

ISSN 2518-1491 (Online),
ISSN 2224-5286 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Д.В. Сокольский атындағы
«Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
АО «Институт топлива, катализа и
электрохимии им. Д.В. Сокольского»

N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
JSC «D.V. Sokolsky institute of fuel,
catalysis and electrochemistry»

SERIES
CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
1 (454)

JANUARY – MARCH 2023

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының президенті, АҚ «Д.В. Сокольский атындағы отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) Н = 4

Редакция алқасы:

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мынжасарұлы (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» Халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) Н = 11

АГАБЕКОВ Владимир Енокович (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі, Жаңа материалдар химиясы институтының құрметті директоры (Минск, Беларусь) Н = 13

СТРНАД Мирослав, профессор, Чехия ғылым академиясының Эксперименттік ботаника институтының зертхана меңгерушісі (Оломоуц, Чехия) Н = 66

БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ-дың бірінші проректоры (Алматы, Қазақстан) Н = 11

ХОХМАНН Джудит, Сегед университетінің Фармацевтика факультетінің Фармакогнозия кафедрасының меңгерушісі, Жаратылыстану ғылымдарының пәнаралық орталығының директоры (Сегед, Венгрия) Н = 38

РОСС Самир, PhD докторы, Миссисипи университетінің Өсімдік өнімдерін ғылыми зерттеу ұлттық орталығы, Фармация мектебінің профессоры (Оксфорд, АҚШ) Н = 35

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, философия докторы (PhD, фармацевт), Рединг университетінің профессоры (Рединг, Англия) Н = 40

ТЕЛТАЕВ Бағдат Бұрханбайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Қазақстан Республикасы Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігі (Алматы, Қазақстан) Н = 13

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

ФАЗЫЛОВ Серік Драхметұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Органикалық синтез және көмір химиясы институты директорының ғылыми жұмыстар жөніндегі орынбасары (Қарағанды, Қазақстан) Н = 6

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробекқызы, химия ғылымдарының докторы, профессор, Қырғызстан ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА Химия және химиялық технология институты (Бішкек, Қырғызстан) Н = 4

ХАЛИКОВ Джурабай Халикович, химия ғылымдарының докторы, профессор, Тәжікстан ҒА академигі, В.И. Никитин атындағы Химия институты (Душанбе, Тәжікстан) Н = 6

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджидоглы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҰҒА академигі (Баку, Әзірбайжан) Н = 13

ГАРЕЛИК Хемда, философия докторы (PhD, химия), Халықаралық таза және қолданбалы химия одағының Химия және қоршаған орта бөлімінің президенті (Лондон, Англия) Н = 15

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы»

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.) Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № **KZ66VPY00025419** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *органикалық химия, бейорганикалық химия, катализ, электрохимия және коррозия, фармацевтикалық химия және технологиялар.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Тиражы: 300 дана.

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

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arithv>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2023

Редакцияның мекенжайы: 050100, Алматы қ., Қонаев к-сі, 142, «Д.В. Сокольский атындағы отын, катализ және электрохимия институты» АҚ, каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail: orgcat@nursat.kz

Типографияның мекен-жайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Мұратбаев көш., 75.

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, президент Национальной академии наук Республики Казахстан, генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (Алматы, Казахстан) Н = 4

Редакционная коллегия:

АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан) Н = 11

АГАБЕКОВ В ладимир Енокович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН Беларуси, почетный директор Института химии новых материалов (Минск, Беларусь) Н = 13

СТРНАД Мирослав, профессор, заведующий лабораторией института Экспериментальной ботаники Чешской академии наук (Оломоуц, Чехия) Н = 66

БУРКИТБАЕВ Мухамбеткали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, Первый проректор КазНУ имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н = 11

ХОХМАНН Джудит, заведующий кафедрой Фармакогнозии Фармацевтического факультета Университета Сегеда, директор Междисциплинарного центра естественных наук (Сегед, Венгрия) Н = 38

РОСС Самир, доктор PhD, профессор Школы Фармации национального центра научных исследований растительных продуктов Университета Миссисипи (Оксфорд, США) Н = 35

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, доктор философии (Ph.D, фармацевт), профессор Университета Рединга (Рединг, Англия) Н = 40

ТЕЛЬГАЕВ Багдат Бурханбайулы, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН РК, Министерство Индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан (Алматы, Казахстан) Н = 13

ФАРУК Асана Дар, профессор колледжа Восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет Восточной медицины университета Хамдарда (Карачи, Пакистан) Н = 21

ФАЗЫЛОВ Серик Драхметович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, заместитель директора по научной работе Института органического синтеза и углехимии (Караганда, Казахстан) Н = 6

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробековна, доктор химических наук, профессор, академик НАН Кыргызстана, Институт химии и химической технологии НАН КР (Бишкек, Кыргызстан) Н = 4

ХАЛИКОВ Джурабай Халикович, доктор химических наук, профессор, академик АН Таджикистана, Институт химии имени В.И. Никитина АН РТ (Душанбе, Таджикистан) Н = 6

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджид оглы, доктор химических наук, профессор, академик НАНА (Баку, Азербайджан) Н = 13

ГАРЕЛИК Хемда, доктор философии (Ph.D, химия), президент Отдела химии и окружающей среды Международного союза чистой и прикладной химии (Лондон, Англия) Н = 15

«Известия НАН РК. Серия химии и технологий».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (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 № KZ66VPY00025419, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *органическая химия, неорганическая химия, катализ, электрохимия и коррозия, фармацевтическая химия и технологии.*

Периодичность: 4 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

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

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/archiv>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2023

Адрес редакции: 050100, г. Алматы, ул. Кунаева, 142, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail: orgcat@nursat.kz

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

Editor in chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, president of NAS RK, general director of JSC "Institute of fuel, catalysis and electrochemistry named after D.V. Sokolsky (Almaty, Kazakhstan) H = 4

Editorial board:

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich (deputy editor-in-chief) doctor of chemical sciences, professor, academician of NAS RK, director of the international Scientific and production holding «Phytochemistry» (Karaganda, Kazakhstan) H = 11

AGABEKOV Vladimir Enokovich (deputy editor-in-chief), doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Belarus, honorary director of the Institute of Chemistry of new materials (Minsk, Belarus) H = 13

STRNAD Miroslav, head of the laboratory of the institute of Experimental Botany of the Czech academy of sciences, professor (Olomouc, Czech Republic) H = 66

BURKITBAYEV Mukhambetkali, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, first vice-rector of al-Farabi KazNU (Almaty, Kazakhstan) H = 11

HOHMANN Judith, head of the department of pharmacognosy, faculty of Pharmacy, university of Szeged, director of the interdisciplinary center for Life sciences (Szeged, Hungary) H = 38

ROSS Samir, Ph.D., professor, school of Pharmacy, national center for scientific research of Herbal Products, University of Mississippi (Oxford, USA) H = 35

KHUTORYANSKY Vitaly, Ph.D., pharmacist, professor at the University of Reading (Reading, England) H = 40

TELTAYEV Bagdat Burkhanbayuly, doctor of technical sciences, professor, corresponding member of NAS RK, ministry of Industry and infrastructure development of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan) H = 13

PHARUK Asana Dar, professor at Hamdard al-Majid college of Oriental medicine. faculty of Oriental medicine, Hamdard university (Karachi, Pakistan) H = 21

FAZYLOV Serik Drakhmetovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, deputy director for institute of Organic synthesis and coal chemistry (Karaganda, Kazakhstan) H = 6

ZHOROBEKOVA Sharipa Zhorobekovna, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Kyrgyzstan, Institute of Chemistry and chemical technology of NAS KR (Bishkek, Kyrgyzstan) H = 4

KHALIKOV Jurabay Khalikovich, doctor of chemistry, professor, academician of the academy of sciences of Tajikistan, institute of Chemistry named after V.I. Nikitin AS RT (Tajikistan) H = 6

FARZALIEV Vagif Medzhid ogly, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Azerbaijan (Azerbaijan) H = 13

GARELIK Hemda, PhD in chemistry, president of the department of Chemistry and Environment of the International Union of Pure and Applied Chemistry (London, England) H = 15

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of chemistry and technology.

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (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. **KZ66VPY00025419**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *organic chemistry, inorganic chemistry, catalysis, electrochemistry and corrosion, pharmaceutical chemistry and technology.*

Periodicity: 4 times a year.

Circulation: 300 copies.

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

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2023

Editorial address: JSC «D.V. Sokolsky institute of fuel, catalysis and electrochemistry», 142, Kunayev str., of. 310, Almaty, 050100, tel. 291-62-80, fax 291-57-22, e-mail: orgcat@nursat.kz

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

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC
OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

<https://doi.org/10.32014/2023.2518-1491.156>

Volume 1, Number 454 (2023) 168-182

UDC 573.6.086.83:637.5:577.151.33(063)

© **S. Fazylov^{1*}, O. Nurkenov¹, A. Sarsenbekova², A. Iskineyeva³,
A. Mendibaeva¹, 2023**

¹Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry, Karaganda, Kazakhstan;

²Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov,
Karaganda, Kazakhstan;

³S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, Kazakhstan;
E-mail: iosu8990@mail.ru

**THERMAL DECOMPOSITION OF INCLUSION COMPLEXES RETINOL
ACETATE WITH β -CYCLODEXTRINS**

Fazylov Serik — academician of the National Academy of the Republic of Kazakhstan. Doctor of Chemical Sciences. Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry. 100008. Karaganda, Kazakhstan
E-mail: iosu8990@mail.ru. ORCID: 0000-0002-4240-6450;

Nurkenov Oralgazy — doctor of Chemical Sciences. Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry. 100008. Karaganda, Kazakhstan
E-mail: nurkenov_oral@mail.ru. ORCID: 0000-0003-1878-2787;

Sarsenbekova Akmaral — PhD, assoc. Professor. Karagandy University of the name of academician E.A. Buketov. 100024. Karaganda, Kazakhstan
E-mail: chem_akmaral@mail.ru. ORCID: 0000-0002-8951-3616;

Iskineyeva Ainara — PhD student. S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University. 010000. Astana, Kazakhstan
E-mail: iskeneeva_aynara@mail.ru. ORCID: 0000-0002-1705-6372;

Mendibaeva Anel — PhD student. Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry. 100008. Karaganda, Kazakhstan
E-mail: anenyawa@mail.ru. ORCID: 0000-0001-6123-3340.

Abstract. This paper presents the results of thermogravimetric analysis of the kinetics of the processes of thermal destruction of clathrate complexes of vitamin A inclusion (VitA, retinol acetate) with known oligomers of natural starch – β -cyclodextrin (β -CD) and 2-hydroxypropyl- β -cyclodextrin (2-GP- β -CD) at different heating rates. Thermal stability of nanostructured supramolecular β -CD clathrates: VitA (2:1) and 2-GP- β -CD: VitA (2:1) were evaluated by differential thermogravimetry and differential scanning calorimetry on the LABSYSTMEVO 1600°C SETARAM device. The results of the studies allowed us to establish the nature of the dependence of the change in the mass of clathrate samples on temperature. The experimental data obtained are further used

to determine the values of the temperatures of the beginning and end of the process of thermal destruction of clathrate complexes and to judge the temperature of the maximum reaction rate of the studied samples by their values. According to the experimental data of thermogravimetric analysis, it can be noted that the thermal decomposition of inclusion complexes β -CD:VitA and 2-GP- β -CD:VitA. The change occurs with a slight difference. The kinetic characteristics of the processes are determined on the basis of well-known theoretical-computational methods of Friedman, Flynn-Ozawa-Wall and nonparametric kinetics. theoretical-computational methods of Friedman, Flynn-Ozawa-Wall and nonparametric kinetics. Experimental study of the kinetics of thermal decomposition of supramolecular clathrate inclusion complexes of β -CD:VitA (2:1) and 2-GP- β -CD:VitA (2:1) allowed us to establish the kinetic parameters of the reaction under isothermal conditions, allowing for the preservation of the kinetic triplet and a more adequate description of the process. The kinetic results obtained make it possible to predict the quality of starch oligomer inclusion complexes with vitamin A under long-term storage conditions, and also allows finding optimal ways to stabilize them.

Keywords: Vitamin retinol acetate, cyclodextrins, β -cyclodextrin, inclusion complexes, clathrate, thermal decomposition

This work was financially supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant BR10965230, 2021–2023).

© С. Фазылов^{1*}, О. Нүркенов¹, А. Сарсенбекова², А. Искинеева³,
А. Мендібаева¹, 2023

¹Органикалық синтез және көмір химиясы институты, Қарағанды, Қазақстан;

²Е.А. Букетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан;

³С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана, Қазақстан;
E-mail: iosu8990@mail.ru

РЕТИНОЛ АЦЕТАТЫНЫҢ β -ЦИКЛОДЕКСТРИНМЕН ҚОСЫЛҒАН КЕШЕНДЕРІНІҢ ТЕРМИЯЛЫҚ ЫДЫРАУЫ

Фазылов Серік — Қазақстан Республикасы Ұлттық Ғылым академиясының академигі, химия ғылымдарының докторы. Органикалық синтез және көмірхимиясы институты. 100008. Қарағанды, Қазақстан

E-mail: iosu8990@mail.ru. ORCID: 0000-0002-4240-6450;

Нүркенов Оралғазы — химия ғылымдарының докторы. Органикалық синтез және көмірхимиясы институты. 100008. Қарағанды, Қазақстан

E-mail: nurkenov_oral@mail.ru. ORCID: 0000-0003-1878-2787;

Сарсенбекова Акмарал — PhD, ассоциацияланған профессор. Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті. 100024. Қарағанды, Қазақстан

E-mail: chem_aktmaral@mail.ru. ORCID: 0000-0002-8951-3616;

Искинеева Айнара — PhD студент. С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті. 010000. Астана, Қазақстан

E-mail: iskeneeva_aynara@mail.ru. ORCID: 0000-0002-1705-6372;

Мендібаева Анель — PhD студент. Органикалық синтез және көмірхимиясы институты. 100008. Қарағанды, Қазақстан

E-mail: anenyawa@mail.ru. ORCID: 0000-0001-6123-3340.

Аннотация. Бұл жұмыста әртүрлі қыздыру жылдамдықтарында А дәруменінің (VitA, ретинол ацетаты) табиғи крахмалдың белгілі олигомерлері β -циклодекстринмен (β -ЦД) және 2-гидроксипропил- β -циклодекстринмен (2-ГП- β -ЦД) қосылған клатратты кешендерінің термиялық деструкциясы процестерінің кинетикасын термогравиметриялық талдау нәтижелері келтірілген. Нанокұрылымды супрамолекулалық клатраттардың β -ЦД:VitA (2:1) және 2-ГП- β -ЦД:VitA (2:1) термиялық тұрақтылығын бағалау дифференциалды термогравиметрия және дифференциалды сканерлеу калориметриясы әдістерімен LABSYSTMEVO 1600°C SETARAM құрылғысындағы жүргізілді. Зерттеу нәтижелері клатрат үлгілерінің массалық өзгеруінің температураға тәуелділігін анықтауға мүмкіндік берді. Алынған тәжірибелік деректер жұмыс қорытындысын жасағанда термодеструкциялық бұзылу үрдістерінің басталуы мен аяқталуының және олардың температуралық мәндері бойынша зерттелетін клатратты кешендердің үлгілерінің ең жоғары реакциялық жану жылдамдығы туралы пікір айтуға мүмкіндік жасады. Термогравиметриялық талдаудың эксперименттік деректері бойынша β -ЦД:Vita және 2-ГП- β -ЦД:Vita қосылу кешендерінің термиялық ыдырауы аздаған ғана айырмашылықпен жүретінін атап өтуге болады. Зерттелген процестердің кинетикалық сипаттамалары белгілі теоретикалық-есептеулік Фридман, Флинн-Озава-Уолл және параметрлік емес кинетикалық әдістеріне негізделген. β -ЦД:Vita (2:1) және 2-ГП- β -ЦД:Vita (2:1) супрамолекулалық клатратты қосылу кешендерінің термиялық ыдырау кинетикасын эксперименттік зерттеулер кинетикалық триплеттің сақталуын және процестің анағұрлым барабар шынай сипаттамасын қамтамасыз ететін изотермиялық жағдайларда реакциялардың кинетикалық параметрлерін сипаттауға мүмкіндік берді. Алынған тәжірибелік кинетикалық ғылыми нәтижелер А дәрумені бар крахмал олигомерлерінің қосылу кешендерінің сапасын ұзақ мерзімді сақтау жағдайында болжауға жағдай жасайды, сонымен қатар оларды тұрақтандырудың оңтайлы жолдарын табуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: Ретинол ацетат дәрумені, циклодекстриндер, β -циклодекстрин, қосылу кешендері, клатрат, термиялық ыдырау

Бұл жұмысты Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржылай қолдады (грант BR10965230, 2021–2023)

© С. Фазылов^{1*}, О. Нуркенов¹, А. Сарсенбекова², А. Искинеева³,
А. Мендибаева¹, 2023

¹Институт органического синтеза и углехимии РК, Караганда, Казахстан;

²Карагандинский университет им академика Е.А. Букетова,
Караганда, Казахстан;

³Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Астана, Казахстан;
E-mail: iosu8990@mail.ru

ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ ВКЛЮЧЕНИЯ РЕТИНОЛА АЦЕТАТА С β -ЦИКЛОДЕКСТРИНАМИ

Фазылов Серик — академик Национальной академии наук Республики Казахстан, доктор химических наук. Институт органического синтеза и углехимии. 100008. Караганда, Казахстан
E-mail: iosu8990@mail.ru. ORCID: 0000-0002-4240-6450;

Нуркенов Оралгазы — доктор химических наук. Институт органического синтеза и углехимии. 100008. Караганда, Казахстан
E-mail: nurkenov_oral@mail.ru. ORCID: 0000-0003-1878-2787;

Сарсенбекова Акмарал — PhD, ассоциированный профессор. Карагандинский университет им. Е.А. Букетова. 100024. Караганда, Казахстан
E-mail: chem_akmaral@mail.ru. ORCID: 0000-0002-8951-3616;

Искинеева Айнара — PhD студент. Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина. 010000. Астана, Казахстан
E-mail: iskeneeva_aynara@mail.ru. ORCID: 0000-0002-1705-6372;

Мендибаева Анель — PhD студент. Институт органического синтеза и углехимии. 100008. Караганда, Казахстан
E-mail: anenyawa@mail.ru. ORCID: 0000-0001-6123-3340.

Аннотация. В данной работе представлены результаты термогравиметрического анализа кинетики процессов термической деструкции клатратных комплексов включения витамина А (VitA, ретинол ацетат) с известными олигомерами натурального крахмала – β -циклодекстрином (β -ЦД) и 2-гидроксипропил- β -циклодекстрином (2-ГП- β -ЦД) при различных скоростях нагрева. Термическая стабильность наноструктурированных супрамолекулярных клатратов β -ЦД:VitA (2:1) и 2-ГП- β -ЦД:VitA (2:1) были оценены методами дифференциальной термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии на приборе LABSYSTMEVO 1600°C SETARAM. Результаты исследований позволили установить характер зависимости изменения массы образцов клатратов от температуры. Полученные экспериментальные данные в дальнейшем использованы для определения значений температур начала и окончания процесса термодеструкции клатратных комплексов и по их значениям судить о температуре максимальной скорости реакции горения изучаемых образцов. По экспериментальным данным термогравиметрического анализа можно отметить, что термическое разложение комплексов включения β -ЦД:VitA и 2-ГП- β -ЦД:VitA происходит с незначительной разницей. Кинетические характеристики процессов определены на основе известных теоретически-расчетных методов Фридмана,

Флинна-Озавы-Уолла и непараметрической кинетики. Экспериментальное исследование кинетики термического разложения супрамолекулярных клатратных комплексов включений β - ЦД:VitA (2:1) и 2-ГП- β -ЦД:VitA (2:1) позволило установить кинетические параметры реакций в изотермических условиях, позволяющие обеспечить сохранение кинетического триплета и более адекватное описание процесса. Полученные результаты позволяют прогнозировать качество комплексов включения олигомеров крахмала с витамином А в условиях длительного хранения, а также позволяет находить оптимальные пути их стабилизации.

Ключевые слова: витамин ретинол ацетат, циклодекстрины, β -циклодекстрин, комплексы включения, клатрат, термическое разложение

Эта работа была финансово поддержана Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант BR10965230, 2021–2023)

Введение

Вещества группы витамина А (ретинол, ретиналь, ретиноевая кислота, эфиры и их пространственные изомеры) представляют собой липофильные, водонерастворимые соединения, которые необходимы для нормального функционирования организма человека. Ретиноиды играют фундаментальную роль в живом организме, такие как рост и дифференцировка клеток (ретиноевая кислота) и фотохимия процесса зрения (сетчатка) (ретинол и его эфиры) (Combs и др., 2017; Munoz-Botella и др., 1996). Они выполняют не только витаминную, но и антиоксидантную функции, поскольку они вовлечены во множество метаболических процессов. Человеческий организм получает ретиноиды в основном с пищей. Однако различные способы приготовления пищи существенно снижают содержание витамина А. Поэтому пополнение потерь посредством приема препаратов группы витамина А приобретает первостепенную важность. По этой причине возникает необходимость разработки технологических способов получения водорастворимых форм витамина А с улучшенными биофармацевтическими и питательными свойствами. В последнее время большое внимание уделяется инкапсулированию циклодекстринами (ЦД) (комплексообразованию) различных витаминов и других биоактивных препаратов, которые могут повысить их биодоступность, водорастворимость и стабильность (Brewster и др., 2007; Loftsson и др, 2010).

Циклодекстрины (ЦД) являются природными макроциклическими олигосахаридами, которые образуются при ферментативном разложении крахмала. Семейство ЦД включает три основных продукта: α -, β - и γ - ЦД, их макрокольца состоят из шести, семи и восьми остатков глюкопиранозы соответственно. Форма этих макроколец представляет собой усеченную конусообразную структуру с гидрофобной полостью. Расположение ОН- и Н-групп таково, что центральная внутренняя полость в некоторой степени липофильна, а внешняя поверхность гидрофильна. Размер полости колеблется от 0,57 нм (α - ЦД) до 0,95 нм (γ - ЦД), что

обеспечивает удобный размер для инкапсуляции различных водонерастворимых органических молекул (Loftsson и др., 2010; Kurkov и др., 2013).

Гидрофобные молекулы «гостя» встраиваются во внутреннюю полость ЦД, образуя супрамолекулярные наноструктурированные комплексы включения по типу «гость-хозяин». Это обеспечивает значимые изменения физико-химических свойств молекул связываемого с циклодекстринами вещества: увеличивается стабильность молекулы вещества «гостя», чувствительных к воздействиям кислорода или света, увеличивается растворимость веществ (Liu и др., 2016), реализуется возможность перевода жидкостей и масел в порошкообразную форму (Astray и др., 2009), маскируются неприятные запахи и вкус (Marques, 2010; Hogenbom и др., 2022; Astray и др., 2009). В качестве «хозяина» для образования комплексов с VitA удобно использование β -циклодекстрина (β -ЦД), обладающего подходящим размером полости и разрешенного к использованию в медицинской и пищевой промышленности (рис. 1).

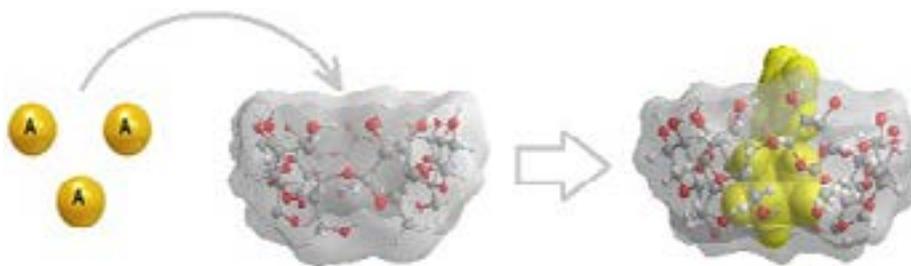


Рис. 1. Схематическое изображение формирования инклюзивного комплекса «гость-хозяин»
(Fig. 1. Schematic representation of the formation of an inclusive guest-host complex)

В научной литературе имеется лишь несколько опубликованных работ, посвященных описанию люминесцентных свойств комплексов включения ретинала и его *транс*- и *цис*-изомеров с α -, β - и γ - ЦД, а также модифицированными диметил- β - ЦД, триметил- β -ЦД и гидроксипропил- β -циклодекстринами (Munoz-Botella и др., 1996; Palmeri и др., 1992; Okada и др., 1990). Образование этих комплексов включения с ЦД отслеживались с помощью УФ-видимой спектрофотометрии. Полученные результаты позволили количественно и селективно определять ретиноиды в водном растворе благодаря растворимости этих комплексов включения в воде. Рассмотрены также результаты исследования комплекса включения между пальмитатом витамина А и β -циклодекстрином в водном растворе для определения стехиометрии и константы ассоциации комплекса по диаграмме фазовой растворимости и измерениям интенсивности флуоресценции (Okada и др., 1990).

В этой работе мы поставили цель оценить термическую стабильность и характер термической деструкции супрамолекулярных комплексов включения VitA с β - и 2-гидроксипропил- β -циклодекстринами, полученных в соотношении 1:2.

Материалы и методы эксперимента

В экспериментах использовались следующие реагенты: β -циклодекстрин (β -ЦД) и 2-гидрокси- β -циклодекстрин (2-ГП- β -ЦД) (99,0 %), белые кристаллические вещества, хорошо растворимые в органических растворителях: этаноле, диметилформамиде и диметилсульфоксиде; витамин А — раствор ретинола ацетата в масле (масло подсолнечное), в пересчете на ретинола ацетат 100000 МЕ (фирма Алтайвитамины, Россия); другие химические реактивы имели чистоту аналитического реагента. Методика получения клатратов витаминов с β -ЦД ранее нами были описаны в работах (Bakirova и др., 2020; Iskineyeva и др., 2022).

Исследование кинетики процессов термической деструкции комплексов включения VitA (ретинола ацетат) с β -ЦД и 2-ГП- β -ЦД проводили термографическим методом. Термический анализ проводился методами дифференциальной термогравиметрии (ДТК) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на приборе LABSYSTMEO 1600°C SETARAM. Навеска каждого образца составляла 30 мг в виде растертого порошка. ТГ-кривые образцов были записаны в динамическом режиме в диапазоне температур 0-600°C при скоростях нагрева 5, 7.5, 10.0, 12.5°C мин⁻¹ в инертной среде (азот), тигле Al₂O₃. Все расчеты производились с помощью программы Mathcad.

Результаты и обсуждение

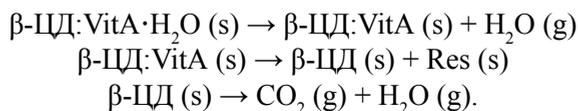
Термическую стабильность клатратов β -ЦД:VitA (2:1) и 2-ГП- β -ЦД:VitA (2:1) оценивали методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Результаты дифференциальной сканирующей калориметрии позволили установить зависимости изменения массы образцов от температуры (термогравиметрическая кривая (ТГ), а также точно определить значения температуры начала и окончания реакции термодеструкции и по ее пику судить о температуре максимальной скорости реакции горения (дифференциально-термогравиметрическая кривая (ДТГ))

По экспериментальным данным термогравиметрического анализа можно отметить, что термическое разложение комплексов включения β -ЦД:VitA и 2-ГП- β -ЦД:VitA происходит с незначительной разницей. На рис. 2 показано (кривая (а), что при нагреве клатрата β -ЦД:VitA заметная убыль массы начинается при температуре $\approx 50^\circ\text{C}$. Это значение температуры относится к выделению молекул воды из внутренней полости клатрата. Потеря массы в результате разложения составляет около 0.06 мг для β -ЦД:VitA. В случае 2-ГП- β -ЦД:VitA (рис.2 (b), эндотермический пик, связанный с потерей воды, отсутствует. После этого происходит интенсивное термическое разложение, данные о котором представлены в табл.1.

Таблица 1. Данные термогравиметрического анализа для комплексов включения β -ЦД:VitA и 2-ГП- β -ЦД:VitA

Образец	Температура, °C			m, mg
	начала разложения	пика	окончания разложения	
β -ЦД:VitA	280.0	318.0	355.0	3.32
2-ГП- β -ЦД:VitA	237.0	320.0	450.0	8.97

Сопоставительный анализ данных показывает, что пик поглощения тепла, вызванный активацией термической деструкции находится в диапазоне 290÷380°C для β -ЦД:VitA и 237÷380°C для клатрата 2-ГП- β -ЦД:VitA (рис. 2). Эти данные свидетельствуют о снижении термостабильности молекул циклодекстринов при включении в его полость VitA. Это явление можно считать доказательством образования стабильных комплексов включения β -ЦД:VitA (2:1, 4:1) и прочных межмолекулярных связей за счет образования ван-дер-ваальсовых, гидрофобных сил, которые разрушаются при повышении температур, в то время как сама молекула β -ЦД (и аналогично также 2-ГП- β -ЦД) начинает разрушаться при более высокой температуре ($T_{\text{onset}} = 290^\circ\text{C}$) (рис. 2). С этой информацией реакции термического разложения и изменения рекристаллизации были следующими:



Объективный анализ процесса термической деструкции комплексов включения β -ЦД: VitA (a) и 2-ГП- β -ЦД:VitA (b) возможны при сравнении энергий активации процессов, так как она является надежным критерием, по которому можно проводить прямое сравнение.

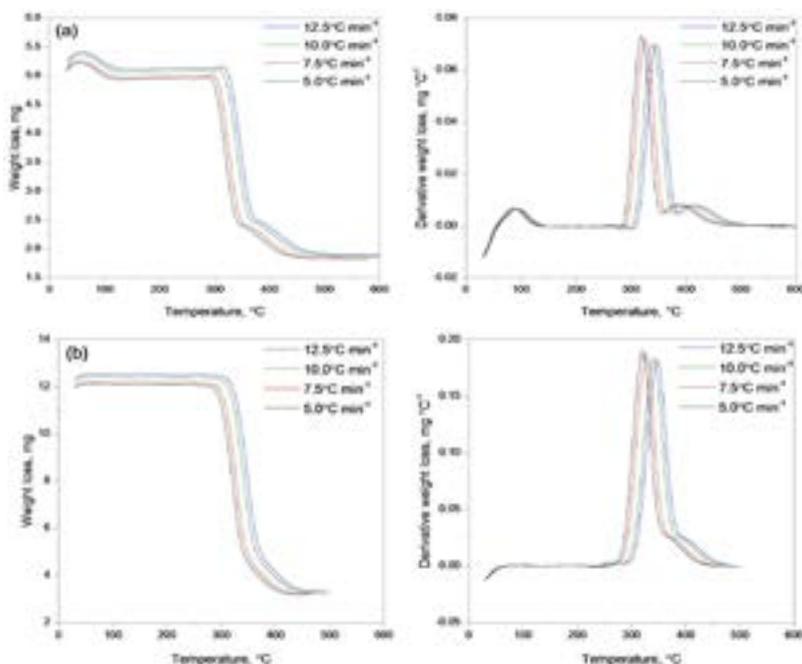


Рис. 2. Зависимости массы образцов от температуры и скорости изменения массы β -ЦД:VitA (a) и 2-ГП- β -ЦД:VitA (b)

(Fig. 2. Dependences of the mass of samples on temperature and the rate of mass change β -CD:VitA(a) and 2-GP- β -CD:VitA (b))

Как следует из данных таблицы 1, начало термического разложения для комплекса включения β -ЦД:VitA протекает при более высоких значениях температуры, чем для 2-ГП- β -ЦД:Vit. Комплекс включения 2-ГП- β -ЦД:VitA разлагается с большей потерей массы, чем комплекс включения β -ЦД:VitA. Объективный анализ процесса термической деструкции комплексов включения β -ЦД:VitA и 2-ГП- β -ЦД:VitA возможен при сравнении энергий активации процесса, так как энергия активации является единственным надежным критерием, по которому можно проводить прямое сравнение. Расчеты кинетических параметров по ТГ-кривой основаны на формальном кинетическом уравнении:

$$\frac{d\alpha}{dt} - \beta \frac{d\alpha}{dT} - k(T)f(\alpha) - A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)f(\alpha) \quad (1)$$

где α — степень завершенности процесса, t — время, T — температура, β — скорость нагрева (К/мин), $f(\alpha)$ — кинетическая модель, $k(T)$ — константа скорости, которая зависит от температуры в соответствии с уравнением Аррениуса с параметрами A (предэкспоненциальный множитель) и E_a — (энергия активации), R — универсальная газовая постоянная.

В случае сложных процессов, включающих несколько последовательно-параллельных стадий, рекомендуется использовать изоконверсионные методы: изоконверсионный дифференциальный метод Фридмана (Friedman, 1969) и изоконверсионный интегральный метод Озавы-Флинна-Уолла (Ozawa, 1965; Flynn и др., 1966). Изоконверсионные методы позволяют получить зависимости кажущейся энергии активации от глубины протекания процесса вне зависимости от механизма протекания процесса и характеризующей его функции $f()$. При использовании метода Фридмана уравнение представляют в виде:

$$\ln\left(\beta \frac{d\alpha}{dT_\alpha}\right) = \ln\{A_\alpha f(\alpha)\} - \frac{E_a}{RT} \quad (2)$$

Поскольку $f(\alpha)$ является постоянной величиной при любом фиксированном значении, зависимость логарифма скорости конверсии d/dt для каждой скорости нагрева β от $1/T$ представляет собой прямую, тангенс угла наклона которой равен E_a/R , а отрезок, отсекаемый ею на оси ординат, равен $\ln\{A_\alpha f(\alpha)\}$. Оценку предэкспоненциального множителя обычно проводят из уравнения Аррениуса в предположения реакции первого порядка $f(\alpha) = (1-\alpha)$, при усреднении по всем динамическим скоростям нагрева. Метод Озавы-Флинна-Уолла использует интегральное уравнение вида:

$$\log \beta = -1.052 \frac{E_a}{RT_\alpha} + 5.3305 + \ln\left\{\frac{R}{AE_a} \int_0^1 \frac{d\alpha}{f(\alpha)}\right\} \quad (3)$$

Для данных, полученных в серии измерений, проведенных с различными скоростями нагрева при фиксированной степени превращения, в соответствии с уравнением зависимость $\ln(\beta)$ от $1/T$ будет представлять прямую с тангенсом угла наклона, равную $-1.052 E_a/R$. Графическое определение энергии активации методом Фридмана осуществлялось путем построения зависимостей логарифма левой части уравнения от обратной температуры. В результате получены прямые при различных степенях превращения $\alpha = 0.1 \dots 0.9$ и четырех скоростях нагрева (рис. 3а,б).

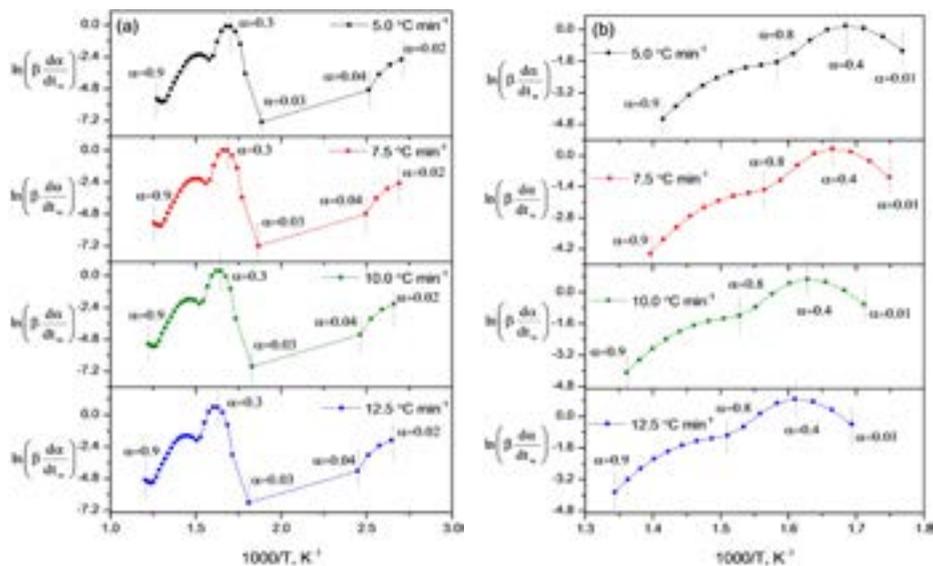


Рис. 3. Графические зависимости $\ln\left[\beta \frac{d\alpha}{dT_\alpha}\right]$ от $1/T$, определенные с помощью метода

Фридмана (Ozawa, 1965)

(Fig. 3. Graphical dependencies $\ln\left[\beta \frac{d\alpha}{dT_\alpha}\right]$ on $1/T$ determined using the Friedman method

(Ozawa, 1965))

Применение вышеперечисленных методов позволило графически установить термодинамические параметры термического разложения комплексов включения β -ЦД:VitA и 2-ГП- β -ЦД:VitA при различных скоростях нагрева и степенях конверсии (рис. 3, таблица 2).

Таблица 2. Значения энергии активации комплексов включения β -ЦД:VitA и 2-ГП- β -ЦД:VitA при различных соотношениях (в атмосфере азота)

Образец	\bar{A} , s^{-1}	\bar{E}_{FR} , кДж моль $^{-1}$	\bar{A} , s^{-1}	\bar{E}_{FR} , кДж моль $^{-1}$
β -ЦД:VitA	$1.36 \cdot 10^9$	80.30	0.12	95.51
2-ГП- β -ЦД:VitA	$2.86 \cdot 10^4$	77.38	0.10	86.10

Следует отметить, что наблюдаемая энергия активации и предэкспоненциальный коэффициент зависят от соотношения констант скорости химического процесса. Данный факт указывает, что процесс разложения комплексов включения β -ЦД: VitA и 2-ГП- β -ЦД: VitA происходит более чем по одному процессу. В данном случае необходимо использовать другой кинетический метод исследования, более развитый в попытке определить и отделить эти процессы, все же неизвестные как числа. Для кинетического анализа процесса термической деструкции исследуемого образца также использовали метод непараметрической кинетики НПК (Serra и др., 1998). Экспериментальные значения скорости реакций расположены в матрице, которая выражается как произведение двух векторов, содержащих информацию по $k(T)$ и $f(\alpha)$. По факту эта математическая модель является следствием уравнения (1).

$$r = f(\alpha) \cdot k(T) \quad (4)$$

Метод НПК использует алгоритм сингулярного разложения (SVD) для разложения матрицы M на два вектора (Serra R. et al., 1998). Матрица M анализируется следующим образом:

$$M = U(\text{diag} \cdot S) \cdot V^T \quad (5)$$

Модель реакции $g(\alpha)$ учитывает зависимость степени преобразования и $f(T)$ учитывает температурную зависимость. Скорость реакции $\beta da/dT_\alpha$ измерена при различных скоростях нагревания, β было интерполировано как поверхность в 3D пространстве ($\beta da/dT_\alpha, \alpha, T$) (рис. 4). Эта поверхность организована как матрица $i \times j$ где строки соответствуют различным степеням преобразования, от α_1 к α_1 и столбцы соотносятся с различными температурами от T_1 к T_j .

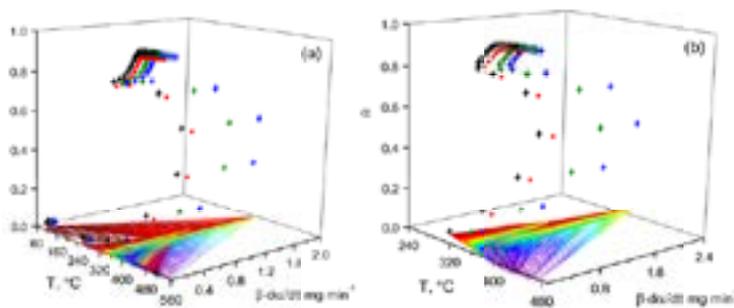


Рис.4. Поверхность для комплексов включения β -ЦД: VitA (a) и 2-ГП- β -ЦД: VitA (b) в трехмерном пространстве: зависимость скорости реакции ($\beta da/dt$) от температуры (T) и степени превращения (α)

(Fig.4. Surface for inclusion complexes β -CD: VitA (a) and 2-GP- β -CD: VitA (b) in three-dimensional space: the dependence of the reaction rate on temperature and the degree of transformation)

Выбор $f(\alpha)$ осуществляли с помощью метода Шестака-Берггрена (Sestak et al., 1971) (также часто называемым уравнением Проута-Томпкинса), путем подбора наиболее подходящей модели в координатах $(d\alpha/dt) - \alpha$ при различных скоростях нагрева (β). В качестве функции $f(\alpha)$ использовали $f(\alpha) = \alpha^m(1-\alpha)^n$. Параметры m и n влияют на форму и положение максимума кривой $(d\alpha/dt)$ (рис. 5). Результаты кинетического анализа показаны на рис.5 и в таблице 3.

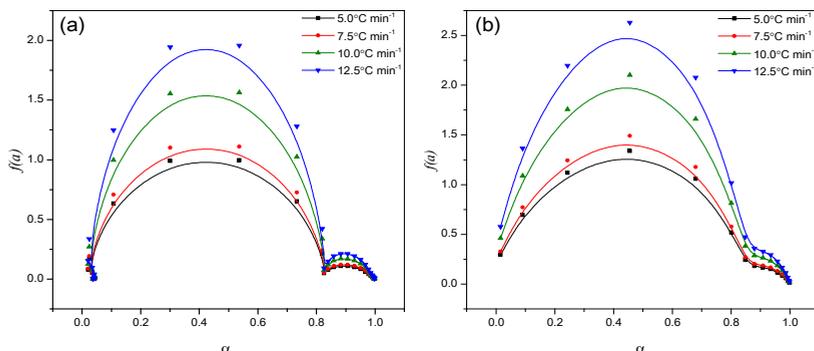


Рис. 5. Аппроксимация экспериментальных данных функциями $f(\alpha)$ с использованием метода Шестака-Берггрена (а) β -ЦД:VitA и (б) 2-ГП- β -ЦД:VitA
(Fig. 5. Approximation of experimental data by functions $f(\alpha)$ using the Shestak-Berggren (a) method β -CD:VitA and (b) 2-GP- β -CD:VitA)

Для комплекса включения β -ЦД:VitA (табл. 3, рис. 6а) наиболее подходящей функцией является $f(\alpha) = \alpha^{1.1}(1-\alpha)^{0.9}$, а для комплекса включения 2-ГП- β -ЦД:VitA - $f(\alpha) = \alpha^{0.8}(1-\alpha)^{0.9}$. Наиболее высокая скорость разложения (рис. 4) наблюдается в комплексе включения 2-ГП- β -ЦД:VitA. В начале разложения скорость за счет самоускорения быстро увеличивается, достигая максимального значения при $\alpha_{\max} = 0.40$, и далее быстро снижается практически до полного прекращения разложения (рис. 6б). Процесс разложения комплекса включения β -ЦД:VitA также протекает с самоускорением до $\alpha = 0.45$. Далее скорость процесса постепенно снижается.

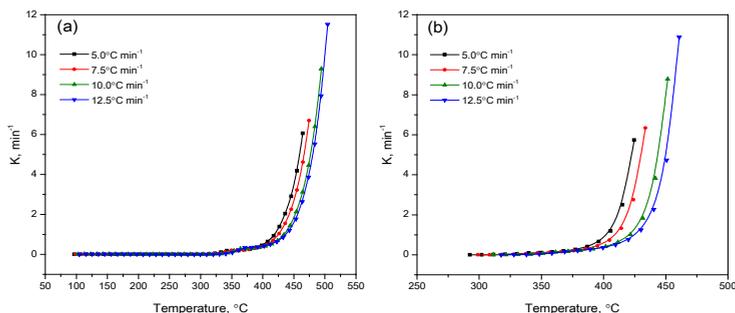


Рис. 6. Зависимость константы скорости реакции разложения от температуры: β -ЦД:VitA (а) и 2-ГП- β -ЦД:VitA (б)
(Fig. 6. Dependence of the decomposition reaction rate constant on temperature: β -CD:VitA(a) and 2-GP- β -CD:VitA (b))

Выражение кинетики термической деструкции позволило установить влияние температуры на константу скорости реакций. Установлено, что параметр K подчиняется закону Аррениуса (Рис. 6).

Таблица 3. Кинетические параметры термического разложения комплексов включения β - β -ЦД:VitA и 2-ГП- β -ЦД:VitA при различных соотношениях, рассчитанные методом непараметрической кинетики (НПК)

Образец	\overline{E}_{NPK} , кДж моль ⁻¹	\overline{A} , s ⁻¹	Параметры функции $f(\alpha)$		\overline{E}_{Sh-B} , кДж моль ⁻¹	\overline{A} , s ⁻¹
			$\alpha^m(1-\alpha)^n$			
			m	n		
β -ЦД:VitA	80.30	$1.43 \cdot 10^9$	1.11	0.99	80.29	$1.05 \cdot 10^{11}$
2-ГП- β -ЦД:VitA	77.56	$2.72 \cdot 10^4$	0.81	0.99	77.37	$2.58 \cdot 10^5$

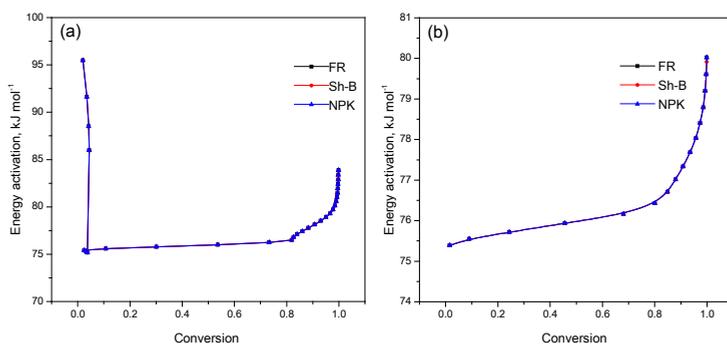


Рис. 6. Зависимость энергии активации (E) от степени превращения (α)

(a) β -ЦД:VitA и (b) 2-ГП- β -ЦД:VitA

(Fig. 6. Dependence of the activation energy (E) on the degree of transformation (α))

(a) β -CD:VitA and (b) 2-GP- β -CD:VitA)

Кривые $E-\alpha$ (рис.6) для каждого отдельного метода имеют одинаковую форму. Для комплекса включения 2-ГП- β -ЦД:VitA на большей части степени превращения наблюдается увеличение энергии активации (рис. 5b). Небольшой участок роста кривых на начальной стадии разложения может быть связан с влиянием процесса плавления. Как следует из данных рис. 6а, форма кривых $E-\alpha$ для комплекса включения β -ЦД:VitA имеет более сложный вид, что может быть связано с влиянием на процесс разложения газообразных продуктов.

Заключение

Олигосахариды крахмала β -ЦД и 2-ГП- β -ЦД могут быть успешно использованы в инкапсуляции масляного раствора витамина А (ретинола ацетат). Это приведет к увеличению его стабильности внешним воздействиям и увеличению сроков их хранения, водорастворимости и пролонгированности действия. Экспериментальное исследование кинетики термического разложения комплексов включения β -ЦД:VitA и 2-ГП- β -ЦД:VitA позволило установить кинетические параметры реакции в изотермических условиях, позволяющие обеспечить

сохранение кинетического триплета и более адекватное описание процесса. Исходя из энергетических профилей, полученных различными аналитически-расчетными методами, полный процесс разрушения молекул клатратов под действием тепла начинается с реакции с более низкими значениями наблюдаемой E_a и продолжается вдоль пути реакции неравномерным ростом E_a . Полученные кинетические результаты позволяют прогнозировать качество комплексов включения олигомеров крахмала с витамином А в условиях длительного хранения, а также позволяет находить оптимальные пути их стабилизации. Таким образом, система «гость-хозяин» β -ЦД:VitA может стать отправной точкой для дальнейшего исследования по разработке новых составов, содержащих VitA с повышенной биодоступностью.

REFERENCES

- Astray G., Gonzalez-Barreiro C., Mejuto J.C., Rial-Otero R.J., Simal-Gandara J., 2009 — *Astray G., Gonzalez-Barreiro C., Mejuto J.C., Rial-Otero R.J., Simal-Gandara J.* A review on the use of cyclodextrins in foods. *Food Hydrocolloids*, 7: 1631–1640.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.01.001>. (in Eng.).
- Bakirova R.A., Nukhuly A., Iskineyeva A., Fazylov S., Burkeev M., Mustafaeva A., Minaeva E., Sarsenbekova A., 2020 — *Bakirova R.A., Nukhuly A., Iskineyeva A., Fazylov S., Burkeev M., Mustafaeva A., Minaeva E., Sarsenbekova A.* Obtaining and Investigation of the beta-Cyclodextrin Inclusion Complex with Vitamin D-3 Oil Solution. *Scientifica*, 1:8. DOI: 10.1155/2020/6148939. (in Eng.).
- Brewster M.E., Loftsson T., 2007 — *Brewster M.E., Loftsson T.* Cyclodextrins as pharmaceutical solubilizers. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 59: 645–666. (in Eng.).
- Combs G.F., McClung J.P., 2017 — *Combs G.F., McClung J.P.* The Vitaminis. *Fundamental Aspects in Nutrition and Health*, –Pp. 387–398. (in Eng.).
- Friedman H.L., 1969 — *Friedman H.L.* New methods for evaluating kinetic parameters from thermal analysis data. *J. Polym. Sci. Part B*, 7: 41–46. (in Eng.).
- Flynn J.H., Wall L.A., 1966 — *Flynn J.H., Wall L.A.* A quick, direct method for the determination of activation energy from thermogravimetric data. *J. Polym. Sci. Part B*, 4: 323–328. (in Eng.).
- Hogenbom J., Istanbouli M., Faraone N., 2022 — *Hogenbom J., Istanbouli M., Faraone N.* Novel β -Cyclodextrin and Catnip Essential Oil Inclusion Complex and Its Tick Repellent Properties. *J. Molecules*, 23:7391. <https://doi.org/10.3390/molecules26237391>. (in Eng.).
- Iskineyeva A., Fazylov S., Bakirova R., Sarsenbekova A., Pustolaikina I., Seilkhanov O., Alsouk A.A., Elkaeed E.B., Eissa I.H., Metwaly A.M., 2022 — *Iskineyeva A., Fazylov S., Bakirova R., Sarsenbekova A., Pustolaikina I., Seilkhanov O., Alsouk A.A., Elkaeed E.B., Eissa I.H., Metwaly A.M.* Combined In Silico and Experimental Investigations of Resveratrol Encapsulation by Beta-Cyclodextrin. *Journal of PLANTS*, 11:1678. DOI:10.3390/plants11131678. (in Eng.).
- Iskineyeva A., Mustafaeva A., Zamaratskaya G., Fazylov S., Pustolaikina I.A., Sarsenbekova A., Seilkhanov T., Bakirova R., 2021 — *Iskineyeva A., Mustafaeva A., Zamaratskaya G., Fazylov S., Pustolaikina I.A., Sarsenbekova A., Seilkhanov T., Bakirova R.* Preparation of encapsulated α -tocopherol acetate and study of its physico-chemical and biological properties. *Bulletin of the Karaganda university. Chemistry series*, 103: 27–36. (in Eng.).
- Kurkov S.V., Loftsson T., 2013 — *Kurkov S.V., Loftsson T.* Cyclodextrins. *International Journal of Pharmaceutics*, 453: 167–180. (in Eng.).
- Liu Y., Zhang H., 2016 — *Liu Y., Zhang H.* Study of VD₃- β -Cyclodextrin Inclusion Complex. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 4: 163–167. doi:10.4236/gep.2016.44019. (in Eng.).
- Loftsson T., Brewster M.E., 2010 — *Loftsson T., Brewster M.E.* Pharmaceutical applications of cyclodextrins: basic science and product development. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 62: 1607–1621. (in Eng.).

Marques H., 2010 — *Marques H.* A review on cyclodextrin encapsulation of essential oils and volatiles. *Flavour and fragrance journal*, 5: 313–326. (in Eng.).

Munoz-Botella S., Lerner D.A., Castillo B., Martin M.A., 1996 — *Munoz-Botella S., Lerner D.A., Castillo B., Martin M.A.* Analytical Applications of Retinoid-Cyclodextrin Inclusion Complexes 2. Luminescence Properties at Room Temperature. *Analyst*, 11: 1557–1560. <https://doi.org/10.1039/AN9962101557>. (in Eng.).

Ozawa T., 1965 — *Ozawa T.* A new method of analyzing thermogravimetric data. *Bull Chem Soc Jpn.*, 38: 1881–1886. (in Eng.).

Palmeri G.F., Wehrle P., Duportali G., Starmm A., 1992 — *Palmeri G.F., Wehrle P., Duportali G., Starmm A.* Inclusion complexation of vitamin A palmitate with β -cyclodextrin in aqueous solution. *Drug Dev. Ind. Pharm.*, 19: 2117–2121. (in Eng.).

Serra R., Nomen R., Sempere J., 1998 — *Serra R., Nomen R., Sempere J.* The non-parametric kinetics a new method for the kinetic study of thermoanalytical data. *J. Therm. Anal. Calorim.*, 52: 933–943. (in Eng.).

Sestak J., Berggren G., 1971 — *Sestak J., Berggren G.* Study of the kinetics of the mechanism of solid-state reactions at increasing temperatures. *Thermochim Acta*, 3: 1–12. (in Eng.).

Okada Y., Tachibana M., Koizumi K., 1990 — *Okada Y., Tachibana M., Koizumi K.* Solubilization of lipid-Soluble Vitamins by Complexation with Glucosyl-beta-cyclodextrin. *Chem. Pharm. Bull.*, 7: 2047–2049. (in Eng.).

МАЗМҰНЫ

А.С. Әбсейт, Н.С. Елибаева, Г.Ғ. Әбдікәрім, Ж.С. Әбсейт, АСАНТНОРHYLLUM PUNGENS ӨСІМДІГІНДЕГІ ПОЛИСАХАРИДТЕРДІҢ САПАЛЫҚ ЖӘНЕ САНДЫҚ ҚҰРАМЫН АНЫҚТАУ.....	5
А. Бешов, А.К. Бешова, С. Молайган, М.Н. Турлыбекова, Б. Леска АЛЮМИНИЙ АМАЛЬГАМАСЫНЫҢ БЕТІНДЕГІ СУДАН СУТЕКТІ БӨЛУ ПРОЦЕСТЕРІНДЕГІ ДЕПОЛЯРИЗАТОРЛАРДЫҢ РӨЛІ.....	15
И.М. Джелдыбаева, Ж. Қайырбеков, М.З. Есеналиева, С.М. Суймбаева ГЕКСЕН-1 ГИДРЛЕУ РЕАКЦИЯСЫНДА ПАЛЛАДИЙ ЖӘНЕ НИКЕЛЬ КАТАЛИЗАТОРЛАРЫНЫҢ КАТАЛИТИКАЛЫҚ АКТИВТІЛІГІ МЕН ИЗОМЕРЛЕНУ ҚАБІЛЕТТІЛІГІ.....	27
Т.К. Джумадилов, Л.К. Ысқақ, Н.О. Мырзахметова AMBERLITE IR120 ЖӘНЕ АВ-17–8 ИОН АЛМАСУ ШАЙЫРЛАРЫ НЕГІЗІНДЕ ИНТЕРПОЛИМЕР ЖҮЙЕСІМЕН ЦЕРИЙ ИОНДАРЫ СОРБЦИЯСЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ.....	37
А.И. Кареева, А.Ә. Болысбек, И.А. Почиталкина, Е.Б. Райымбеков ШАРТҚА СӘЙКЕССІЗ ФОСФАТ ШИКІЗАТЫ НЕГІЗІНДЕ НРК ТЫҢАЙТҚЫШЫН АЛУ ҮРДСІНІҢ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ТАЛДАУЫ.....	47
Қ.Б. Мұсабеков, О.В. Рожкова, Д.М-К. Артыкова (Ибраимова), М.Т. Ермеков, Ш.А. Мұздыбаева ҚАЗАҚСТАННЫҢ АТОМ ӨНЕРКӘСІБІ РАДИОАКТИВТІ ҚАЛДЫҚТАРДЫ КӨМУ КЕЗІНДЕ БЕНТОНИТ САЗЫН ҚОРҒАНЫС ТОСҚАУЫЛЫ РЕТІНДЕ ҚОЛДАНУ.....	66
М. Нажипқызы, А. Нұрғалин, А. Жапарова, А. Исанбекова, Ж. Роберт Митчелл «Al/DIATOMITE» НЕГІЗДІ КОМПОЗИТТІК МАТЕРИАЛДАР.....	78
Н.Н. Нурғалиев, А.Н. Кливенко, А.Ж. Акимжанов, А.Н. Сабитова, Э.Т. Талғатов ОРГАНИКАЛЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫ АНАЭРОБТЫ АШЫТУ КЕЗІНДЕ БИОМЕТАН АЛУҒА АРНАЛҒАН БИОСТИМУЛЯТОРЛАР.....	88

М.Д. Сабырханов, А.А. Досмаканбетова, Н.Т. Сейтханов, Г.Д. Пазилова, Л.А. Сейткасимова СҰЙЫҚ ТАМШЫЛАРМЕН СОҚТЫҒЫСҚАНДАҒЫ БҰЗЫЛҒАН ПЛЕНКАНЫҢ СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ТЕРБЕЛІСТЕРІНІҢ СИПАТТАМАСЫ.....	105
А.М. Серікбаева, Ф.Ф. Роман, Х.Л. Диаз де Туэста, Х.Т. Гомес, М.С. Қалмаханова ОРГАНОАЛОКСИДТЕРМЕН ДМСО ЖӘНЕ ТЕОА ЕГІЛГЕН ОРГАНИКАЛЫҚ ТҮРЛЕНДІРІЛГЕН САЗДАРДЫ АЛУ ЖӘНЕ ФИЗИКАЛЫҚ–ХИМИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ.....	115
Б. Торсықбаева, Б. Имангалиева, Н. Ізтілеу ХИМИЯНЫ ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ ЖӘНЕ ҚАЛЫПТАСТЫРУШЫ БАҒАЛАУ.....	129
А.С. Тукибаева, Р. Панкевич, Б.Н. Кабылбекова, Л.Д. Айкозова, Н.А. Калиева ЛАЗАЛОЦИДТІҢ ПЕНТАДЕКАФТОР–1-ОКТАНОЛМЕН ЭФИРІН (LasF) СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ОНЫҢ БІР ВАЛЕНТТІ КАТИОНДАРМЕН КОМПЛЕКСТЕРІН ЖАРТЫЛАЙ ЭМПИРИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ.....	144
А.А. Утебаева, Р.С. Алибеков, Э.А. Габрильянц, Ж.А. Абиш, А.Ж. Айтбаева ҚАНДЫШӨП СЫҒЫНДЫЛАРЫНЫҢ (<i>Sanguisorba officinalis</i>) <i>Lactobacillus</i> ӨСУІНЕ ӘСЕРІ.....	156
С. Фазылов, О. Нүркенов, А. Сарсенбекова, А. Искинеева, А. Мендібаева РЕТИНОЛ АЦЕТАТЫНЫҢ β–ЦИКЛОДЕКСТРИНМЕН ҚОСЫЛҒАН КЕШЕНДЕРІНІҢ ТЕРМИЯЛЫҚ ЫДЫРАУЫ.....	168
Д.Б. Ченсизбаев, Д.К. Аденова, Қ.Е. Кошпанова ШУ–САРЫСУ ПРОВИНЦИЯСЫНЫҢ ӨНДІРІСТІК СУЛАРЫНДАҒЫ ЛИТИЙ КОНЦЕНТРАЦИЯСЫН ЭЛЕКТРОФОРЕЗ ӘДІСІМЕН АНЫҚТАУ.....	183

СОДЕРЖАНИЕ

А.С. Абсейт, Н.С. Елибаева, Г.Г. Абдикарим, Ж.С. Абсейт ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИСАХАРИДОВ В РАСТЕНИИ <i>ASANTHOPHYLLUM PUNGENS</i>	5
А. Башов, А.К. Башова, С. Молайган, М.Н. Турлыбекова, Б. Леска РОЛЬ ДЕПОЛЯРИЗАТОРОВ В ПРОЦЕССАХ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ АМАЛГАМЫ АЛЮМИНИЯ.....	15
И.М. Джелдыбаева, Ж. Каирбеков, М.З. Есеналиева, С.М. Суймбаева КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ИЗОМЕРИЗУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПАЛЛАДИЕВЫХ И НИКЕЛЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В РЕАКЦИИ ГИДРИРОВАНИЯ ГЕКСЕНА-1.....	27
Т.К. Джумадилов, Л.К. Ыскак, Н.О. Мырзахметова ОСОБЕННОСТИ СОРБЦИИ ИОНОВ ЦЕРИЯ ИНТЕРПОЛИМЕРНОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ AMBERLITE IR120 И АВ-17-8.....	37
А.И. Кареева, А.А. Болысбек, И.А. Почиталкина, Е.Б. Райымбеков ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ НРК УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕКОНДИЦИОННОГО ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ.....	47
К.Б. Мусабеков, О.В. Рожкова, Д.М-К. Артыкова (Ибраимова), М.Т. Ермеков, Ш.А. Муздыбаева ПРИМЕНЕНИЕ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ В КАЧЕСТВЕ ЗАЩИТНОГО БАРЬЕРА ПРИ ЗАХОРОНЕНИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАЗАХСТАНА.....	66
М. Нажипкызы, А. Нургайн, А. Жапарова, А. Исанбекова, Ж. Роберт Митчелл КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ Al/DIATOMITE.....	78
Н.Н. Нурғалиев, А.Н. Кливенко, А.Ж. Акимжанов, А.Н. Сабитова, Э.Т. Талғатов БИОСТИМУЛЯТОРЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОМЕТАНА ПРИ АНАЭРОБНОМ БРОЖЕНИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ.....	88

М.Д. Сабырханов, А.А. Досмаканбетова, Н.Т. Сейтханов, Г.Д. Пазилова, Л.А. Сейткасимова ОПИСАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВОЗМУЩЕННОЙ ПЛЕНКИ ПРИ ЕЕ СОУДАРЕНИИ С КАПЛЯМИ ЖИДКОСТИ.....	105
А.М. Серикбаева, Ф.Ф. Роман, Х.Л. Диаз де Туэста, Х.Т. Гомес, М.С. Калмаханова ПОЛУЧЕНИЕ И ФИЗИКО–ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОРГАНИЧЕСКИХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГЛИН С ПРИВИТЫМИ ДМСО И ТЕОА.....	115
Б. Торсыкбаева, Б. Имангалиева, Н. Изгілеу ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ФОРМАТИВНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ.....	129
А.С. Тукибаева, Р. Панкевич, Б.Н. Кабылбекова, Л.Д. Айкозова, Н.А. Калиева СИНТЕЗ ЭФИРА ЛАЗАЛОЦИДА С ПЕНТАДЕКАФТОР-1-ОКТАНОЛОМ (LasF) И ПОЛУЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО КОМПЛЕКСОВ С ОДНОВАЛЕНТНЫМИ КАТИОНАМИ.....	144
А.А. Утебаева, Р.С. Алибеков, Э.А. Габрильянц, Ж.А. Абиш, А.Ж. Айтбаева ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТОВ КРОВОХЛЕБКИ (<i>Sanguisorba officinalis</i>) НА РОСТ <i>Lactobacillus</i>	156
С. Фазылов, О. Нуркенов, А. Сарсенбекова, А. Искинеева, А. Мендибаева ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ ВКЛЮЧЕНИЯ РЕТИНОЛА АЦЕТАТА С β -ЦИКЛОДЕКСТРИНАМИ.....	168
Д.Б. Ченсизбаев, Д.К. Аденова, К.Е. Кошпанова ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЛИТИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОДАХ ШУ–САРЫСУЙСКОЙ ПРОВИНЦИИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРЕЗА.....	183

CONTENTS

A.S. Abseyt, N.S. Yelibayeva, G.G. Abdikarim, J.S. Abseyt DETERMINATION OF THE QUALITATIVE AND QUANTITATIVE CONTENT OF POLYSACCHARIDES IN THE ACANTHOPHYLLUM PUNGENS PLANT.....	5
A. Bayeshov, A.K. Bayeshova, S. Molaigan, M.N. Turlybekova, B. Leska THE ROLE OF DEPOLARIZERS IN THE PROCESSES OF HYDROGEN RELEASE FROM WATER ON THE ALUMINUM AMALGAM SURFACE.....	15
I.M. Jeldybayeva, Zh. Kairbekov, M.Z. Yessenalieva, S.M. Suimbayeva CATALYTIC ACTIVITY AND ISOMERIZATION CAPACITY OF PALLADIUM AND NICKEL CATALYSTS IN 1-HEXENE HYDROGENATION REACTION.....	27
T.K. Jumadilov, L.K. Yskak, N.O. Myrzakhmetova FEATURES OF SORPTION OF CERIUM IONS BY THE INTERPOLYMER SYSTEM BASED ON AMBERLITE IR120 AND AB-17-8 ION-EXCHANGE RESINS.....	37
A.I. Kareeva, A.A. Bolysbek, I.A. Pochitalkina, Y.B. Raiymbekov THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE PROCESS OF PRODUCING NPK FERTILIZERS BASED ON SUBSTANDARD PHOSPHATE RAW MATERIALS.....	47
K.B. Musabekov, O.V. Rozhkova, D.M-K. Artykova (Ibraimova), M.T. Yermekov, Sh.A. Muzdybaeva APPLICATION OF BENTONITE CLAY AS A PROTECTIVE BARRIER IN THE DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE OF NUCLEAR INDUSTRY OF KAZAKHSTAN.....	66
M. Nazhipkyzy, A. Nurgain, A. Zhaparova, A. Issanbekova, G. Robert Mitchell Al/DIATOMITE BASED COMPOSITE MATERIALS.....	78
N.N. Nurgaliyev, A.Zh. Akimzhanov, A.N. Klivenko, A.S. Sabitova, E.T. Talgatov BIOSTIMULATORS FOR OBTAINING BIOMETHANE DURING ANAEROBIC FERMENTATION OF ORGANIC WASTE.....	88
M.D. Sabyrkhanov, A.A. Dosmakanbetova, N.T. Seitkhanov, G.D. Pazilova, L.A. Seitkasimova DESCRIPTION OF NONLINEAR OSCILLATIONS OF A PERTURBED FILM IN ITS COLLISION WITH LIQUID DROPS.....	105

A.M. Serikbayeva, F.F. Roman, J.L. Diaz de Tuesta, H.T. Gomes, M.S. Kalmakhanova. B. Torsykbayeva, B. Imangaliyeva, N. Iztileu CHEMICAL RESEARCH METHODS AND FORMATIVE ASSESSMENT.....	115
B. Torsykbayeva, B. Imangaliyeva, N. Iztileu CHEMICAL RESEARCH METHODS AND FORMATIVE ASSESSMENT.....	129
A.S. Tukibayeva, R. Pankiewicz, B.N. Kabyzbekova, L.D. Aikozova, N.A. Kalieva SYNTHESIS LASALOCID ESTER WITH PENTADEC AFLUORO-1-OCTANOL (LasF) AND SEMIEMPIRICAL INVESTIGATION OF ITS COMPLEXES WITH MONOVALENT CATIONS.....	144
A.A. Utebaeva, R.S. Alibekov, E.A. Gabrilyants, Zh.A. Abish, A.Zh. Aitbayeva IMPACT OF BURNET (<i>Sanguisorba officinalis</i>) EXTRACTS FOR a <i>Lactobacillus</i> GROWTH.....	156
S. Fazylov, O. Nurkenov, A. Sarsenbekova, A. Iskineyeva, A. Mendibaeva THERMAL DECOMPOSITION OF INCLUSION COMPLEXES RETINOL ACETATE WITH β -CYCLODEXTRINS.....	168
D.B. Chensizbayev, D.K. Adenova, K.E. Koshpanova DETERMINATION OF LITHIUM CONCENTRATION IN INDUSTRIAL WATERS OF SHU-SARYSU PROVINCE BY ELECTROPHORESIS METHOD.....	183

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 described work 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). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <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://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

ISSN 2518-1491 (Online), ISSN 2224-5286 (Print)

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 31.03.2023.

Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

9,0 п.л. Тираж 300. Заказ 1.