в социальной сфере, имеет место недооценка потенциала НТП в лесном хозяйстве и в лесной промышленности. В связи с этим в Петрозаводском государственном университете (ПетрГУ) при исследованиях путей интенсификации лесопользования [19 – 21] ведется поиск путей использования приложений НТП для интенсификации биологических процессов, протекающих в семенах древесных пород на начальном этапе развития. Создано устройство импульсного генератора переохлажденной плазмы. Эксперименты показали, что воздействия на лесные семена низкотемпературной плазмой улучшает всхожесть семян и сопротивляемость всходов инфекционным заболеваниям [22 – 23].

### Литература

1. Коваль Н.Н., Кондратьева Н.П., Королев Ю.Д., Шемякин И.А., Щанин П.М. Исследование потоков ионов, возникающих в прикатодных областях дуги низкого давления // Известия РАН. Серия физическая. 1999. Т. 63. № 11. С. 2271-2275.
2. Окс Е.М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения. Томск: НТЛ, 2005. 216 с.
3. Zlobina A.F., Koval N.N., Kreindel Yu.E., Schanin P.M. The arc discharge of low pressure with two constricted channels and the anode plasma of large cross section // Proc. XIV inter. conf. on phenomena in ionized gases. J. Phys. (France), 1979, vol. 40, no. 7, pp. 481-482.
4. Slinker S.P., Hubbard R.F., Lampe M., and other. Ion beam transport in a preionized plasma channel. // Proc. of 9th international conference on high-power particle beams. Washington, DC, 1992, vol.2, P. 945.

5. Gushenets V.I., Oks E.M., Yushkov G.Yu., Rempe N.G. Current status of the plasma emission electronics: i. basic physical processes // Laser and particle beams, 2003, vol, 21, no 2, pp. 123-138.
  6. Goebel D.M., Watkins R.M. High current low pressure plasma cathode electron gun // Rev. sci. Instrum, 2000, vol. 71, no. 2, pp. 388-398.
  7. Коваль Н.Н. Источники низкотемпературной плазмы и электронных пучков на основе дуговых разрядов низкого давления с полым анодом : дисс. ... докт. техн. наук: 05.27.02. Томск, 2000. 74 с.
  8. Vizir A.V., Oks E.M., Shandrikov M.V., Yushkov G.Yu. Effective Source of High Purity Gaseous Plasma.// Proc. of 7th international conference on modification of materials with particle beams and plasma flows, Tomsk, Russia, 2004, p. 81.
  9. Goebel D.M., Forrester A.T. Plasma studies on a hollow cathode, magnetic multipole ion source for neutral beam injection // Rev. sci. instrum, 1982, vol. 53, no. 6, pp. 810-815.
  10. Hershcovitch A. Extraction of superthermal electrons in a high current low emittance steady state electron gun with a plasma cathode // Appl. phys. let, 1996, vol. 68, no. 2, pp. 464 – 466.
  11. Тюменцев А.Н., Пинжин Ю.П., Сафаров А.Ф., Бугаев С.П., Коваль Н.Н., Щанин П.М., Борисов Д.П. Влияние низкоэнергетического ионного облучения на микроструктуру покрытий нитрида титана // Поверхность. 1998. № 10. С. 92-100.
  12. Абдуллин Э.Н., Вайсбурд Д.И., Коваль Н.Н., Крейндель Ю.Е., Месяц Г.А., Чмух В.Н., Щанин П.М. Использование мощных импульсных пучков электронов для инициирования полимеризации полиэфиров // Письма в журнал технической физики. 1978. Т. 4. Вып. 8. С. 213-215.
-

13. Вересов О.Л. Плазменные источники ионов на базе разрядов с ненакаливаемыми катодами в магнитном поле: дисс. ... канд. техн. наук: 05.27.02. СПб, 2011. 230 с.

14. Власов В.А., Космачев П.В., Скрипникова Н.К., Безухов К.А. Модификация поверхности высококремнеземистых термостойких материалов низкотемпературной плазмой // В сборнике: Перспективные материалы в технике и строительстве: материалы II Всероссийской научной конференции. Томский ГАСУ, 2015. С. 356-359.

15. Николаенко Г.Р., Кулевцов Г.Н., Шестов А.В. Исследование влияния обработки неравновесной низкотемпературной плазмой на получение гидрофобной кожи специального назначения // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 18. С. 99-101.

16. Терешко И., Марков П., Толстая Е., Горчаков Т., Терешко В., Редько В. Низкотемпературная плазма в биомедицине // Наука и инновации. 2015. Т. 10. № 152. С. 65-71.

17. Богма М.В., Османова Н.А., Ерузин А.А., Потехина Т.С., Манойлова Л.М. Влияние обработки низкотемпературной плазмой на химический состав и микробиологические показатели лекарственного растительного сырья // Химия растительного сырья. 2011. № 1. С. 137-140.

18. Тухватулин А.И., Сысолятина Е.В., Щедляков Д.В., Логунов Д.Ю., Васильев М.М., Юрова М.А., Данилова М.А., Петров О.Ф., Народицкий Б.С., Morfill G.E., Григорьев А.И., Фортов В.Е., Гинцбург А.Л., Ермолаева С.А. Низкотемпературная плазма вызывает р53-зависимый апоптоз клеток карциномы кишечника // Acta Naturae. 2012. Т. 4. № 3 (14). С. 87-92.

19. Будник П. В. Шегельман И.Р. Функционально-технологический синтез патентоспособных решений в области оборудования

---



лесовосстановительных работ // Инженерный вестник Дона, 2014, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2559/.

20. Гаврилова О.И. Лесовосстановление вырубок и продуктивность лесных культур хвойных пород Республики Карелия: дисс. ... докт. с/х наук: 06.03.01. Петрозаводск, 2011. 351 с.

21. Шегельман И. Р. Исследование направлений модернизации техники и технологии лесозаготовок // Инженерный вестник Дона, 2012, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/866.

22. Гаврилова О.И., Гостев К.В., Гостев В.А., Журавлева М.В. Исследование воздействия плазмы на всхожесть семян хвойных пород // В мире научных открытий. Естественные и технические науки. 2015. № 12.2. С.649-663.

23. Гостев К.В. Особенности и режимы работы генератора холодного плазменного спрея для активации процессов жизненного роста семян хвойных пород // Глобальный научный потенциал. 2013. № 2(23). С. 58–60.

### References

1. Koval' N.N., Kondrat'eva N.P., Korolev Yu.D., Shemyakin I.A., Shchanin P.M. Izvestiya RAN. Seriya fizicheskaya. 1999. T. 63. № 11. Pp. 2271-2275.

2. Oks E.M. Istochniki elektronov s plazmennym katodom: fizika, tekhnika, primeneniya [Sources of electrons with a plasma cathode: physics, technology, applications]. Tomsk: NTL, 2005. 216 p.

3. Zlobina A.F., Koval N.N., Kreindel Yu.E., Schanin P.M. Proc. XIV inter. conf. on phenomena in ionized gases. J. Phys. (France), 1979, vol. 40, no. 7, pp. 481-482.

4. Slinker S.P., Hubbard R.F., Lampe M., and other. Proc. of 9th international conference on high-power particle beams. Washington, DC, 1992, vol.2, p. 945.

---

5. Gushenets V.I., Oks E.M., Yushkov G.Yu., Rempe N.G. Laser and particle beams, 2003, vol, 21, no 2, pp. 123-138.
6. Goebel D.M., Watkins R.M. Rev. sci. Instrum, 2000, vol. 71, no. 2, pp. 388-398.
7. Koval' N.N. Istochniki nizkotemperaturnoy plazmy i elektronnykh puchkov na osnove dugovykh razryadov nizkogo davleniya s polym anodom [Sources of low-temperature plasma and electron beams based on low-pressure arc discharges with a hollow anode]: diss. ... dokt. tekhn. nauk: 05.27.02. Tomsk, 2000. 74 p.
8. Vizir A.V., Oks E.M., Shandrikov M.V., Yushkov G.Yu. Proc. of 7th international conference on modification of materials with particle beams and plasma flows, Tomsk, Russia, 2004, p. 81.
9. Goebel D.M., Forrester A.T. Rev. sci. instrum, 1982, vol. 53, no. 6, pp. 810-815.
10. Hershcovitch A. Appl. phys. let, 1996, vol. 68, no. 2, pp. 464 – 466.
11. Tyumentsev A.N., Pinzhin Yu.P., Safarov A.F., Bugaev C.P., Koval' N.N., Shchanin P.M., Borisov D.P. Poverkhnost'. 1998. № 10. Pp. 92-100.
12. Abdullin E.N., Vaysburd D.I., Koval' N.N., Kreyndel' Yu.E., Mesyats G.A., Chmukh V.N., Shchanin P.M. Pis'ma v zhurnal tekhnicheskoy fiziki. 1978. T. 4. Vyp. 8. Pp. 213-215.
13. Veresov O.L. Plazmennye istochniki ionov na baze razryadov s nenakalivaemymi katodami v magnitnom pole [Plasma sources of ions based on discharges with non-incandescent cathodes in a magnetic field]: diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.27.02. SPb, 2011. 230 p.
14. Vlasov V.A., Kosmachev P.V., Skripnikova N.K., Bezukhov K.A. V sbornike: Perspektivnye materialy v tekhnike i stroitel'stve: materialy II Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii (In the collection: Perspective materials in



engineering and construction: materials of the II All-Russian Scientific Conference). Tomskiy GASU, 2015. Pp. 356-359.

15. Nikolaenko G.R., Kulevtsov G.N., Shestov A.V. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2013. T. 16. № 18. Pp. 99-101.

16. Tereshko I., Markov P., Tolstaya E., Gorchakov T., Tereshko V., Red'ko V. Nauka i innovatsii. 2015. T. 10. № 152. Pp. 65-71.

17. Bogma M.V., Osmanova N.A., Eruzin A.A., Potekhina T.S., Manoylova L.M. Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2011. № 1. Pp. 137-140.

18. Tukhvatulin A.I., Sysolyatina E.V., Shcheblyakov D.V., Logunov D.Yu., Vasil'ev M.M., Yurova M.A., Danilova M.A., Petrov O.F., Naroditskiy B.S., Morfill G.E., Grigor'ev A.I., Fortov V.E., Gintsburg A.L., Ermolaeva S.A. Acta Naturae. 2012. T. 4. № 3 (14). Pp. 87-92.

19. Budnik P. V. Shegel'man I.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2559/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2559/).

20. Gavrilova O.I. Lesovosstanovlenie vyrubok i produktivnost' lesnykh kul'tur khvoynykh porod Respubliki Kareliya [Forest regeneration of felling and productivity of forest cultures of coniferous species in the Republic of Karelia]: diss. ... dokt. s/kh nauk: 06.03.01. Petrozavodsk, 2011. 351 p.

21. Shegel'man I. R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/866](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/866).

22. Gavrilova O.I., Gostev K.V., Gostev V.A., Zhuravleva M.V. Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2015. № 12.2. Pp.649-663.

23. Gostev K.V. Global'nyy nauchnyy potentsial. 2013. № 2(23). Pp. 58–60.