

ISSN 2518-1483 (Online),  
ISSN 2224-5227 (Print)

2022 • 3

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

REPORTS  
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

БАС РЕДАКТОР:

**БЕНБЕРИН Валерий Васильевич**, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Президенті Іс Басқармасы Медициналық орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 11

РЕДАКЦИЈАЛЫҚ АЛҚА:

**РАМАЗАНОВ Тілекқабил Сәбитұлы**, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 26

**РАМАНҚҰЛОВ Ерлан Мирхайдарұлы**, (бас редактордың орынбасары), профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Ph.D биохимия және молекулалық генетика саласы бойынша Ұлттық биотехнология орталығының бас директоры (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 23

**САНГ-СУ Квак**, Ph.D (биохимия, агрохимия), профессор, Корей биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея), Н = 34

**БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы**, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Еуразия ұлттық университеті. Л.Н. Гумилев (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 12

**ӘБИЕВ Руфат**, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны оңтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей), Н = 14

**ЛОКШИН Вячеслав Нотанович**, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «PERSONA» халықаралық клиникалық репродуктология орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 8

**СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич**, биология ғылымдарының докторы, профессор, Чуваш республикасының еңбек сіңірген ғылым қайраткері, «Чуваш мемлекеттік аграрлық университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесі Акушерлік және терапия кафедрасының меңгерушісі, (Чебоксары, Ресей), Н = 23

**ФАРУК Асана Дар**, Хамдар аль-Маджида Хамдард университетінің шығыс медицина факультеті, Шығыс медицинасы колледжінің профессоры, (Карачи, Пәкістан), Н = 21

**ЦЕЛЕТКИН Игорь Александрович**, медицина ғылымдарының докторы, Монтана штаты университетінің профессоры (Монтана, АҚШ), Н = 27

**КАЛАНДРА Пьетро**, Ph.D (физика), нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), Н = 26

**МАЛЫМ Анна**, фармацевтика ғылымдарының докторы, профессор, Люблин медицина университетінің фармацевтика факультетінің деканы (Люблин, Польша), Н = 22

**БАЙМҰҚАНОВ Дастан Асылбекұлы**, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі, "Мал шаруашылығы және ветеринария ғылыми-өндірістік орталығы" ЖШС мал шаруашылығы және ветеринарлық медицина департаментінің бас ғылыми қызметкері (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 1

**ТИГИНЬНУ Ион Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), Н = 42

**ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрділұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 7

**БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы**, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

**QUEVEDO Hernando**, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), Н = 28

**ЖҮСПНОВ Марат Абжанұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 7

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), Н = 5

**ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 5

**ХАРИН Станислав Николаевич**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

**ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 12

«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының баяндамалары»

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № KZ93VPY00025418 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *өсімдік шаруашылығы, экология және медицина саласындағы биотехнология және физика ғылымдары.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет. Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219 бөл.; тел.: 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2022  
Типографияның мекен-жайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:**

**БЕНБЕРИН Валерий Васильевич**, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан (Алматы, Казахстан), Н = 11

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович**, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 26

**РАМАНКУЛОВ Ерлан Мирхайдарвич**, (заместитель главного редактора), профессор, член-корреспондент НАН РК, Ph.D в области биохимии и молекулярной генетики, Генеральный директор Национального центра биотехнологии (Нур-Султан, Казахстан), Н = 23

**САНГ-СУ Квак**, доктор философии (Ph.D, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея), Н = 34

**БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендинович**, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Нур-Султан, Казахстан), Н = 12

**АБИЕВ Руфат**, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), Н = 14

**ЛОКШИН Вячеслав Нотанович**, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного клинического центра репродуктологии «PERSONA» (Алматы, Казахстан), Н = 8

**СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич**, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Чувашской Республики, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (Чебоксары, Чувашская Республика, Россия), Н = 23

**ФАРУК Асана Дар**, профессор Колледжа восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет восточной медицины Университета Хамдарда (Карачи, Пакистан), Н = 21

**ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович**, доктор медицинских наук, профессор Университета штата Монтана (США), Н = 27

**КАЛАНДРА Пьетро**, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), Н = 26

**МАЛЬМ Анна**, доктор фармацевтических наук, профессор, декан фармацевтического факультета Люблинского медицинского университета (Люблин, Польша), Н = 22

**БАЙМУКАНОВ Дастанбек Асылбекович**, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент НАН РК, главный научный сотрудник Департамента животноводства и ветеринарной медицины ТОО «Научно-производственный центр животноводства и ветеринарии» (Нур-Султан, Казахстан), Н=1

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), Н = 42

**КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 7

**БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич**, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 10

**QUEVEDO Hernando**, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), Н = 28

**ЖУСУПОВ Марат Абжанович**, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 7

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), Н = 5

**ТАКИБАЕВ Нурғали Жабағевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 5

**ХАРИН Станислав Николаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстано-Британский технический университет (Алматы, Казахстан), Н = 10

**ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 12

**Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан»**

**ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)**

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы). Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № **KZ93VPY00025418**, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *биотехнология в области растениеводства, экологии, медицины и физические науки.*

Периодичность: 4 раз в год. Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219; тел. 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2022

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

## EDITOR IN CHIEF:

**BENBERIN Valery Vasilievich**, Doctor of Medicine, Professor, Academician of NAS RK, Director of the Medical Center of the Presidential Property Management Department of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), H = 11

## EDITORIAL BOARD:

**RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich**, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 26

**RAMANKULOV Erlan Mirkhaidarovich**, (Deputy Editor-in-Chief), Professor, Corresponding Member of NAS RK, Ph.D in the field of biochemistry and molecular genetics, General Director of the National Center for Biotechnology (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 23

**SANG-SOO Kwak**, PhD in Biochemistry, Agrochemistry, Professor, Chief Researcher, Plant Engineering Systems Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), H = 34

**BERSIMBAEV Rakhmetkazhi Iskendirovich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 12

**ABIYEV Rufat**, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia), H = 14

**LOKSHIN Vyacheslav Notanovich**, Professor, Academician of NAS RK, Director of the PERSONA International Clinical Center for Reproductology (Almaty, Kazakhstan), H = 8

**SEMENOV Vladimir Grigorievich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of the Chuvash Republic, Head of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy, Chuvash State Agrarian University (Cheboksary, Chuvash Republic, Russia), H = 23

**PHARUK Asana Dar**, professor at Hamdard al-Majid College of Oriental Medicine. Faculty of Oriental Medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan), H = 21

**TSHEPETKIN Igor Aleksandrovich**, Doctor of Medical Sciences, Professor at the University of Montana (Montana, USA), H = 27

**CALANDRA Pietro**, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy), H = 26

**MALM Anna**, Doctor of Pharmacy, Professor, Dean of the Faculty of Pharmacy, Lublin Medical University (Lublin, Poland), H = 22

**BAIMUKANOV Dastanbek Asylbekovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the NAS RK, Chief Researcher of the department of animal husbandry and veterinary medicine, Research and Production Center for Livestock and Veterinary Medicine Limited Liability Company (Nur-Sultan, Kazakhstan), H=1

**TIGHINEANU Ion Mikhailovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), H = 42

**KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich**, doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 7

**BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich**, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

**QUEVEDO Hemando**, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), H = 28

**ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 7

**KOVALEV Alexander Mikhailovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine), H = 5

**TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 5

**KHARIN Stanislav Nikolayevich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

**DAVLETOV Askar Erbulanovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 12

**Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.**

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty). The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. **KZ93VPY00025418**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *biotechnology in the field of crop research, ecology and medicine and physical sciences.*

Periodicity: 4 times a year. Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2022

Address of printing house: ST «Aruna», 75, Muratbayev str., Almaty.

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 3, Number 343 (2022), 119-131

<https://doi.org/10.32014/2022.2518-1483.163>

UDC 537.2; 537.221; 537.226

**G.S. Kalimuldina<sup>1\*</sup>, Y.Y. Nurmakanov<sup>2</sup>, R.P. Kruchinin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Department of Mechanical and Aerospace Engineering, School  
of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University,  
Astana, Kazakhstan;

<sup>2</sup>School of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University,  
Astana, Kazakhstan.

E-mail: gkalimuldina@nu.edu.kz

## **MODIFIED TEXTILE FABRIC-BASED WEARABLE TRIBOELECTRIC NANOGENERATOR**

**Abstract.** Triboelectric nanogenerators (TENG) are gaining huge interest due to their mechanical energy harvesting ability and active sensing applications. Especially, development of wearable TENG is of high importance allowing harvesting the energy of human motions to autonomously power small-scale personal devices. TENG would be useful for biomechanical energy harvesting if the triboelectric materials used in the nanogenerator fabrication are non-toxic, comfortable for wearing, and scalable. Common textile fabrics with improved triboelectric properties can be applied for fabricating wearable TENG to harvest the energy of human motions. In this work, we developed unique fabric triboelectric pair by chemically modifying cotton fabric with 3-aminopropyltriethoxysilane (APTES) and perfluorodecyltrichlorosilane (FDTS) to obtain tribo-positive and tribo-negative materials, respectively. The TENG fabricated from corresponding materials exhibits remarkable triboelectric energy harvesting during testing with peak-to-peak open-circuit voltage ( $V_{oc}$ ) of about 4 V and short-circuit current ( $I_{sc}$ ) 250 nA and, in addition, we demonstrated the ability to charge capacitor.

**Key words:** triboelectric effect, nanogenerator, textile electrode, chemical functionalization.

Г.С. Калимулдина<sup>1\*</sup>, Е.Е. Нурмаканов<sup>2</sup>, Р.П. Кручинин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Механикалық және аэроғарыштық инженерия кафедрасы,  
Инженерлік және цифрлық ғылымдар мектебі, Назарбаев  
Университеті, Астана, Қазақстан;

<sup>2</sup>Инженерлік және цифрлық ғылымдар мектебі,  
Назарбаев Университеті, Астана, Қазақстан.  
E-mail: gkalimuldina@nu.edu.kz

## МОДИФИЦИРЛЕНГЕН ТОҚЫМА МАТА НЕГІЗІНДЕГІ КИІЛЕТІН ТРИБОЭЛЕКТРЛІК НАНОГЕНЕРАТОР

**Аннотация.** Трибоэлектрлік наногенераторлар (ТЭНГ) механикалық энергия жинау қабілетіне және белсенді сезу қолданбаларына байланысты үлкен қызығушылық тудырады. Әсіресе, шағын көлемді жеке құрылғыларды автономды түрде қуаттандыру үшін адам қозғалысының энергиясын жинауға мүмкіндік беретін киілетін ТЭНГ-ті дамытудың маңызы зор. Егер наногенератор өндірісінде қолданылатын трибоэлектрлік материалдар зиян емес, киюге ыңғайлы және масштабталатын болса, ТЭНГ биомеханикалық энергияны жинау үшін пайдаланылатын еді. Жақсартылған трибоэлектрлік қасиеттері бар қарапайым тоқыма маталары адам қозғалысының энергиясын жинау үшін киілетін ТЭНГ өндіру үшін қолданылуы мүмкін. Бұл жұмыста біз трибо-оң және трибо-теріс материалдарды алу үшін мақтаматасын 3-аминопропилтриетоксисиланмен (АПТЭС) және перфтородецилтрихлорсиланмен (ФДТС) химиялық түрлендіру арқылы бірегей матадан трибоэлектрлік жұп жасадық. Сәйкес материалдардан жасалған ТЭНГ ашық тұйықталу кернеуі ( $V_o$ ) шамамен 4 В-қа және қысқа тұйықталу тогы ( $I_{sc}$ ) 250 нА-ге көрсеткіштеріне ие болып, сынақтар кезінде керемет трибоэлектрлік энергия жинау және оған қоса, конденсаторды зарядтау қабілетін көрсетті.

**Түйін сөздер:** трибоэлектрлік эффект, наногенератор, тоқыма электроды, химиялық модификация.

Г.С. Калимулдина<sup>1\*</sup>, Е.Е. Нурмаканов<sup>2</sup>, Р.П. Кручинин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кафедра механической и аэрокосмической инженерии, Школа инженерии и цифровых наук, Назарбаев Университет, Астана, Казахстан;

<sup>2</sup>Школа инженерии и цифровых наук, Назарбаев Университет, Астана, Казахстан.

E-mail: gkalimuldina@nu.edu.kz

## **НОСИМЫЙ ТРИБОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАНОГЕНЕРАТОР НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ТКАНИ**

**Аннотация.** Трибоэлектрические наногенераторы (ТЭНГ) привлекают большой интерес вследствие их способности сбора механической энергии и применения в качестве активных сенсоров. Особенно высокую важность имеет разработка носимого ТЭНГ, дающая возможность сбора энергии движений человека, с целью автономного питания мелких персональных устройств. ТЭНГ был бы полезен для биомеханического сбора энергии, если бы трибоэлектрические материалы, используемые при изготовлении наногенератора, были бы нетоксичными, удобными для ношения и масштабируемыми. Обычные текстильные ткани с улучшенными трибоэлектрическими свойствами могут применяться для изготовления носимого ТЭНГ для сбора энергии движений человека. В этой работе мы разработали уникальную текстильную трибоэлектрическую пару путем химической модификации хлопчатобумажной ткани 3-аминопропилтриэтоксисиланом (АПТЭС) и перфтордецилтрихлорсиланом (ФДТС) для получения трибо-положительного и трибо-отрицательного материалов, соответственно. ТЭНГ, изготовленный из соответствующих материалов, демонстрирует значительный сбор трибоэлектрической энергии во время испытаний с двойным амплитудным напряжением около 4 В и током короткого замыкания 250 нА и, более того, мы продемонстрировали способность для зарядки конденсатора.

**Ключевые слова:** трибоэлектрический эффект, наногенератор, текстильный электрод, химическая модификация.

**Introduction.** Scientists and engineers have been devoting efforts towards the development of the new energy sources alternative to fossil fuels (Fan

et al., 2016). In recent years, mechanical energy harvesting has attracted attention not only to deal with the global energy crises, but also to develop energy supply for micro-sensors and portable personal electronic devices (Song et al., 2021, Wang, 2013). Several energy harvesting devices have been demonstrated to transform mechanical energy into the electrical energy based on different effects, including electromagnetic (Ahmad et al., 2018), piezoelectric (Manchi et al., 2021) and triboelectric (Wu et al., 2019) effects. Among these proposed technologies triboelectric nanogenerators (TENGs) based on triboelectric effect and electrostatic induction successfully demonstrate efficiency in transforming ambient mechanical energy into electrical energy. The TENG has demonstrated a collection of excellent merits such as a flexible structure, lightweight, environmental friendliness, relatively low cost, wide-range of materials choices and ability to drive low-power electronics via converting biomechanical energy into electricity (Lin et al., 2016).

**Materials and methods.** The conjunction of contact electrification and electrostatic induction is the basic principle behind the TENG and the primary model of TENG, made of two different materials separated by a gap can be considered as a capacitor with varying capacitance, was based on Maxwell's displacement current (Wang, 2017). Based on this principle, TENG operates in four different modes; generally, sliding motion and vertical contact-separation motion are two main motions that can be used in a TENG to convert mechanical energy into electrical energy (Figure 1) (Dharmasena et al., 2019). When two triboelectric materials with different electron affinities come into physical contact, tribo-charges are separated and transferred from one material to the other. The surface of the material with higher electron affinity becomes negatively charged, while the other surface becomes positively charged with an equal amount. When the two materials separate, the tribo-charges in the interfacial regions too are separated, inducing an electrical potential difference between electrodes, and driving free electrons to flow back and forth in the external circuit to maintain the electrostatic equilibrium.



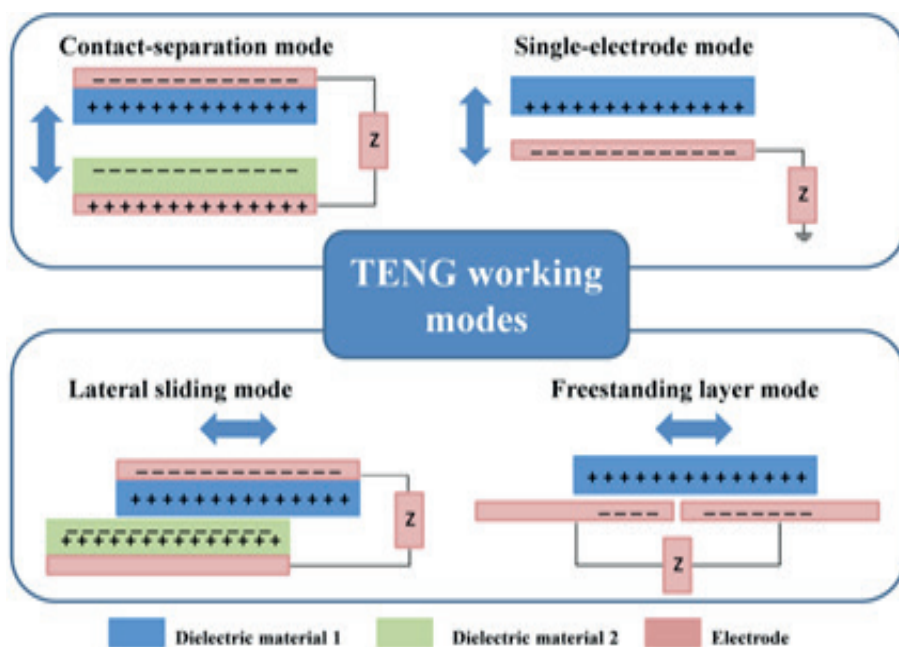


Figure 1. Four basic operation modes for TENG

The materials used as triboelectric layers are diverse and include natural and synthetic polymers, metals, and inorganic materials (Zhang et al., 2020). The material choices are of great importance for TENGs since the triboelectric effects of the materials are fundamental for TENGs. Higher output performance and additional functionalities can then be realized by physical and chemical modifications. Chemical modification of triboelectric layer surface has attracted interest because the modification can tune the surface triboelectricity, which can boost the output of the TENGs (Nurmakanov et al., 2021, Wang et al., 2020). This approach has great importance in future studies since it offers a way to tune the triboelectric effect of materials. Moreover, to design a TENG for a particular application, apart from choosing appropriate pair of materials, several parameters need to be considered, such as power density, stability, flexibility, wearability and sustainability.

In particular, a triboelectric textile can be a unique source of energy in which the energy can be harvested from human motions. Textile provides intrinsic porous structure and high surface roughness, traditionally used for protection, warming. Considering the rapid growth in small-scale portable and wearable electronics, realizing textiles with additional functionalities is of great significance, such as energy harvesting and energy storage. Several

approaches, such as nanopatterning and chemical modification, have been reported to transform various textiles into triboelectric materials (Liu et al., 2019, Zhang et al., 2016).

So far, many studies have mainly focused on coating fibers and textiles using PDMS and nanoparticles. However, these require multi-coating processes, complex procedures and special equipment, which limit their scalable production. In this work textile triboelectric nanogenerators based on cotton fabric were developed by using facial chemical functionalization process utilizing silane-based self-assembled monolayer (SAM) molecules. The triboelectric properties of the cotton cloth were modulated by introducing amino- and fluoro- groups on its surface. Moreover, textile conductive electrode based on Ppy was developed to realize fully textile TENGs. Chemical modulation was proven to improve the triboelectrification and thus output electrical signal. The proposed textile fabric TENG fabricated from modified cotton fabric demonstrated an electrical output while tapping with a human hand. The output electrical characteristics of TENGs with different tribo-pairs were examined, further the possibility of charging capacitor was shown which is vital for application.

**Experimental.** Design of the textile TENGs. The structure of the typical developed textile TENG is depicted in Figure 2. First, as triboelectric pair cotton and polyester fabrics were chosen, these fabrics were attached to a conductive textile electrode by using special adhesive textile glue. Then triboelectric fabrics with attached electrodes were stacked to arch-shaped polyethyleneterephthalate (PET) using double-sided adhesive tape.

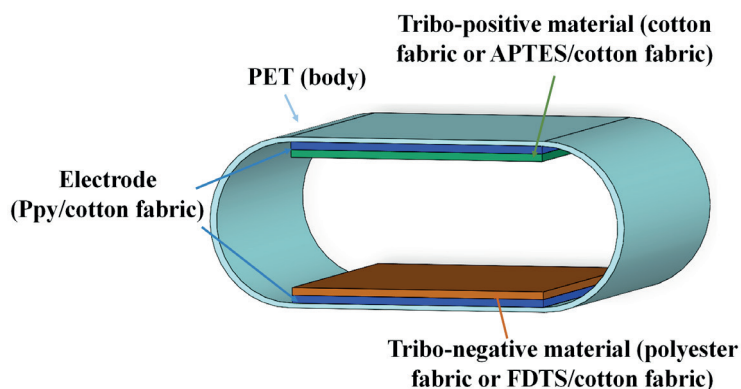


Figure 2. Schematic of the arch-shaped TENG

Conductive fabric electrode preparation. An experimental part of the conductive fabric electrode preparation has been carried out by the well-

known in situ polymerization process which is an easy, cost-effective, large-scale, single-step, and low-temperature process technique. The preparation of the conductive fibers has included fibers pretreatment (removing impurities) and polymerization. Here pristine cotton fabric was coated with Ppy by immersing fabrics in a 0.5 M pyrrole solution and then  $\text{FeCl}_3$ , p-toluene sulfonic acid were added to this solution. Subsequently, the resulting solution and the impregnated fabric were then left for 20 min at 0-4°C for polymerization. Subsequently, the cotton fabric was cleaned with deionized water and dried in an oven at 60°C for 2 h and then Ppy coated conductive cotton electrode was obtained.

Preparation of triboelectric materials.

Cotton fabric contains a cellulose content of up to 90%, thus, the hydroxyl groups of the cellulose in cotton can react with silanes that have different polarities, leading to materials that have different surface energies and tribo-polarities (positive or negative surfaces).

A facile method to transform cotton into positive and negative tribo-material was applied where the cleaned cotton fabric was soaked in 3-aminopropyltriethoxysilane (APTES)/isopropyl alcohol (5% v/v) in perfluorodecyltrichlorosilane (FDTS)/hexane solution (1%v/v), respectively, followed by rinsing it in isopropyl alcohol and drying in air.

Characterization and Measurements.

The morphology of the fibers was studied with scanning electron microscopy (Zeiss Crossbeam 540) and the surfaces of the silane grafted textiles were investigated using Fourier-transform infrared (FTIR) and X-ray photoelectron (XPS) spectroscopies.

The output short-circuit current and open-circuit voltage of the textile TENGs were measured by a Stanford low-noise current preamplifier (SR570) and a digital oscilloscope (Tektronix 2002C), respectively.

**Results and Discussion.** First, the surface morphology of the cotton fabric before and after coating with Ppy was investigated by using SEM. Figure 3a shows the SEM image of bare cotton fabric revealing that it was composed of the intertwined micro-fibrous framework. In contrary, SEM image of Ppy coated cotton fabric as shown in Figure 3b clearly demonstrated that the conducting polymer (i.e., Ppy) was grown on each micro-fiber and also indicated that the nanoparticles-like Ppy was uniformly distributed on the surface of micro-fiber. Such nano-architectures of Ppy on the micro-fibrous framework of cotton fabric can offer high conductivity for an electrode.

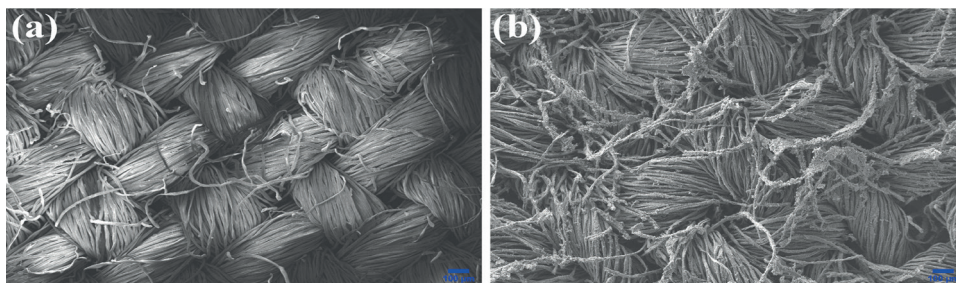


Figure 3. SEM images of the a) initial and b) coated with Ppy cotton fabric surfaces

Further, the surface morphologies of pristine cotton, APTES and FDTS grafted cotton fabrics were investigated by SEM as shown in Figure 4. Figure 4a shows the SEM images of cotton before grafting with silanes showing the intertwined micro-fibrous framework, but after treatment with APTES there is no big difference between the morphology of micro-fibrous framework of pristine and APTES-grafted cotton fabrics. However, after treating the cotton fabric with FDTS, the presence of fluoroalkylsiloxane film on the cotton fibers was clearly seen as demonstrated in Figure 4c.

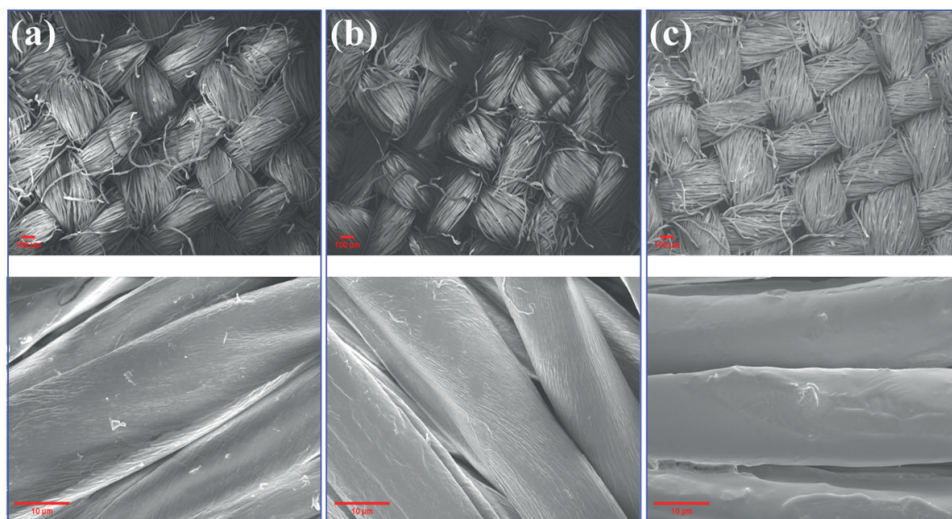


Figure 4. SEM images of a) pristine, b) 3-aminopropyltriethoxysilane (APTES) and c) perfluorodecyltrichlorosilane (FDTS) coated cotton fabric

Functional group modification of the cotton surface was investigated by Fourier transform infrared spectroscopy in attenuated total reflectance mode (ATR-FTIR) with a frequency range of  $500\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ . The ATR FTIR spectra of the pristine cotton fabric and functionalized with APTES and FDTS

fabric samples are presented in Figure 5. Pristine cotton and functionalized cotton spectra display the typical cellulose absorption bands at around 3280-3330  $\text{cm}^{-1}$  (OH stretching vibrations) which blurred the characteristic N-H asymmetric and symmetric vibrations in the primary amine group from the APTES. Stretching vibrations at around 2890  $\text{cm}^{-1}$  was attributed to  $-\text{CH}_2$  vibration, 1250-1470  $\text{cm}^{-1}$  (CH), and multiple peaks around 1025-1160  $\text{cm}^{-1}$  corresponds to C-O-C vibrations from cellulose absorption bands. The appearance of amine N-H bending vibration at 1571  $\text{cm}^{-1}$  present in the spectrum of APTES modified cotton fabric confirmed the presence of the APTES on the cotton fabric surface. On the other hand appearance of  $-\text{CF}$  stretching vibrations at 1141  $\text{cm}^{-1}$  in the spectrum of FDTS modified cotton fabric confirmed the presence of the FDTS on the cotton fabric surface.

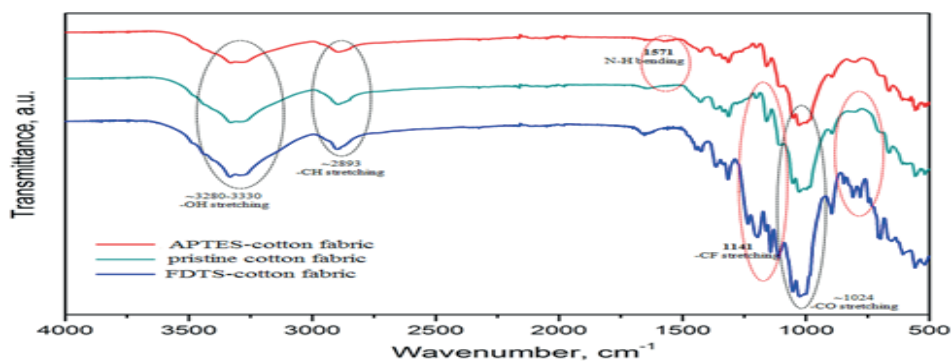


Figure 5. FTIR spectra of the pristine cotton fabric, APTES and FDTS functionalized cotton fabrics

Moreover, the surface elemental composition of APTES and FDTS functionalized cotton fabrics were investigated by XPS. Figure 6 depicts the wide-scan spectra of the functionalized with APTES and FDTS cotton fabrics. Bands at around 532.1, 399.8, 285 and 102.7 eV of APTES modified cotton fabric represent O1s, N1s, C1s and Si2p, respectively. The binding energy peaks for N1s and Si2p has shown the successful grafting of APTES on the cotton fabric surface. XPS spectrum of FDTS modified cotton revealed characteristic four bands at around 689, 533.1, 291.4 and 103.2 eV represent F1s, O1s, C1s and Si2p, respectively. The binding energy peaks for F1s and Si2p has shown the successful grafting of FDTS on the cotton fabric surface. Results of FTIR and X-ray photoelectron spectroscopies show that silanes were successfully introduced on the surface of cotton fabric.

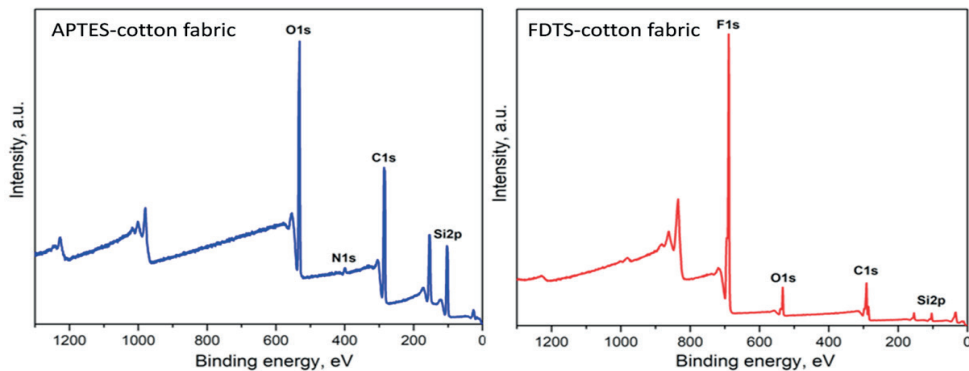


Figure 6. XPS survey spectra of functionalized with APTES and FDTS cotton fabrics

The output voltage and current of developed textile triboelectric nanogenerators are shown in Figure 7 and Figure 8, respectively. The output performance of TENGs fabricated from pristine polyester and cotton fabrics (polyester-cotton), i.e., without any chemical functionalization, APTES-cotton against polyester fabric (polyester-APTES/cotton) and APTES/cotton fabric - FDTS/cotton fabric was also measured. Here, the output peak-to-peak open-circuit ( $V_{oc}$ ) voltage of the TENG fabricated from pristine polyester and cotton fabrics was about 1.5 V, while TENG fabricated from APTES/cotton fabric and polyester fabric demonstrated a slightly higher output voltage close to 2.5 V. Notably, the combination of FDTS/cotton and APTES/cotton fabrics triboelectric pair exhibited the highest output voltage of 4 V.

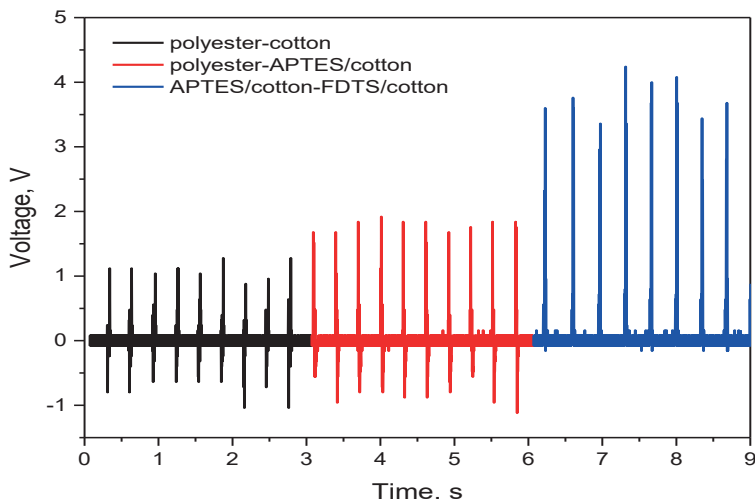


Figure 7. The output voltage of polyester-cotton, polyester-APTES/cotton fabric and APTES/cotton fabric-FDTS/cotton fabric-based TENGs

The peak-to-peak output current follows the same trend as the output voltage. The triboelectric nanogenerator constructed from the pair of pristine cotton and polyester fabric demonstrated the output short-circuit current ( $I_{sc}$ ) equal to 50 nA, whereas the TENG made of cotton modified by APTES and polyester showed higher output current compared to TENG based on pristine cotton and polyester fabrics and it was equal to 200 nA. The highest output current demonstrated the TENG where as tribo-surfaces served chemically functionalized cotton fabric. Particularly, the tribo-negative and tribo-positive surfaces obtained by FDTS and APTES functionalization of cotton, respectively. The corresponding TENG demonstrated the maximum peak-to-peak short-circuit output current of 250 nA. This enhanced electrical performance of APTES/cotton fabric-FDTS/cotton fabric TENG is due to chemical functionalization of the material, where the presence of amino- and fluoro- functional groups on the surface enhanced its triboelectric properties.

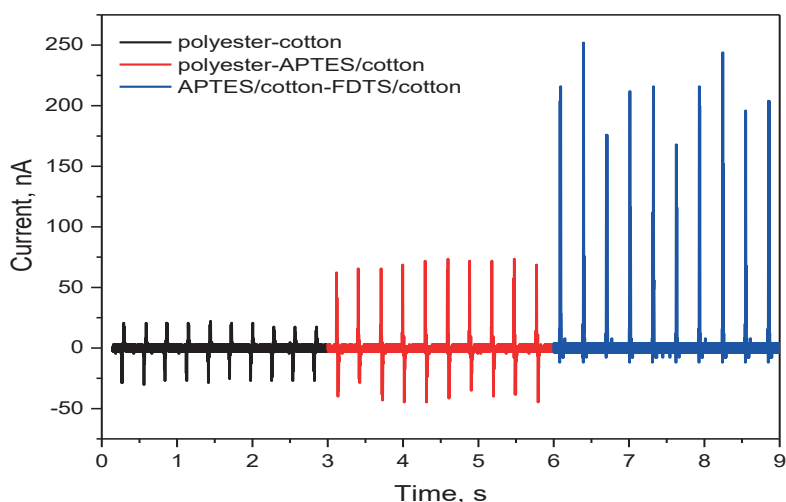


Figure 8. The output current of polyester-cotton, polyester-APTES/cotton fabric and APTES/cotton fabric-FDTS/cotton fabric-based TENGs

The electrical energy from the TENG is usually alternating, while a direct current is needed to derive most of the electronic devices. Hence, energy storage devices are required to store energy from the textile fabric TENG. The capability of the APTES/cotton fabric-FDTS/cotton fabric TENG to charge the capacitor is shown in Figure 9. Here, a circuit integrating the TENG with a full-wave bridge rectifier and a capacitor was constructed. The charge-discharge curve under periodic motion is illustrated in Figure 7a, where a  $0.1\mu\text{F}$  capacitor was charged up to about 0.7 V in 4.5 seconds.

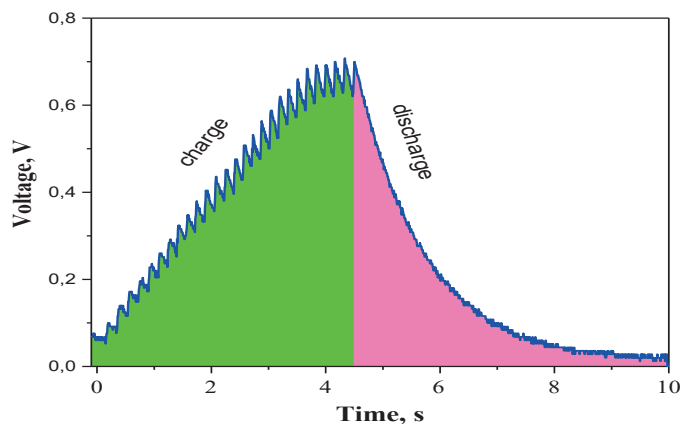


Figure 9. Charging a  $0.1 \mu\text{F}$  capacitor by APTES/cotton fabric-FDTS/cotton fabric TENG

The proposed TENG based on cotton fabric modified with APTES and FDTS proved to be a potential candidate for mechanical energy harvesting for small scale electronic applications. Furthermore, corresponding fabric TENG can be further studied to scavenge energy from different human parts.

**Conclusion.** In conclusion, an inexpensive and easily fabricated wearable TENG on the base of natural textile fabric functionalized with APTES and FDTS was demonstrated. Herein, the tribo-positive and tribo-negative surfaces were obtained by introducing functional groups containing amine and fluorine, respectively. Corresponding TENG exhibited maximum  $V_{oc}$  and  $I_{sc}$  values of 4 V and 250 nA, respectively. The developed TENG can be applied for upcoming wearable electronic applications because of its potential to harvest small mechanical energies of human motion.

**Acknowledgments.** This work was supported by the research grant AP08052143 “Development of wearable self-charging power unit” from the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

#### Information about the authors:

**Gulnur Kalimuldina** – PhD, Assistant Professor, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, School of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan. Tel. +77751445841, e-mail: gkalimuldina@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9185-3217>;

**Yerzhan Nurmakanov** – PhD, Research Assistant, School of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan. Tel.+77077564412, e-mail: yerzhan.nurmakanov@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0404-1833>;



**Roman Kruchinin** – MSc, Research Assistant, School of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan. Tel. +77029614113, e-mail: roman.kruchinin@alumni.nu.edu.kz.

## REFERENCES

- Ahmad I., Khan F.U. Multi-mode vibration based electromagnetic type micro power generator for structural health monitoring of bridges // *Sensors and Actuators A: Physical*. 2018, Vol. 278, P. 154-161. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2018.04.005>.
- Dharmasena R.D.I.G., Silva S.R.P. Towards optimized triboelectric nanogenerators // *Nano Energy*. 2019, Vol. 62, P. 530-549. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.05.057>.
- Fan F.R., Tang W., Wang Z.L. Flexible Nanogenerators for Energy Harvesting and Self-Powered Electronics // *Advanced Materials*. 2016, Vol. 28, P. 4283-4305. <https://doi.org/10.1002/adma.201504299>.
- Lin Z., Chen J., Yang J. Recent Progress in Triboelectric Nanogenerators as a Renewable and Sustainable Power Source // *Journal of Nanomaterials*. 2016, Vol. 2016, p. 5651613. <https://doi.org/10.1155/2016/5651613>.
- Liu J., Gu L., Cui N., Xu Q., Qin Y., Yang R. Fabric-based triboelectric nanogenerator // *Research*. 2019, Vol. 2019, p. 109163. <https://doi.org/10.34133/2019/1091632>.
- Manchi P., Graham S.A., Patnam H., Alluri N.R., Kim S.G., Yu S.J. LiTaO<sub>3</sub>-Based Flexible Piezoelectric Nanogenerators for Mechanical Energy Harvesting // *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2021, Vol. 13, P. 46526-46536. <https://doi.org/10.1021/acsaami.1c10116>.
- Nurmakanov Y., Kalimuldina G., Nauryzbayev G., Adair D., Bakenov Z. Structural and Chemical Modifications Towards High-Performance of Triboelectric Nanogenerators // *Nanoscale Research Letters*. 2021, Vol. 16, p. 122. <https://doi.org/10.1186/s11671-021-03578-z>.
- Song Y., Wang N., Hu C., Wang Z.L., Yang Y. Soft triboelectric nanogenerators for mechanical energy scavenging and self-powered sensor // *Nano Energy*. 2021, Vol. 84, p. 105919. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.105919>.
- Wang W., Yu A., Liu X., Liu Y., Zhang Y., Zhu Y., Lei Y., Jia M., Zhai J., Wang Z.L. Large-scale fabrication of robust textile triboelectric nanogenerator // *Nano Energy*. 2020, Vol. 71, p. 104605. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.104605>.
- Wang Z.L. On Maxwell's displacement current for energy and sensors: the origin of nanogenerator // *Materials Today*. 2017, Vol. 20, P. 74-82. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2016.12.001>.
- Wang Z.L. Triboelectric Nanogenerators as New Energy Technology for Self-Powered Systems and as Active Mechanical and Chemical Sensors. *ACS Nano*. 2013, Vol. 7, P. 9533-9557. <https://doi.org/10.1021/nn404614z>.
- Wu C., Wang A.C., Ding W., Guo H., Wang Z.L. Triboelectric Nanogenerator: A Foundation of the Energy for the New Era // *Advanced Energy Materials*. 2019, Vol. 9, p. 1802906. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2012.01.004>.
- Zhang L., Yu Y., Eyer G.P., Suo G., Kozik L.A., Fairbanks M., Wang X., Andrew T.L. All-Textile Triboelectric Generator Compatible with Traditional Textile Process // *Advanced Materials Technologies*. 2016, Vol. 1, p. 1600147. <https://doi.org/10.1002/admt.201600147>.
- Zhang R., Olin H. Material choices for triboelectric nanogenerators: A critical review // *EcoMat*. 2020, Vol. 2, p. e12062. <https://doi.org/10.1002/eom2.12062>.

## К 110-летию ученого

### У.М. АХМЕДСАФИН – ОСНОВАТЕЛЬ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКИ В КАЗАХСТАНЕ

**В.И. Данилов-Данильян**

Институт водных проблем РАН, член-корреспондент РАН

E-mail: [ellina.shamfarova@gmail.com](mailto:ellina.shamfarova@gmail.com)

У.М. Ахмедсафин – крупнейший ученый-энциклопедист, гидрогеолог, географ, эколог, Герой Социалистического Труда, пионер гидрогеологии в Казахстане, один из самых ярких представителей блестящей когорты ученых, с его именем связан расцвет казахстанской науки. Он является автором уникальной методики поиска подземных вод в зоне засушливых пустынь.

Его труды, научные открытия намного пережили ученого, и актуальность их в условиях дефицита пресной воды на планете чрезвычайно возрастает. Работая в сложных климатических условиях, он обследовал огромные пространства знойных песчаных пустынь Казахстана и Средней Азии, считавшиеся совершенно безводными, исходя из научных предпосылок, открыл многочисленные подземные моря, озера, реки, расшифровал и объяснил их происхождение, определил ресурсы и наметил широкие перспективы их использования на благо человечества.

После успешной защиты кандидатской диссертации в Московском геологоразведочном институте им. С. Орджоникидзе в 1940 году, по согласованию с вице-президентом АН СССР, академиком О.Ю. Шмидтом, был направлен в казахстанский филиал Академии наук СССР в г. Алма-Ате, где им впервые был создан Сектор гидрогеологии и инженерной геологии.

ВгодаВеликойОтечественнойвойны(1941-1945гг.)У.М.Ахмедсафин организовал и возглавил комплексную экспедицию в пустынные районы республики для выявления возможностей нахождения и содержания эвакуированных на восток заводов, предприятий и скота: предстояло выяснить, имеется ли в пустынях достаточное количество подземных вод. Оказалось, что в обследованных районах Южного Казахстана

песчаные пустыни не безводны и в них широко распространены доброкачественные подземные воды, пригодные для использования.

В 1947 г. У.М. Ахмедсафин защитил докторскую диссертацию в Москве. В 1951 году выпустил большую монографию «Подземные воды песчаных массивов южной части Казахстана». В этой работе и в ряде статей впервые в отечественной и зарубежной гидрогеологии всесторонне освещается инфильтрационное происхождение, накопление, распространение региональных ресурсов подземных вод, методов их определения. Выявленные при этом ресурсы доброкачественных подземных вод дали мощный импульс к развитию аридной гидрогеологии.

В годы освоения ценных земель У. Ахмедсафин возглавил гидрогеологические исследования в Северном Казахстане. Здесь были определены перспективные водоносные горизонты, содержащие значительные запасы подземных вод, за счет которых решена проблема водообеспечения 400 целинных совхозов, колхозов, многих районных центров, железнодорожных станций и т.д.

Более четверти века У. Ахмедсафин изучал глубинную гидрогеологию аридных районов. При этом им были установлены научные положения, имеющие первостепенное значение не только для Казахстана, но и для многих засушливых развивающихся стран. Они позволили ему впервые в истории гидрогеологических исследований у нас и за рубежом создать и опубликовать фундаментальные прогнозные карты артезианских бассейнов (с монографиями), выявить 70 артезианских бассейнов, оценить содержащиеся в них огромные вековые запасы доброкачественных подземных вод, равные 7,5 триллионам кубометров (соизмеримые с объемом 70-и озер Балхаш), ежегодно возобновляющиеся в размере 48 млрд.куб. метров.

В 1951 году У. Ахмедсафин избирается членом-корреспондентом, а в 1954 – академиком Академии наук Казахской ССР. В 1965 г. впервые организовал единственный в системе Академий наук СССР Институт гидрогеологии и гидрофизики.

Его крупные научные достижения позволили обеспечить подземной водой около 69 городов Казахстана, 4 тысячи населенных пунктов, обводнить 115 млн.га пастбищ, оросить до 60 тысяч га земель.

Обладая даром научного предвидения и большим практическим опытом, У. Ахмедсафин выступал против создания некоторых гидротехнических сооружений, могущих вызвать экологические катастрофы. Во многом его прогнозы подтвердились. Он единственный

не подписал заключение правительственной комиссии о строительстве Кызылкумского канала, т.к. это привело бы к уменьшению притока реки Сырдарья в Аральское море и тем самым способствовало бы усыханию Аральского моря.

Важным вопросом проблемы охраны окружающей среды была охрана озера Балхаш в связи со строительством Капчагайского водохранилища на реке Или. Строительство и забор значительного количества воды из реки Или на его заполнение могли привести озеро Балхаш к участу Аральского моря, т.е. к усыханию его крупной дельты. Ему потребовались большие усилия, научные доказательства, в том числе и на правительственном уровне, чтобы показать нецелесообразность строительства водохранилища и, уж во всяком случае не до проектной отметки. В результате удалось отстоять минимальную отметку заполнения водохранилища и нерасширения рисовых плантаций в низовьях реки Или. Таким образом удалось спасти озеро Балхаш хотя бы на период заполнения водохранилища.

Он также обосновал положение, что строительство гидротехнических сооружений на реках, протекающих в пустынных районах, может повлечь за собой усыхание водных бассейнов (озер), в которые они впадают. В зонах с повышенной сейсмической активностью – усиливать балльность землетрясений. В то же время правильное использование подземных вод в этих районах снижает балльность землетрясений.

У.М. Ахмедсафин являлся рьяным противником переброски Сибирских рек в Казахстан и Среднюю Азию. Совместными усилиями с учеными других Республик СССР принятие этого решения было приостановлено.

У.М. Ахмедсафин является основателем гидрогеологической науки и создателем школы аридной геологии в Казахстане. Им было подготовлено более 60 кандидатов и докторов наук. Кроме научной работы, занимался преподавательской деятельностью, заведовал кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии в Казахском горно-металлургическом институте. В 1949 году ему было присвоено звание профессора.

У.М. Ахмедсафин был государственным деятелем. В 1955-59 годах избирался депутатом и членом Президиума Верховного Совета Казахской ССР IV созыва.

В 1955-60 гг. У.М. Ахмедсафин был членом Гидрогеологической секции Национального комитета геологов ЮНЕСКО. Он неоднократно оказывал помощь через ЮНЕСКО в гидрогеологических исследованиях

во многих странах мира, в августе 1960 г. он сделал доклад на гидрогеологической секции Международного геологического конгресса в Копенгагене. В 1979 г. проводил международные курсы по линии ЮНЕП в Москве, Алма-Ате и Чимкенте по экологии пастбищ мира, на которых присутствовали представители африканских, арабских стран и Аргентины, неоднократно консультировал по вопросам орошения засушливых земель представителей Австралии, Израиля, Венгрии, Франции и Кувейта.

У.М. Ахмедсафин награжден многими правительственными наградами СССР. В 1969 году он был награжден высшей наградой СССР, ему было присвоено звание Героя Социалистического Труда.

У.М. Ахмедсафин опубликовал около 500 печатных работ: из них 18 монографий и 18 гидрогеологических карт.

Учитывая заслуги ученого, после его смерти его имя было присвоено созданному им Институту гидрогеологии и гидрофизики, одной из улиц Алма-Аты, учебному заведению на его родине в Северо-Казахстанской области.

100-летие ученого проводилось под эгидой ЮНЕСКО.

## Светлой памяти



### САДЫКОВОЙ АЛЛЫ БАЙСЫМАКОВНЫ

1 июля 2022 года на 76-м году жизни после непродолжительной болезни скончалась **Садыкова Алла Байсымаковна** – доктор физико-математических наук, академик Международной Евразийской академии наук (IEAS), заведующая лабораторией региональной сейсмичности ТОО Института сейсмологии МЧС Республики Казахстан.

Алла Байсымаковна – известный ученый, научный руководитель Программы «Оценка сейсмической опасности территорий областей и городов Казахстана на современной научно-методической основе», один из авторов карт сейсмического районирования территории Казахстана разной детальности и сейсмического микрорайонирования территории г. Алматы, входящих в перечень нормативных документов, регламентирующих проектирование и строительство в сейсмоактивных регионах Казахстана.

Алла Байсымаковна родилась в семье служащего в городе Шымкенте Южно-Казахстанской области 14 мая 1946 года, сразу после окончания Ленинградского вуза начала работать в секторе сейсмологии при Институте геологии Академии наук КазССР, на базе которого в 1976 г. был сформирован Институт сейсмологии. Здесь она защитила кандидатскую диссертацию в 1992 г., а затем в 2010 г. – докторскую на тему «Сейсмологические и геолого-геофизические основы вероятностной оценки сейсмической опасности Казахстана».

Алла Байсымаковна – автор более 160 научных и научно-методических работ, в т.ч. 7 монографий (в соавторстве) в области изучения особенностей проявления землетрясений, разработки методики долго- и среднесрочного прогноза землетрясений и оценки сейсмической опасности. Ее монография

«Сейсмическая опасность территории Казахстана» (Алматы, 2012, 267 с.) является фундаментальным трудом, где изложены результаты многолетних исследований особенностей сейсмичности и сейсмического режима территории Казахстана. Книга «Землетрясения Казахстана: причины, последствия и сейсмическая безопасность» (в соавторстве, Астана, 2019, 290 с.) является научно-популярным изданием о современном состоянии проблемы изучения землетрясений в Казахстане, где отмечены все трудности прогноза землетрясений и отведено место научным и общественным мерам противостояния стихии – сейсмозащите.

На протяжении многих лет Алла Байсымаковна была ученым секретарем межведомственной комиссии по прогнозу землетрясений и представляла нашу страну в международных организациях. Она активно сотрудничала со всеми сейсмологическими учреждениями, была членом различных республиканских комиссий, читала курс лекций по специальности «сейсмология» на кафедре геофизики КазНТУ им. Сатпаева. Ее неоднократные выступления по радио и телевидению, многочисленные интервью в средствах массовой информации были направлены на изложение знаний о землетрясениях – причинах их возникновения, связанных с ними опасностями, методах их изучения и возможностями прогноза.

Любовь к сейсмологии Алла Байсымаковна сохранила до конца жизни. До последнего дня она оставалась на работе, вкладывая в нее все физические и душевные силы, являя собой пример преданного и самоотверженного служения науке, высочайшей работоспособности и ответственности, целеустремленности, чуткости и бескорыстия, равнодушного отношения к любой жизненной ситуации. Заслуги Садыковой А.Б. отмечены медалью за вклад в науку в честь 30-летия Независимости РК, грамотами, дипломами.

Благодаря высоким профессиональным и личным качествам Алла Байсымаковна пользовалась безусловным авторитетом среди казахстанских и зарубежных специалистов. Она прожила достойную жизнь уважаемого человека, глубокого мыслителя и преданного своему делу ученого. Более 45 лет она была вместе с мужем Е.Т. Садыковым, имея сына и четверых внуков.

1 июля 2022 перестало биться сердце этой удивительной женщины, но в наших сердцах всегда будет жить светлая память о ней. Мы будем помнить Аллу Байсымаковну как глубоко интеллигентного, отзывчивого, жизнерадостного, необычайно деятельного человека и талантливого ученого. Ее уход – большая потеря для науки Казахстана. Аллы Байсымаковны Садыковой больше нет с нами. Но осталось ее богатейшее научное наследие, ученики, которые будут продолжать дело своего наставника. Осталась добрая память об этом светлом, душевно щедром человеке.

**От имени соратников и коллег по работе  
профессор А. Нурмагамбетов**

## МАЗМҰНЫ

## БИОТЕХНОЛОГИЯ

**Е. Битманов, А. Абжалелов, Л. Болуспаева**  
ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАН ТОПЫРАҒЫНДАҒЫ АУЫР  
МЕТАЛДАРДЫҢ МӨЛШЕРІ.....5

**К.К. Мамбетов, А.Ж. Божбанов, И.Б. Джакупова**  
ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІК ӨңІРІНДЕГІ СОРГО ҚАНТЫНЫҢ  
ӨНІМДІЛІГІНЕ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ЗАТТАР МЕН  
ТЫҢАЙТҚЫШТАРДЫҢ ӘСЕРІ.....15

**А.А. Нуржанова, А.Ю. Муратова, Р.Ж. Бержанова, V.V. Pidlisnyuk,  
А.С. Нурмагамбетова, А.А. Мамирова**  
РИЗОСФЕРАЛЫҚ МИКРООРГАНИЗМДЕР:  
ФИТОТЕХНОЛОГИЯНЫҢ ӨНІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ЖӘНЕ  
ОНЫҢ ТИІМДІЛІГІ.....34

**А.С. Соломенцева, А.В. Солонкин**  
RIBES AUREUM PURSH ТҮРЛЕРІНІҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ  
БИОЛОГИЯЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ ЖӘНЕ ҚҰРҒАҚ ЖАҒДАЙДА  
ЭКОНОМИКАЛЫҚ ҚҰНДЫЛЫҒЫ.....59

## ФИЗИКА

**Ш.С. Әлиев, Л.А. Қазымова**  
МҰНАЙ-ГАЗ АЙМАҒЫ ТОПЫРАҒЫНЫҢ ЛАСТАНУЫН  
ЭКОЛОГИЯЛЫҚ БАҒАЛАУ.....78

**У.К. Жапбасбаев, М.А. Пахомов, Д.Ж. Босинов**  
НЬЮТОН СҰЙЫҚТЫҒЫНЫҢ ТҮТҚЫР ПЛАСТИКАЛЫҚ  
КҮЙГЕ АУЫСУЫ.....92

**А.Б. Жумагельдина, Н.С. Серікбаев, Д.Е. Балтабаева**  
ИНТЕГРАЛДЫҚ СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС КАВАХАРА ТЕНДЕУІ  
ҮШІН СОЛИТОНДЫҚ ШЕШІМДЕРДІ ҚҰРУ.....103



**Г.С. Калимулдина, Е.Е. Нурмаканов, Р.П. Кручинин**  
МОДИФИЦИРЛЕНГЕН ТОҚЫМА МАТА НЕГІЗІНДЕГІ КИЛЕТІН  
ТРИБОЭЛЕКТРЛІК НАНОГЕНЕРАТОР.....119

**Ж.С. Мұстафаев**  
ӨЗЕНДЕРДІҢ АЛАБЫНДАҒЫ ЖЕР ҮСТІ СУЛАРЫНЫҢ САПАСЫН  
ТАБИҒИ ЖҮЙЕНІҢ ФИЗИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ  
КӨРСЕТКІШТЕРІН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ БОЛЖАУ.....132

**О.И. Соколова, Б.Т. Жумабаев, Г.В. Бурлаков, О.Л. Качусова**  
АЛМАТЫ ГЕОМАГНИТТИ ОБСЕРВАТОРИЯСЫНЫҢ  
1963-2021 ЖЫЛДАР АРАЛЫҒЫНДАҒЫ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША  
ГЕОМАГНИТТИ ӨРІС ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ  
УАҚЫТ ӨЗГЕРІСТЕРІНДЕГІ ЖАЛПЫ КӨРІНІСІ.....145

**В. М. Терещенко**  
8<sup>m</sup>-10<sup>m</sup> СПЕКТРОФОТОМЕТРЛІК СТАНДАРТТАР. V. +61°, +20°  
және -16° аумақтары.....156

## **ҒАЛЫМНЫҢ 110 ЖЫЛДЫҚ МЕРЕЙТОЙЫНА**

**В.И. Данилов-Данилян**  
У. М. АХМЕДСАФИН – ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ГИДРОГЕОЛОГИЯ  
ҒЫЛЫМЫНЫҢ НЕГІЗІН ҚАЛАУШЫ.....168

## **ҒАЛЫМДЫ ЕСКЕ АЛУ**

АЛЛА БАЙСЫМАҚЫЗЫ САДЫҚОВАНЫҢ жарқын бейнесі.....172

**СОДЕРЖАНИЕ****БИОТЕХНОЛОГИЯ**

**Е. Битманов, А. Абжалелов, Л. Болуспаева**  
СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ  
ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА.....5

**К.К. Мамбетов, А.Ж. Божбанов, И.Б. Джакупова**  
ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ  
ВЕЩЕСТВ НА УРОЖАЙНОСТЬ САХАРНОГО СОРГО  
В ЮЖНОМ РЕГИОНЕ КАЗАХСТАНА.....15

**А.А. Нуржанова, А.Ю. Муратова, Р.Ж. Бержанова, V.V. Pidlisnyuk,  
А.С. Нурмагамбетова, А.А. Мамирова**  
РИЗОСФЕРНЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ: ПОВЫШЕНИЕ  
ПРОДУКТИВНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ФИТОТЕХНОЛОГИИ.....34

**А.С. Соломенцева, А.В. Солонкин**  
ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И  
ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЦЕННОСТЬ ВИДА RIBES AUREUM PURSH.  
В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ.....59

**ФИЗИКА**

**Ч.С. Алиев, Л.А. Казымова**  
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ  
НЕФТЕГАЗОВОЙ ЗОНЫ.....78

**У.К. Жапбасбаев, М.А. Пахомов, Д.Ж. Босинов**  
ПЕРЕХОД НЬЮТОНОВСКОЙ ЖИДКОСТИ  
В ВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ.....92

**А.Б. Жумагельдина, Н.С. Серикбаев, Д.Е. Балтабаева**  
ПОСТРОЕНИЕ СОЛИТОНОВ ДЛЯ ИНТЕГРИРУЕМОГО  
НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ КАВАХАРЫ.....103

**Г.С. Калимулдина, Е.Е. Нурмаканов, Р.П. Кручинин**  
НОСИМЫЙ ТРИБОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАНОГЕНЕРАТОР НА  
ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ТКАНИ.....119

**Ж.С. Мустафаев**  
ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД РЕЧНЫХ  
БАССЕЙНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЗИЧЕСКИХ И  
ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ.....132

**О.И. Соколова, Б.Т. Жумабаев, Г.В. Бурлаков, О.Л. Качусова**  
ОБЩАЯ КАРТИНА ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ  
ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО ДАННЫМ АЛМАТИНСКОЙ  
ГЕОМАГНИТНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ЗА ПЕРИОД  
1963–2021 ГГ. ....145

**В.М. Терещенко**  
СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ СТАНДАРТЫ 8m-10m.  
V. ЗОНЫ  $+61^{\circ}$ ,  $+20^{\circ}$  и  $-16^{\circ}$  .....156

### **К 110-ЛЕТИЮ УЧЕНОГО**

**В.И. Данилов-Данильян**  
У.М. АХМЕДСАФИН – ОСНОВАТЕЛЬ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ  
НАУКИ В КАЗАХСТАНЕ.....168

### **ПАМЯТИ УЧЕНОГО**

Светлой памяти САДЫКОВОЙ АЛЛЫ БАЙСЫМАКОВНЫ.....172

## CONTENTS

### BIOTECHNOLOGY

**Ye. Bitmanov, A. Abzhalelov, L. Boluspayeva**  
THE CONTENT OF HEAVY METALS IN THE SOIL OF CENTRAL KAZAKHSTAN.....5

**K.K. Mambetov, A.Zh Bozhbanov, I.B. Dzhakupova**  
INFLUENCE OF FERTILIZERS AND BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES ON YIELD OF SUGAR SORGO IN THE SOUTHERN REGION OF KAZAKHSTAN.....15

**A. Nurzhanova, A. Muratova, R. Berzhanova, V. Pidlisnyuk, A. Nurmagambetova, A. Mamirova**  
RHIZOSPHERE MICROORGANISMS: INCREASING PHYTOTECHNOLOGY PRODUCTIVITY AND EFFICIENCY – A REVIEW.....34

**A. Solomentseva, A. Solonkin**  
ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND ECONOMIC VALUE OF THE SPECIES RIBES AUREUM PURSH. IN ARID CONDITIONS.....59

### PHYSICAL SCIENCES

**Ch.S. Aliyev, L.A. Kazimova**  
ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF SOIL CONTAMINATION OF THE OIL AND GAS ZONE INDUSTRY ZONE.....78

**U. Zhapbasbayev, M. Pakhomov, D. Bossinov**  
TRANSITION OF A NEWTONIAN FLUID TO A VISCOPLASTIC STATE.....92

**A.B. Zhumageldina, N.S. Serikbayev, D.E. Baltabayeva**  
CONSTRUCTION OF SOLITONS FOR INTEGRABLE NONLINEAR KAWAHARA EQUATION.....103

**G.S. Kalimuldina, Y.Y. Nurmakanov, R.P. Kruchinin**  
MODIFIED TEXTILE FABRIC-BASED WEARABLE  
TRIBOELECTRIC NANOGENERATOR.....119

**Zh.S. Mustafayev**  
FORECAST OF SURFACE WATER QUALITY IN RIVER BASINS  
USING PHYSICAL AND CHEMICAL INDICATORS OF NATURAL  
SYSTEMS.....132

**O.I. Sokolova, B.T. Zhumabaev, G.V. Burlakov, O.L. Kachusova**  
THE GENERAL PICTURE OF CHANGES IN THE GEOMAGNETIC  
FIELD PARAMETERS ACCORDING TO THE ALMATY  
GEOMAGNETIC OBSERVATORY FOR THE PERIOD  
1963-2021.....145

**V.M. Tereschenko**  
SPECTROPHOTOMETRIC STANDARDS 8<sup>m</sup>- 10<sup>m</sup>. V. ZONES +61°,  
+20° and -16° .....156

#### **TO THE 110-TH ANNIVERSARY OF THE SCIENTIST**

**V.I. Danilov-Danilyan**  
U.M. AKHMEDSAFIN – FOUNDER OF HYDROGEOLOGICAL  
SCIENCE IN KAZAKHSTAN.....168

#### **IN MEMORY OF SCIENTISTS**

Bright memory of SADYKOVA ALLA BAYSYMAKOVNA.....172

## **Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the originality detection service Cross Check <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

**[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)**

**ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)**

**<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>**

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*  
Заместитель директор отдела издания научных журналов НАН РК *Р. Жәліқызы*

Редакторы: *М.С. Ахметова, Д.С. Аленов*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 10.10.2022.

Формат 60x88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Печать - ризограф.

11,5 п.л. Тираж 300. Заказ 3.