

**Открывая новые страницы
физической химии
гидрофильных полимеров:
к 70-летию профессора
Саркыта Елекеновича
Кудайбергенова**

В.В. Хуторянский

Редингская школа фармации,
Университет Рединга,
Рединг, Великобритания
E-mail: v.khutoryanskiy@reading.ac.uk

Данная статья посвящена 70-летию юбилею выдающегося казахстанского химика – профессора Кудайбергенова Саркыта Елекеновича. Профессор Кудайбергенов С.Е. внес существенный вклад в исследования синтетических и природных полиэлектролитов, их комплексов с различными веществами, полимерных гидрогелей, стимул-чувствительных материалов, наночастиц и нанокompозитов, а также в работы по использованию различных полимерных материалов и коллоидных систем в качестве катализаторов, реагентов специального назначения и систем доставки лекарств. В статье приведены основные сведения биографического характера, показывающие становление Кудайбергенова С.Е. как ученого, а также рассматриваются его основные научные достижения в области физической химии гидрофильных полимеров и коллоидных систем. Осуществлен обзор наиболее известных работ профессора Кудайбергенова С.Е., опубликованных в журналах, индексируемых Web of Knowledge. Кроме того, приведены сведения о работе профессора Кудайбергенова С.Е. над проектами, финансируемыми различными организациями, членстве в редакционных коллегиях журналов, организации Института Полимерных Материалов и Технологий, участии в работе в диссертационных советах, а также подготовке многочисленных учеников.

Ключевые слова: Кудайбергенов С.Е.; полиэлектролиты; полиамфолиты; полимерные комплексы; наночастицы; гидрогели.

**Гидрофильді полимерлер
физикалық химиясының
жаңа көкжиегіне көз
жүгірту: Сарқыт Елекенұлы
Құдайбергеновтың 70
жылдық мерейтойы
қарсаңында**

В.В. Хуторянский

Рединг қаласының Фармациялық
мектебі, Рединг Университеті,
Рединг, Ұлыбритания
E-mail: v.khutoryanskiy@reading.ac.uk

Бұл мақала аса көрнекті химик – профессор Сарқыт Елекенұлы Құдайбергеновтың 70 жылдық мерейтойына арналған. Мақалада С.Е. Құдайбергеновтың өмірбаяны туралы ақпаратпен қоса, оның гидрофильді полимерлер мен коллоидты жүйелердің физикалық химиясы саласындағы негізгі ғылыми жетістіктері баяндалады. Талдауға профессор С.Е. Құдайбергеновтың Web of Knowledge басылымдарында жарық көрген аса көрнекті мақалалары негіздеме болған. Жасанды және табиғи полиэлектролиттер, олардың әр түрлі заттармен комплекстері, полимерлік гидрогельдер, стимул-сезімтал материалдар, нанобөлшектер, нанокompозиттер, сонымен қатар әр түрлі полимерлік материалдармен қоса коллоидты жүйелердің катализаторлар, дәрі-дәрмекті тасымалдайтын және жер асты мұнайын ығыстырып шығаратын арнайы реагенттер ретінде қолданылатын зерттеулерге қосқан үлесі тілге етілген. Мақалада профессор С.Е. Құдайбергеновтың көптеген жобалары, журналдар алқасының мүшелігі, өзі ұйымдастырған Полимер материалдары және технологиялары институтының жетістіктері, диссертациялық кеңестердегі еңбегі, дайындаған оқушылары туралы ақпарат берілген. Келтірілген фотолар С.Е. Құдайбергеновтың көптеген шет елдік ғалымдармен байланысының куәсі ретінде қарастырылған.

Түйін сөздер: Құдайбергенов С.Е.; полиэлектролиттер; полиамфолиттер; полимерлік комплекстер; нанобөлшектер; гидрогельдер.

**Exploring new avenues
in physical chemistry of
hydrophilic polymers: to
the 70th anniversary of
Professor Sarkyt Elekenovich
Kudaibergenov**

V.V. Khutoryanskiy

Reading School of Pharmacy, University of
Reading, Reading, United Kingdom
E-mail: v.khutoryanskiy@reading.ac.uk

This paper is dedicated to 70th anniversary of the prominent Kazakh chemist – professor Sarkyt Elekenovich Kudaibergenov. The information of biographical nature, showing the development of S.E. Kudaibergenov as a scientist, as well as his main research contributions to the field of physical chemistry of hydrophilic polymers and colloidal systems are presented in this paper. This is written in the form of a review of the most important and prominent publications of Prof S.E. Kudaibergenov, published in the journals indexed by Web of Knowledge. Professor S.E. Kudaibergenov has made a substantial contribution to the studies of synthetic and natural polyelectrolytes, their complexes with different compounds, polymeric hydrogels, stimuli-responsive materials, nanoparticles and nanocomposites, as well as applications of different polymeric materials and colloidal systems as catalysts, specialty chemicals, and drug delivery systems. This paper also includes information about the research conducted by Professor S.E. Kudaibergenov on various projects, funded by different organisations, his membership in different journals' editorial boards, his role in the establishment of the Institute of Polymer Materials and Technologies, his participation in research councils and committees, as well as supervision of numerous students and researchers. The paper includes some photographs of Professor S.E. Kudaibergenov with several international collaborators.

Keywords: Kudaibergenov S.E.; polyelectrolytes; polyampholytes; polymeric complexes; nanoparticles; hydrogels.



CHEMICAL BULLETIN

of Kazakh National University

<http://bulletin.chemistry.kz/>



<https://doi.org/10.15328/cb1179>

Открывая новые страницы физической химии гидрофильных полимеров: к 70-летию профессора Саркыта Елекеновича Кудайбергенова

В.В. Хуторянский

Reading School of Pharmacy, University of Reading, Whiteknights, PO Box 224, Reading RG66DX, United Kingdom
E-mail: v.khutoryanskiy@reading.ac.uk

*Мы никогда не прекратим научный поиск,
Но в конце любого исследования обнаруживаем,
Что вернулись к точке старта,
И познаем это место заново.*

*“Четыре квартета”
Т.С. Элиот, выпускник Гарварда,
Лауреат Нобелевской премии*

20 мая 2021 года многочисленные ученики и коллеги будут праздновать 70-летний юбилей выдающегося казахстанского химика – профессора Кудайбергенова Саркыта Елекеновича (рисунок 1).

Кудайбергенов С.Е. – признанный в мире специалист в области физической химии полимеров, доктор химических наук (1991), профессор (1994), лауреат Государственной премии КазССР в области науки и техники (1987 г.), лауреат премии «Парасат», как наиболее публикуемый и

цитируемый казахстанский автор за рубежом (2010 г.). Награжден нагрудным знаком МОН РК «За заслуги в развитии науки Республики Казахстан» (2012 г.), юбилейной медалью «85 лет КазНТУ им. К.И. Сатпаева» (2019 г.), лауреат премии имени К.И. Сатпаева «За лучшее научное исследование в области естественных наук» (2019 г.), обладатель Государственной научной стипендии для учёных и специалистов, внёсших выдающийся вклад в развитие науки и техники (2020 г.).



Рисунок 1 – Проф. С.Е. Кудайбергенов

Кудайбергенов С.Е. окончил химический факультет Казахского Государственного университета им. С.М. Кирова в 1973 году по специальности «Физическая химия». В том же году он поступил на работу инженером в лабораторию физико-химических методов исследования, а с 1976 по 1980 работал стажером-исследователем КазГУ. В эти годы он занимался исследованием низкотемпературных зон горения углеводородов, что привело к его первой серьезной публикации [1]. В 1980 он переходит на работу в Институт химических наук АН РК в лабораторию физической химии полимеров, где под руководством академика Бектурова Е.А. (рисунок 2) занимается исследованиями гидродинамических и конформационных свойств полиэлектролитов [2,3].

В 1980 Кудайбергеновым С.Е. была защищена диссертация на тему «Гидродинамические свойства полиэлектролитов на основе винилэтилпиперидолов-4» на соискание ученой степени кандидата химических наук. После защиты диссертации, ученый расширяет круг своих научных интересов и занимается исследованиями взаимодействий полиэтиленгликолей с ионами щелочных металлов и тиоцианатами аммония [4], каталитическими свойствами комплексов поливинилпиридинов с палладием [5], амфотерными свойствами интерполиэлектролитных комплексов [6], а также исследованиями полимер-металлических комплексов [7]. В Институте химических наук Кудайбергенов С.Е. проработал с 1980 по 1993 годы в качестве младшего, старшего и ведущего научного сотрудника. В 1991 году им была защищена докторская диссертация на тему «Реакции комплексо-



Рисунок 2 – С академиком НАН РК Е.А. Бектуровым

образования с участием синтетических полиамфолитов» в МГУ имени М.В. Ломоносова, а в 1994 он получил ученое звание профессора. Часть результатов его докторской диссертации были опубликованы в виде обзора в журнале «Успехи химии» [8], в котором отражено впервые обнаруженное им явление «изоэлектрического эффекта» выталкивания в области изоэлектрической точки полиамфолитов (рисунок 3).

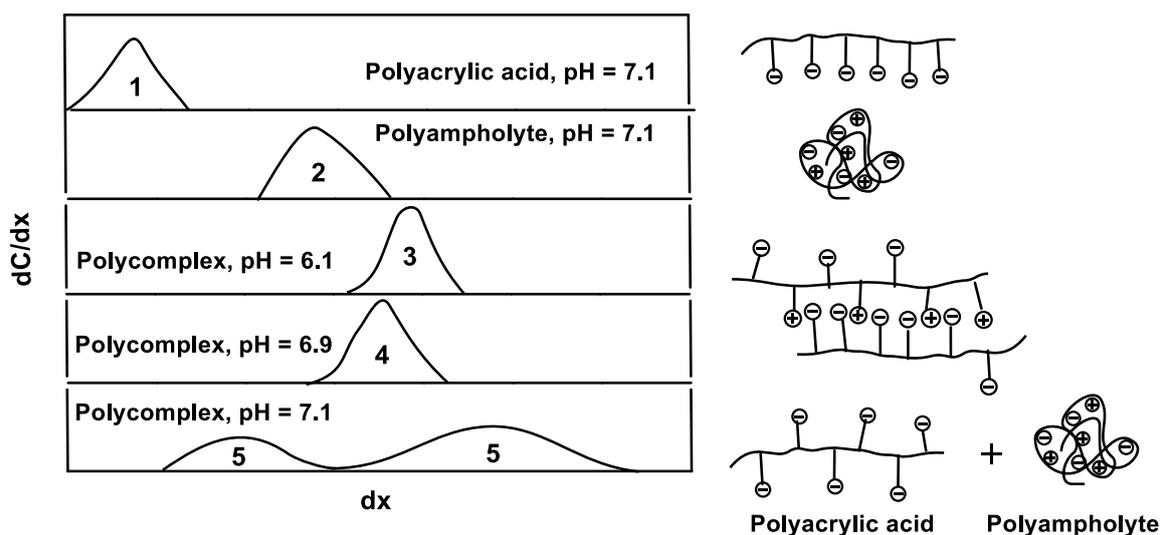


Рисунок 3 – Седиментограммы полиакриловой кислоты (1), полиамфолита (2) и комплексов полиамфолит-полиэлектролит (3, 4) при различных значениях pH среды и проявление «изоэлектрического эффекта» для поликомплекса полиамфолит-полиэлектролит (5) в изоэлектрической точке полиамфолита при pH 7.1. Перепечатано из Russ. Chem. Rev. 1991, 60 (4), 410–419 [8].

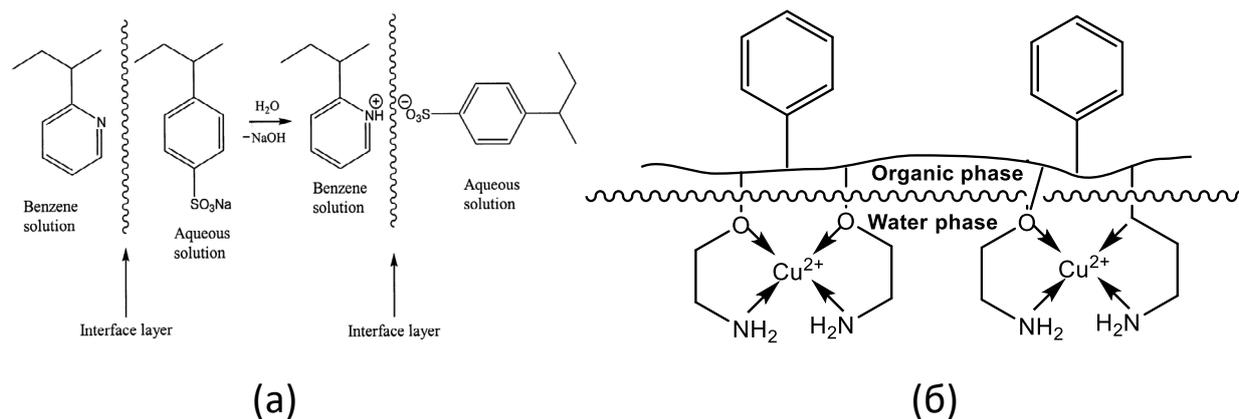


Рисунок 4 – Формирование бислоиных интерполиэлектролитных (а) и полимерметаллических комплексов (б) на границе раздела фаз двух несмешивающихся жидкостей. Рисунок (а) перепечатан из [9] с разрешения John Wiley and Sons.

В эти годы Кудайбергеновым С.Е. также было впервые показано образование полиэлектролитных комплексов в виде мембран и пленок на границе раздела фаз двух несмешивающихся жидкостей [9,10] (рисунок 4). Впоследствии получение тонких полиэлектролитных пленок получило бурное развитие при формировании мультислойных (layer-by-layer) мембран и пленок с участием противоположно-заряженных полиэлектролитов.



Рисунок 5 – Профессора С.Е. Кудайбергенов и Е. Tsuchida в Японии

В 1993 году он становится начальником отдела химии НИИ Эргономики с ОКБ Министерства образования РК, а с 1994 по 1996 – заместителем главного ученого секретаря и начальником управления международных связей Президиума НАН РК. Существенную роль в становлении Кудайбергенова С.Е. как ученого международного уровня сыграла его трехмесячная стажировка в Национальном Научном Фонде США в 1995 году, где он ознакомился с грантовой системой финансирования науки и стал сертифицированным менеджером науки.

В 1996-1998 гг. Кудайбергенов С.Е. работает профессором КазГУ им. аль-Фараби, где инициирует исследования стимул-чувствительного поведения некоторых водорастворимых сополимеров и их гидрогелей [11], интерполиэлектролитных комплексов [12], интерполимерных комплексов стабилизированных системой водородных связей [13], а также полимерных пленок на их основе [14]. В 1998 проф. Кудайбергенов С.Е. провел 3 месяца в Waseda University (Япония) в научной группе проф. E. Tsuchida в качестве приглашенного профессора (рисунок 5), где занимался исследованиями ионной проводимости гелей на основе поли(дивинилового эфира диэтиленгликоля) в смесях с перхлоратом лития [15].

В 1999 году проф. Кудайбергенов С.Е. организовал и возглавил частное учреждение «Институт полимерных материалов и технологий» (ЧУ ИПМТ) (www.ipmt.kz). Параллельно, в 2001-2004 гг., он также работал заместителем директора по научной работе НТЦ АО «КазТрансОйл» и АО «Казахский институт нефти и газа», в 2005-2019 гг. – профессором кафедры химии и экспертизы Семипалатинского государственного университета им. Шакарима, а также в 2008-2020 гг. – руководителем лаборатории инженерного профиля Казахского Национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева. В 2002-2003 проф. Кудайбергенов С.Е. также плодотворно работал в Kwangju

Institute of Science and Technology (Южная Корея) в качестве приглашенного профессора, где занимался синтезом и исследованием новых поликарбосибетаинов на основе (алкил)аминокротонатов [16]. Находясь в Институте науки и технологии Квангжу, он подготовил трех магистров наук из Университета Монпелье (Франция) и Университета Сеула (рисунок 6).

В настоящий момент, Кудайбергенов С.Е. продолжает возглавлять ЧУ ИПМТ и успешно занимается научной работой со своими многочисленными учениками и коллегами. За годы существования Института ученым было опубликовано множество высокорейтинговых публикаций в различных направлениях полимерной и коллоидной химии. Особо хочется отметить такие работы, как исследование комплексообразования катионных полиэлектролитов с ДНК [17], получение полимерных пленок на границе несмешивающихся жидкостей [18], теоретические исследования образования солевых связей в цепях полиамфолитов [19], разработку полимерных композиций как структурирующих агентов для предотвращения миграции радионуклидов и для их извлечения из почв [20,21], получение полимер-протектированных и гель-иммобилизованных наночастиц металлов и исследования их каталитических свойств [22,23] в качестве проточных каталитических реакторов (рисунок 7), синтез и исследования макропористых криогелей [24], синтез гидрофобно-модифицированных полимеров и гидрогелей [25], исследования по применению водорастворимых полисахаридов в нефтедобыче [26], а также создание полимерных систем доставки лекарств [27,28].

Помимо процитированных выше работ, проф. Кудайбергеновым С.Е. в соавторстве было опубликовано 18 монографий на русском, польском и английском языках,



Рисунок 6 – Профессор С.Е. Кудайбергенов с магистрантами Университета Монпелье Gregory Huyghe и Julia Mouton в Южной Корее

свыше 400 научных публикаций, в том числе 17 обзорных статей, 11 глав книг, 145 научных статей, опубликованных на английском языке в международных реферируемых журналах. В 2002 и 2021 гг. он опубликовал фундамен-

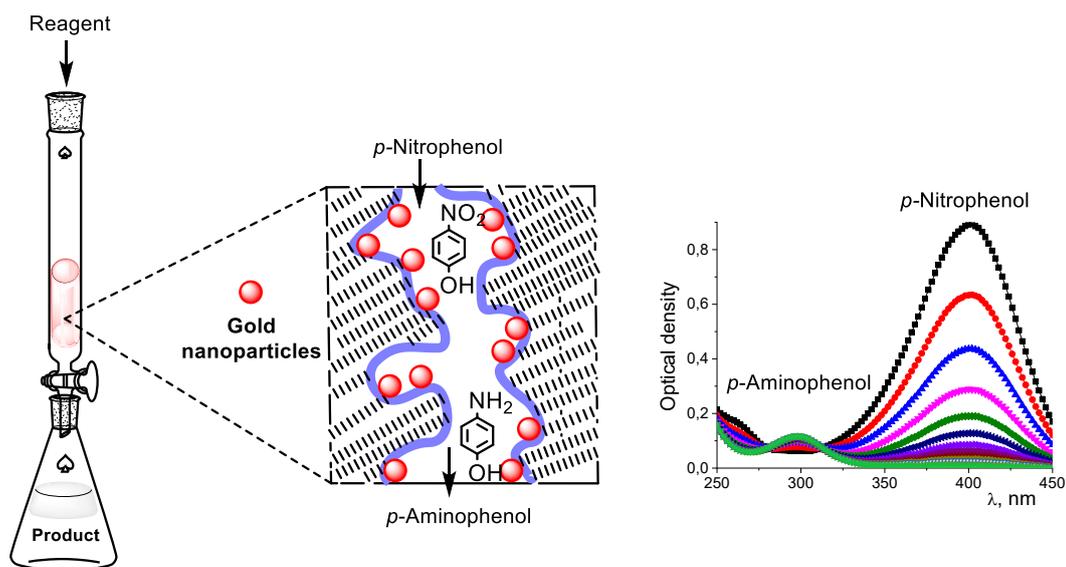


Рисунок 7 – Схема проточного каталитического реактора с криогель-иммобилизованными наночастицами золота

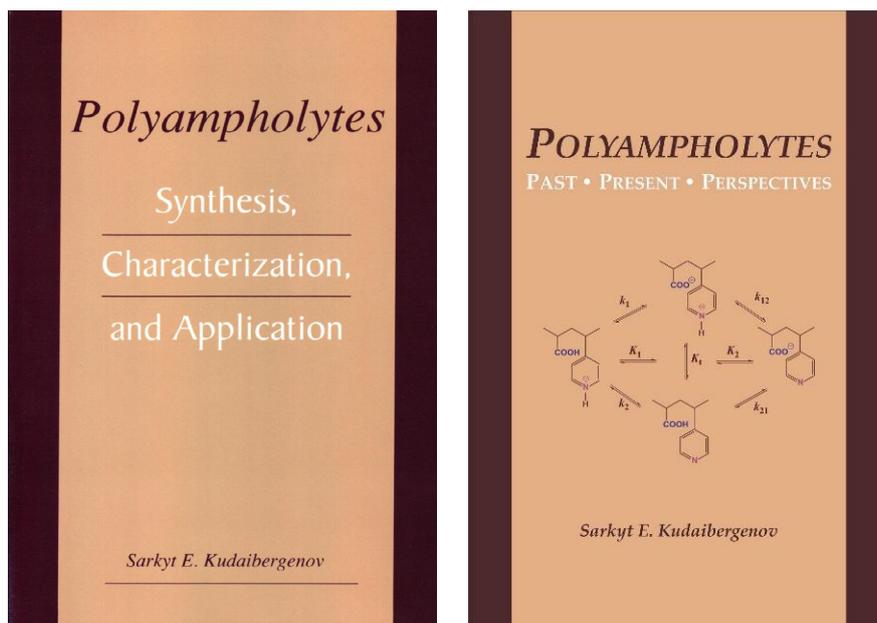


Рисунок 8 – Обложки монографий «Polyampholytes: Synthesis, Characterization and Application» и «Polyampholytes: Past, Present, Perspectives», опубликованных в издательстве «Springer» и казахстанском издательстве

тальные монографии “Polyampholytes: Synthesis, Characterization and Application” в издательстве «Springer» и “Polyampholytes: Past, Present, Perspectives” в казахстанском издательстве (рисунок 8).

Согласно данным базы «Web of Science, Clarivate Analytics», Кудайбергенов С.Е. занимает лидирующую позицию в мире по числу публикаций по направлению «Полиамфолиты». Проф. Кудайбергенов С.Е. является одним из наиболее высокоцитируемых ученых Казахстана, согласно базе данных Scopus его общая цитируемость превышает 1880 и индекс Хирша составляет 20.

Помимо научной работы, проф. Кудайбергенов С.Е. всегда уделял подготовке научных кадров. Под его руководством защищены одна докторская, 9 кандидатских и 3 PhD диссертаций. Он является членом диссертационного совета КазНУ им. аль-Фараби по наноматериалам и нанотехнологии (2013-2021 гг.) и председателем диссертационного совета КазНУ имени К.И. Сатпаева по специальности «Химическая технология органических веществ» (2019-2021 гг.). Он также является членом редколлегии журналов «Вестник Карагандинского университета, Серия химическая», «Евразийский химико-технологический журнал», а также гостевым редактором специального выпуска «Advanced Technologies in Polymer-Protected and Gel-Immobilized Nanocomposites» (https://www.mdpi.com/journal/polymers/special_issues/adv_tech_poly_gel_nano) и членом Международных Оргкомитетов IUPAC (ИЮПАК) “MacroMolecular Complexes (MMC)” и “Macro- and Supramolecular Architectures and Materials” (MAM).

Кудайбергенов С.Е. является обладателем международных грантов фонда Сороса (1994), ИНТАС - Казахстан (1995, 2004), открытого конкурса ИНТАС (1997, 1999, 2001), ИНТАС-Арал (2003), в 2011-2014 гг. – руководителем Международного проекта НАТО «Устойчивый менеджмент токсичных загрязнителей в Центральной Азии: от региональной модели экосистемы до безопасности окружающей среды». В 2012-2015 гг. он руководил проектом коммерциализации «Разработка и внедрение технологии полимерного заводнения для увеличения нефтеотдачи пластов», а также 6 проектами, финансируемыми по гранту МОН РК (2009-2020 гг.). Помимо этого, проф. Кудайбергенов являлся соруководителем двух совместных проектов между РК и КНР (2015-2016, 2018-2019 гг.), а в настоящее время он является участником Международного проекта Европейского Союза «Горизонт-2020» (2019-2022 гг.). В 2002-2019 гг. ученый организовал восемь международных семинаров, посвященных полимерам специального назначения.

Сведения о научно-педагогической деятельности Кудайбергенова С.Е. опубликованы в энциклопедии «Алматы» (1996, с.188), справочнике «Кто есть кто в казахстанской науке» (1999, с.493), а также в таких изданиях, как «Қазақ Энциклопедиясы» (2005, т.6, с.93), «Жүзден жүйрік, мыңнан тұлпар» (изд. КазНУ, 2009), «Нефть и Газ» (2011, №3, с.145), «История Казахстана: преподавание в школе» (2011, №5, с.38-40), «Macromolecular Chemistry and Physics» (2011, v.212, Issue 10, p.1086-1087), «Наша Элита» (изд. «Қазақ университеті», 2014, т.2., с.298-299), Polymers for Advanced Technologies (2020, DOI: 10.1002/pat.5156).

Литература

- 1 Ksandopulo G.I., Sagindykov A.A., Kudaibergenov S.E., Mansurov Z.A. Low-temperature zone of the front of hydrocarbon flames: V. profiles of the concentrations of atomic hydrogen and peroxide radicals at the front of propane-air flames // *Combustion, Explosion and Shock Waves*. – 1975. – Vol.11(6). – P.714-719.
- 2 Bekturov E.A., Shajakhmetov S.S., Kudaibergenov S.E. Hydrodynamic properties of poly-1,2,5-trimethyl- and 2,5-dimethyl-4-vinylethylpyrrolidol-4 hydrochlorides in solution // *Polymer*. – 1980. - Vol.21, Is.7. - P.787-790.
- 3 Кудайбергенов С.Е., Шаяхметов Ш.Ш., Бектуров Е.А., Рафиков С.Р. О гидродинамических свойствах амфотерных сополимеров // *Доклады Академии Наук СССР*. – 1979. – Т.246. – С.147-149.
- 4 Bekturov E.A., Kudaibergenov S.E., Ushanov V.Z., Saltybaeva S.S. Interaction of poly (ethylene glycol) with thiocyanates of alkali metals and ammonium // *Die Makromolekulare Chemie, Rapid Communications*. – 1985. - Vol.6, Is.7. - P.515-519.
- 5 Bekturov E.A., Kudaibergenov S.E., Sokolskii D.V., Zharmagametova A.K. Poly (2-vinylpyridine) complexes of palladium as catalysts of unsaturated alcohol hydrogenation // *Die Makromolekulare Chemie, Rapid Communications*. – 1986. – Vol.7, Is.4. - P.187-191.
- 6 Koetz J., Philipp B., Sigitov V., Kudaibergenov S., Bekturov E.A. Amphoteric character of polyelectrolyte complex particles as revealed by isotachopheresis and viscometry // *Colloid and Polymer Science*. – 1988. – Vol.266, Is.10. - P.906-912.
- 7 Bekturov E.A., Kudaibergenov S.E., Kanapyanova G.S., Saltybaeva S.S. Mössbauer spectroscopic studies of complexes of Fe (III) with nitrogen containing polymers // *Polymer Journal*. – 1991. – Vol.23, Is.4. – P.339-342.
- 8 Bekturov E.A., Kudaibergenov S.E., Rafikov S.R. The properties of solutions and complex formation reactions of amphoteric polyelectrolytes // *Russian Chemical Reviews*. – 1991. – Vol.60, Is.4. – P.410-419.
- 9 Kudaibergenov S.E., Khamzamalina R.E., Bekturov E.A., Bimendina L.A., Frolova V.A., Askarova M.Zh. Polyelectrolyte complex formation on a dimeric interface // *Macromolecular Rapid Communications*. – 1994. – Vol.15. – P.943-947.
- 10 Bimendina L.A., Bekturov E.A., Kudaibergenov S.E. Polymer complexes at interfaces // *Journal of Macromolecular Science Part C*. – 2003. – Vol.43, Is.11. – P.27-44.
- 11 Kudaibergenov S.E., Nurkeeva Z.S., Mun G.A., Ermukhambetova B.B., Nam I.K., Temperature-responsive swelling and deswelling of the copolymers from vinyl ether of ethylene-glycol and butyl vinyl ether // *Macromolecular Rapid Communications*. – 1995. – Vol.16, Is.11. – P.855-860.
- 12 Kudaibergenov S.E., Nurkeeva Z.S., Sigitov V.B., Akimbekova K.Z., Ushanov V.Z. Interpolyelectrolyte complexes of poly[4-(but-3-en-1-ynyl)-1-methylpiperidin-4-ol] with poly(carboxylic acids) // *Macromolecular Chemistry and Physics*. – 1997. – Vol.198, Is.1. – P.183-191.
- 13 Kudaibergenov S.E., Nurkeeva Z.S., Mun G.A., Ermukhambetova B.B., Akbauova A.T. Interpolymer complexes of (co)poly(vinyl ethers) of glycols and poly(carboxylic acids) // *Macromolecular Chemistry and Physics*. – 1995. – Vol.196, Is.7. – P.2203-2209.
- 14 Kudaibergenov S.E., Nurkeeva Z.S., Mun G.A., Khutoryanskiy V.V., Gazizov A.D., Design of composite films and ultrathin membranes of interpolymer complexes // *Polymers for Advanced Technologies*. – 2000. – Vol.11, Is.1. – P.15-19.
- 15 Kudaibergenov S.E., Miyatake K., Takeoka S., Tsuchida E., Bekturov E.A. Ion-conductivity of gels based on poly(divinyl ether of diethyleneglycol) and lithium perchlorate // *Eurasian Chemico-Technological Journal*. – 2004. – Vol.6. – P.285-291.
- 16 Noh J.G., Sung Y.I., Geckeler K.E., Kudaibergenov S.E. Synthesis, characterization, and stimuli-sensitive properties of novel polycarbobetaines // *Polymer*. – 2005. – Vol.46. – P.2183-2190.
- 17 Izumrudov V.A., Zhiryakova M.V., Kudaibergenov S.E. Controllable stability of DNA-containing polyelectrolyte complexes in water-salt solutions // *Biopolymers*. – 1999. – Vol.52, Is.2. – P.94-108.
- 18 Gazizov A.D., Zhumadilova G.T., Bimendina L.A., Kudaibergenov S.E. Interpolymer complexes of some vinyl copolymers in a solution and on the boundary of two liquid phases // *Polymer*. – 2000. – Vol.41, Is.15. - P.5793-5797.
- 19 Moldakarimov S.B., Kramarenko E.Yu., Khokhlov A.R., Kudaibergenov S.E. Formation of salt bonds in polyampholyte chains // *Macromol Theory and Simulations*. – 2001. – Vol.10, Is.8. – P.780-788.
- 20 Orazzhanova L.K., Yashkarova M.G., Bimendina L.A., Kudaibergenov S.E. Binary and ternary polymer–strontium complexes and the capture of radioactive strontium-90 from the polluted soil of the Semipalatinsk nuclear test site // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2003. – Vol.87, Is.5. – P.759-764.
- 21 Kudaibergenov S.E., Bimendina L.A., Yashkarova M.G., Orazzhanova L.K. Application of interpolymer complexes of novel poly(ampholyte-electrolyte) as soil structuring agents and for extraction of radioactive strontium // *Research Journal of Chemistry and Environment*. – 2006. – Vol.10, Is.2. – P.2-4.
- 22 Dolya N., Rojas O., Kosmella S., Tiersch B., Koetz J., Kudaibergenov S. “One-Pot” *in situ* formation of gold nanoparticles within poly(acrylamide) hydrogels // *Macromolecular Chemistry and Physics*. – 2013. – Vol.214, Is.10. – P.1114-1121.
- 23 Kudaibergenov S., Dauletbekova M., Toleutay G., Kabdrakhmanova S., Seilkhanov T., Abdullin Kh. Hydrogenation of *p*-nitrobenzoic acid by gold and palladium nanoparticles immobilized within macroporous amphoteric cryogels in aqueous solution // *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. – 2018. – Vol.28. – P.2427-2438.
- 24 Kudaibergenov S.E., Tatykhanova G.S., Klivenko A.N. Complexation of macroporous amphoteric cryogels based on *n,n*-

dimethylaminoethylmethacrylate and methacrylic acid with dyes, surfactant, and protein // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2016. – Vol.133. – P.43784-43784.

25 Toleutay G., Su E., Kudaibergenov S., Okay O. Highly stretchable and thermally healable polyampholyte hydrogels via hydrophobic modification // *Colloid and Polymer Science*. – 2020. – Vol.298, Is.3. – P.273-284.

26 Kudaibergenov S., Nuraje N., Adilov Zh., Abilkhairov D., Ibragimov R., Gusenov I., Sagindykov A. Plugging behavior of gellan in porous saline media // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2015. – Vol.132, Is.2. – P.1-10.

27 Abilova G.K., Kaldybekov D.B., Irmukhametova G.S., Kazybayeva D.S., Iskakbayeva Zh.A., Kudaibergenov S.E., Khutoryanskiy V.V. Chitosan/poly (2-ethyl-2-oxazoline) films with ciprofloxacin for application in vaginal drug delivery // *Materials (Basel)*. – 2020. – Vol.13, Is.7. – P.1709.

28 Agibayeva L.E., Kaldybekov D.B., Porfiryeva N.N., Garipova V.R., Mangazbayeva R.A., Moustafine R.I., Semina I.I., Mun G.A., Kudaibergenov S.E., Khutoryanskiy V.V. Gellan gum and its methacrylated derivatives as *in situ* gelling mucoadhesive formulations of pilocarpine: in vitro and in vivo studies // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2020. – Vol.577. – ID.119093.

References

- 1 Ksandopulo GI, Sagindykov AA, Kudaibergenov SE, Mansurov ZA (1975) *Combustion, Explosion and Shock Waves* 11(6):714-719. <https://doi.org/10.1007/BF00744767>
- 2 Bekturov EA, Shajakhmetov SS, Kudaibergenov SE (1980) *Polymer* 21:787-790. [https://doi.org/10.1016/0032-3861\(80\)90297-9](https://doi.org/10.1016/0032-3861(80)90297-9)
- 3 Kudaibergenov SE, Shayakhmetov SS, Bekturov YA, Rafikov SR (1979) Reports of the USSR Academy of Sciences [Doklady Akademii Nauk SSSR] 246:147-149.
- 4 Bekturov EA, Kudaibergenov SE, Ushanov VZ, Saltybaeva SS (1985) *Die Makromolekulare Chemie, Rapid Communications* 6:515-519. <https://doi.org/10.1002/marc.1985.030060711>
- 5 Bekturov EA, Kudaibergenov SE, Sokolskii DV, Zharmagametova AK (1986) *Die Makromolekulare Chemie, Rapid Communications* 7:187-191. <https://doi.org/10.1002/marc.1986.030070405>
- 6 Koetz J, Philipp B, Sigitov V, Kudaibergenov S, Bekturov EA (1988) *Colloid Polym Sci* 266:906-912. <https://doi.org/10.1007/BF01410845>
- 7 Bekturov EA, Kudaibergenov SE, Kanapyanova GS, Saltybaeva SS (1991) *Polym J* 23:339-342. <https://doi.org/10.1295/polymj.23.339>
- 8 Bekturov EA, Kudaibergenov SE, Rafikov SR (1991) *Russ Chem Rev* 60:410-419.
- 9 Kudaibergenov SE, Khamzamalina RE, Bekturov EA, Bimendina LA, Frolova VA, Askarova MZh (1994) *Macromol Rapid Comm* 15:943-947. <https://doi.org/10.1002/marc.1994.030151206>
- 10 Bimendina LA, Bekturov EA, Kudaibergenov SE (2003) *J Macromol Sci-Pol R* 43:27-44. <https://doi.org/10.1081/MC-120018020>
- 11 Kudaibergenov SE, Nurkeeva ZS, Mun GA, Ermukhambetova BB, Nam IK (1995) *Macromol Rapid Comm* 16:855-860. <https://doi.org/10.1002/marc.1995.030161112>
- 12 Kudaibergenov SE, Nurkeeva ZS, Sigitov VB, Akimbekova KZ, Ushanov VZ (1997) *Macromol Chem Phys* 198:183-191. <https://doi.org/10.1002/macp.1997.021980114>
- 13 Kudaibergenov SE, Nurkeeva ZS, Mun GA, Ermukhambetova BB, Akbauova AT (1995) *Macromol Chem Phys* 196:2203-2209. <https://doi.org/10.1002/macp.1995.021960710>
- 14 Kudaibergenov SE, Nurkeeva ZS, Mun GA, Khutoryanskiy VV, Gazizov AD (2000) *Polym Advan Technol* 11:15-19. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1581\(200001\)11:1%3C15::AID-PAT925%3E3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1581(200001)11:1%3C15::AID-PAT925%3E3.0.CO;2-P)
- 15 Kudaibergenov SE, Miyatake K, Takeoka S, Tsuchida E, Bekturov EA (2004) *Eurasian Chemico-Technological Journal* 6:285-291.
- 16 Noh JG, Sung YI, Geckeler KE, Kudaibergenov SE (2005) *Polymer* 46:2183-2190. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2005.01.005>
- 17 Izumrudov VA, Zhiryakova MV, Kudaibergenov SE (1999) *Biopolymers* 52:94-108. [https://doi.org/10.1002/1097-0282\(1999\)52:2%3C94::aid-bip3%3E3.0.co;2-o](https://doi.org/10.1002/1097-0282(1999)52:2%3C94::aid-bip3%3E3.0.co;2-o)
- 18 Gazizov AD, Zhumadilova GT, Bimendina LA, Kudaibergenov SE (2000) *Polymer* 41:5793-5797. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(99\)00767-3](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(99)00767-3)
- 19 Moldakarimov SB, Kramarenko EYu, Khokhlov AR, Kudaibergenov SE (2001) *Macromol Theor Simul* 10:780-788. [https://doi.org/10.1002/1521-3919\(20011001\)10:8%3C780::AID-MATS780%3E3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/1521-3919(20011001)10:8%3C780::AID-MATS780%3E3.0.CO;2-Q)
- 20 Orazzhanova LK, Yashkarova MG, Bimendina LA, Kudaibergenov SE (2003) *J Appl Polym Sci* 87:759-764. <https://doi.org/10.1002/app.11435>
- 21 Kudaibergenov SE, Bimendina LA, Yashkarova MG, Orazzhanova LK (2006) *Res J Chem Environ* 10:2-4.
- 22 Dolya N, Rojas O, Kosmella S, Tiersch B, Koetz J, Kudaibergenov S (2013) *Macromol Chem Phys* 214:1114-1121. <https://doi.org/10.1002/macp.201200727>
- 23 Kudaibergenov S, Dauletbekova M, Toleutay G, Kabdrakhmanova S, Seilkhanov T, Abdullin Kh (2018) *J Inorg Organomet Polym* 28:2427-2438. <https://doi.org/10.1007/s10904-018-0930-8>

- 24 Kudaibergenov SE, Tatykhanova GS, Klivenko AN (2016) J Appl Polym Sci 133:43784-43784. <https://doi.org/10.1002/app.43784>
- 25 Toletay G, Su E, Kudaibergenov S, Okay O (2020) Colloid Polym Sci 298:273-284. <https://doi.org/10.1007/s00396-020-04605-8>
- 26 Kudaibergenov S, Nuraje N, Adilov Zh, Abilkhairov D, Ibragimov R, Gusenov I, Sagindykov A (2015) J Appl Polym Sci 132:1-10. <https://doi.org/10.1002/app.41256>
- 27 Abilova GK, Kaldybekov DB, Irmukhametova GS, Kazybayeva DS, Iskakbayeva ZhA, et al (2020) Materials (Basel) 13:1709. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fma13071709>
- 28 Agibayeva LE, Kaldybekov DB, Porfiryeva NN, Garipova VR, Mangazbayeva RA, et al (2020) Int J Pharmaceut 577:119093. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.119093>