

## Перспективные арктические исследования учебно-научно-технологической лаборатории «Технологии полимерных нанокомпозитов»



### Тимофеева Е. Н.

член Экспертного Совета ЭЦ ПОРА, СВФУ им. Аммосова, Институт естественных наук – Химическое отделение: старший преподаватель, аспирант, e.n.timofeeva@s-vfu.ru



### Слепцова С. А.

к.т.н., доцент химического отделения СВФУ, заведующая лабораторией «Технологии полимерных нанокомпозитов», sa.sleptcova@s-vfu.ru

На дискуссионной площадке ПОРА обсуждались цели государственной политики в Арктической зоне РФ в сфере развития науки и технологий. Особое внимание было уделено фундаментальным и прикладным исследованиям, разработке и внедрению материалов и техники, адаптированных для эксплуатации в арктических условиях.

Арктическая зона Российской Федерации является стратегически важным регионом для нашей страны. Когда речь идет о развитии и освоении энергетических ресурсов Арктики, встают новые вызовы перед научным сообществом и промышленными компаниями. Одной из задач является переход к новым материалам, обладающим уникальными

заданными свойствами и способных надёжно работать в условиях Арктики и Крайнего Севера.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова (СВФУ), являясь крупнейшим научно-образовательным центром на северо-востоке РФ, вносит свой вклад в решение соответствующих задач.

Так, в октябре 2011 г. на базе химического отделения в Арктическом инновационном центре СВФУ была открыта учебно-научно-технологическая лаборатория «Технологии полимерных нанокомпозитов» (УНТЛ).

На сегодняшний день УНТЛ оснащена современным высокоточным научно-исследовательским и технологическим оборудованием, необходимым для разработки и всестороннего исследования физико-механических и структурных свойств полимерных композиционных материалов.

Кадровый состав лаборатории включает 14 сотрудников, из кото-

рых 2 — доктора наук, 3 — кандидаты наук, 3 — аспиранты. Кроме того, в лаборатории уже 6-й год по приглашению работает профессор Джин Хо Чо из Университета Мионджи. Во все проекты вовлекаются все 9 аспирантов, которые сейчас обучаются, магистранты и студенты. Средний возраст сотрудников лаборатории — 33 года. Молодые сотрудники лаборатории — постоянные победители международных и всероссийских молодёжных конференций, конкурсов получатели грантов. Они ежегодно проходят стажировки в ведущих научно-исследовательских центрах РФ и за рубежом.

В настоящее время основным направлением деятельности лаборатории является создание морозо- и агрессивностойких полимерных материалов триботехнического и герметизирующего назначения. По данному направлению ведутся следующие НИОКР:

1) разработка самосмазывающихся полимерных нанокompозитов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) и сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), характеризующихся комплексом технических характеристик высокого уровня для экстремальных условий эксплуатации;

2) разработка армированных полимерных композитов с повышенной износостойкостью и прочностью на основе ПТФЭ и СВМПЭ и волокнистых наполнителей, в т. ч. базальтового волокна;

3) разработка эластомерных материалов, работоспособных до минус 60°C, на основе нового вида каучука уникальной морозостойкости — пропиленоксидного каучука, работоспособного при температуре до -74°C, эпихлоргидринового каучука HydrinT6000 (T<sub>c</sub>=-60°C), а также полиизопрена, бутадиен-нитрильного кау-

чука, смесей на основе разных каучуков и термопластов, модифицированных минеральными и органическими наполнителями;

4) разработка морозостойких футеровочных и демпфирующих материалов, в т. ч. двухслойных, представляющих собой резину, покрытую износостойким слоем полимера. Толщины слоёв могут варьироваться.

5) изучение климатической устойчивости резин, проведение натуральных испытаний материалов и изделий под воздействием климатических факторов и рабочих сред, оценка работоспособности резин в условиях, приближённых к реальным условиям эксплуатации.

На основе разработанных материалов можно изготавливать:

— уплотнители для гидравлических и топливных систем техники, в т.ч. подвижного состава железных дорог, различной автомобильной и тяжелой вспомогательной техники, технологического оборудования;

— морозостойкие резиновые манжеты, кольца, прокладки для узлов трения и герметизации соединений, стыков трубопроводов, технологических линий;

— самосмазываемые подшипники скольжения для техники, работающей в условиях повышенной влажности, низких температур, перепадов давления и температур (максим. давление около 30 МПа);

— футеровочные материалы.

Оснащение лаборатории высококласным научно-исследовательским и технологическим оборудованием позволяет проводить комплексное исследование композиционных материалов.

Кроме лабораторных испытаний разработанные материалы проходят натурные испытания, для чего их экспонируют на специальном полигоне в течение 1-2 лет. Полигон СВФУ даёт возможность испытывать как материалы и изделия, так и устройства и механизмы, укомплектованные изделиями из этих материалов. В условиях натурной экспозиции исследована климатическая устойчивость и работоспособность многих серийных резин, в том числе и предназначенных для железнодорожного транспорта в условиях Республики Саха (Якутия), под воздействием углеводородных сред — топлива, масла, смазки — в которых работают резиновые детали. Кроме того, здесь впервые протестированы новые полимеры уникальной морозостойкости: каучук российского производства — пропиленоксидный каучук, который остаётся эластичным при снижении температуры до -74 °С, и эпихлоргидриновый каучук HydrinT6000 (устойчив до -60 °С).

После натуральных испытаний резин проводятся исследования работоспособности изделий из этих материалов в реальных условиях эксплуатации. Разработанные морозо-масло-бензостойкие уплотнительные материалы на основе смесей резин сейчас проходят испытания в качестве уплотнителей трансмиссий двигателя бульдозера «Коматцу» на прииске Маят АО «Алмазы Анабара» в течение полного годового цикла.

Кроме того, прошли испытания:

1) сайлентблоки для автомобиля Toyota Land Cruiser 80; испытания проводились в зимний период, условия испытания включали безостановочный прогон по бездорожью до северных районов; результаты испытаний превзошли ресурс аналогов в 1,5 раза;

2) уплотнители свечных колдцев, амортизационные втулки, которые в настоящее время проходят испытания на автомашинах «УАЗ»; на данный момент запас прочности изделий из разработанных материалов превзошёл ресурс аналогов в 2 раза.

УНТЛ «Технологии полимерных нанокompозитов» предлагает полный цикл исследований: от разработки полимерных материалов, технологий производства изделий до выпуска опытно-промышленных партий и климатических испытаний материалов и изделий. В настоящее время по результатам данных испытаний планируется организация производства резинотехнических изделий для горнодобывающих предприятий Республики Саха. Получено устное согласие от генерального директора АО «Алмазы Анабара» предоставить испытательный полигон для наших изделий, а также стать первым заказчиком. По результатам анализа предоставленных списков требуемых изделий для функционирования горнодобывающей техники АО «Алмазы Анабара», было выявлено около 800 наименований полимерных и резинотехнических изделий. Из этого списка на данный момент на базе нашей лаборатории мы можем производить около 300 изделий.

В рамках организации НОЦ мирового уровня «Север: территория устойчивого развития» на базе научных и образовательных учреждений РС(Я) разработан проект «Полимерные композиты и резинотехнические изделия для Арктики», который направлен на организацию малого инновационного предприятия по выпуску РТИ и антифрикционных материалов.

С момента создания лаборатории получено около 30 патентов, из которых 2 патента США и 1 евразийский патент. Ежегодно в патентное ведомство подаются от 3 до 6 заявок.

#### Публикации лаборатории за последние 3 года (БД WoS, Scopus):

1. Nikiforov L. A., Okhlopkoва T. A., Kapitonova Iu. V., Sleptsova S. A., Okhlopkoва A.A., Shim E. L., Cho J.-H. Surfactant Effects on Structure and Mechanical Properties of Ultrahigh-Molecular- Weight Polyethylene Layered Silicate Composites // *Molecules*. – 2017. – Vol. 22, No. 12. – P. 2149. <https://doi.org/10.3390/molecules22122149>
2. Dyakonov A.A., Sokolova M.D., Shadrinov N.V., Sleptsova S.A. Application of Protective Coatings from Ultrahigh-Molecular Weight Polyethylene to Butadiene-Nitrile Rubber // *AIP Conf. Proc.* – 2017. – Vol. 1909, No. 020037. <https://doi.org/10.1063/1.5013718>
4. Petrova N. N., Portnyagina V. V., Mukhin V. V., Ee Le Shim, Jin-Ho Cho. Preparation and Improved Physical Characteristics of Propylene Oxide Rubber Composites // *Molecules*. – 2018. – No. 23(9). – P. 2150. <https://doi.org/10.3390/molecules23092150>
5. Vasilev A.P., Okhlopkoва A.A., Struchkova T.S., Grakovich P.N., Bashlakova A. L. Investigation of the Influence of Complex Fillers on the Properties and Structure of Polytetrafluoroethylene // *Journal of Friction and Wear*. – 2018. – Vol. 39, No. 5. – P. 427–432. <https://link.springer.com/article/10.3103/S1068366618050148>
6. Lazareva N. N., Sleptsova S. A., Okhlopkoва A. A., Kapitonova I. V. Development of tribotechnical materials based on PTFE with processing in the electromagnetic field of microwave radiation // *AIP Conference Proceedings*. – 2018. – Vol. 2051, No. 020168. <https://doi.org/10.1063/1.5083411>
7. Sleptsova S. A., Kapitonova Y. V., Lazareva N. N., Okhlopkoва A. A., Grigoryeva L. A. Effect of ultrasonic vibrations on the properties of PTFE/layered silicate + magnesium spinel // *AIP Conference Proceedings*. – 2018. – Vol. 2051, No. 020288. <https://doi.org/10.1063/1.5083531>
8. Fedoseeva V. I., Sleptsova S. A., Kremenetskaya I. P. Preconditions for the physicochemical interaction between components in the creation of composite materials on the basis of polytetrafluoroethylene and layered silicates // *AIP Conference Proceedings*. – 2018. – Vol. 2051, No. 020084. <https://doi.org/10.1063/1.5083327>
9. Borisova R. V., Nikiforov L. A., Okhlopkoва T. A., Spiridonov A. M., Okhlopkoва A. A., Koryakina N. S. Effect of brominated UHMWPE on the properties and structure of the resulting UHMWPE/boron carbide nanocomposite (Conference Paper) // *AIP Conference Proceedings*. – 2018. – Vol. 2053, No.040009. <https://doi.org/10.1063/1.5084447>
10. Sleptsova S. A., Lazareva N. N., Fedoseeva V. I., Kapitonova Yu. V., Okhlopkoва A. A. The Influence of Metal Cations of Mechanoactivated Bentonite on Tribochemical Processes in PTFE // *Journal of Friction and Wear*. – 2018. – Vol. 39, No. 6. – P. 469–475. <https://link.springer.com/article/10.3103%2FS1068366618060120>
11. Sleptsova S. A., Laukkanen S., Gladkina N. P., Fedoseeva V. I., Okhlopkoва A. A., Grigoryeva L. A. Effect of Kaolinite on the Properties and Structure of PTFE // *AIP Conference Proceedings*. – 2018. – Vol. 2053, No. 040092. <https://doi.org/10.1063/1.5084530>
12. Dyakonov A. A., Shadrinov N. V., Sokolova M. D., Okhlopkoва A. A. Double layer composite material based on elastomer and ultra-high molecular weight polyethylene // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 193 (1), No. 012021. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/193/1/012021>
13. Mukhin V. V., Petrova N. N., Portnyagina V. V., Fedorov A. L., Baisheva A. V. Investigation of the plasticizer content effects on the operability of the epichlorohydrin rubber based elastomeric material during full-scale test under

cold climate conditions and hydrocarbon medium influence (Conference Paper) // *Materials Science Forum.* – 2018. – Vol. 945 MFS. – P.417-421. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.417>

14.. Timofeeva E. N., Petrova N. N., Nikolaeva K. N., Kuzmina E. S. The research of the effect of single-walled carbon Nanotubes on the properties of epichlorohydrin rubber (Conference Paper) // *Materials Science Forum.* – 2018. – Vol. 945 MFS. – P.428-432. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.428>

15.. Petrova N. N., Portnyagina V. V., Mukhin V. V., Timofeeva E. N., Matveeva N. V., Ivanova S. F. Frost-resistant elastomeric nanocomposites for operation in the far north conditions (Conference Paper) // *Materials Science Forum.* – 2018. – Vol. 945 MFS. – P.412-416. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.412>

16.. Ivanova S. F., Petrova N. N. Polyfunctional materials based on collagen Hydrolysate obtained from swim bladders of northern fish species (Conference Paper) // *Materials Science Forum.* – 2018. – Vol. 945 MFS. – P.422-427. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.422>

17.. Shcherbakova O. O., Muravyeva T. I., Gainutdinov R. V., Shkalei I. V., Petrova N. N., Timofeeva E. N., Zagorskiy D. L. Complex microscopy investigation of special purpose elastomers (Conference Paper) // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* – 2018. – Vol. 443 (1), No. 012030. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/443/1/012030>

18.. Sleptsova S. A., Lazareva N. N., Kapitonova Yu. V. Effect of Mechanically Activated Layered Silicate on the Properties and Structure of Polytetrafluoroethylene (Conference Paper) // *Materials Science Forum.* – 2019. – Vol. 945 MFS. – P. 384-388. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.384>

19.. Borisova R. V., Nikiforov L. A., Spiridonov A. M., Okhlopko A. A., Koryakina N. S. The Influence of Brominated UHMWPE on the Tribological Characteristics and Wear of Polymeric Nanocomposites Based on UHMWPE and Nanoparticles / *Journal of Friction and Wear.* – 2019. – Vol. 40, No. 1. – P. 27–32. <https://link.springer.com/article/10.3103/S1068366619010045>

20.. Spiridonov A. M., Aprosimova E. V., Zabolotskii V. I., Fedoseeva V. I., Sokolova M. D., Okhlopko A. A. Adsorption of Cetyltrimethylammonium Bromide on Zeolite Surface / *Russian Journal of Physical Chemistry A.* – 2019. – Vol. 93, No. 5. – P. 917-923.

21.. Sokolova M. D., Shadrinov N. V., Dyakonov A. A., Zyryanov I. V. Application of rubber-polymer two-layer material for lining of mining equipment // *Gornyi Zhurnal.* – 2019. – No. 2. – P. 66-69. DOI: 10.17580/gzh.2019.02.13

22.. Shadrinov N. V. Effect of Thermal Aging on Deformation Properties of Nitrile-Butadiene Rubber: Atomic Force Microscopy Data // *Inorganic Materials: Applied Research.* – 2019. – Vol. 10, No. 1. – P. 53-57. DOI: 10.1134/S2075113319010283 DOI: 10.1134/S2075113319010283

23.. Vasilev A. P., Struchkova T. S., Nikiforov L. A., Okhlopko A. A., Grakovich P. N., Shim E. L., Cho J.-H. Mechanical and Tribological Properties of Polytetrafluoroethylene Composites with Carbon Fiber and Layered Silicate Fillers // *Molecules.* – 2019. – T. 24. – №. 2. – C. 224. <https://doi.org/10.3390/molecules24020224>

24.. Danilova S. N., Okhlopko A. A., Sleptsova S. A., Ivanov A. N., Grigoreva L. A., Spiridonov A. M. Polymer composite materials based on ultra-high molecular weight polyethylene and modified montmorillonite (Conference Paper) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* – 2019. – Vol. 320 (1), No. 012059. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/320/1/012059>

В разное время лаборатория осуществляла деятельность в рамках использования около 20 грантов различного уровня.

Результаты исследований, проводимых сотрудниками лаборатории опубликованы с момента создания лаборатории в более чем 130 статьях, из них 60 статей – в журналах из базы данных Web of Science и Scopus, из которых 13 статей опубликованы в журналах 2-го квартиля. Это такие журналы как *Molecules*, *Journal of Friction and Wear*, *Materials Today Communications*.

Разработки УНТЛ «Технологии полимерных наноконструкций» награждены золотыми, серебряными и бронзовыми медалями международных выставок.

Патент РФ № 2493183 «Морозостойкая резина на основе пропиленоксидного каучука и природных бентонитов» был включён в список 100 лучших изобретений РФ 2013 г.