

# Химия элементоорганических соединений Organometallic chemistry

Научная статья

УДК 546.76+547.1'13+547.38+547.1'176:547.77+678.746.222

DOI: 10.14529/chem240201

## СИНТЕЗ КОМПЛЕКСОВ ХРОМА С УГЛЕВОДОРОДНЫМИ И ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИМИ ЛИГАНДАМИ И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ В ПРОЦЕССАХ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ И ГАЗОФАЗНОГО ПОЛУЧЕНИЯ ХРОМКАРБИДНЫХ ПЛЕНОК В РАБОТАХ А.Н. АРТЕМОВА

А.В. Гущин<sup>✉</sup>, Д.А. Хотина, В.Р. Вахитов

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород, Россия

<sup>✉</sup> gushchin4@yandex.ru

**Аннотация.** В работах профессора А.Н. Артемова исследован синтез хромсодержащих изоксазолидинов реакцией 1,3-диполярного циклоприсоединения, продемонстрировано повышение цис/транс-селективности при введении хромтрикарбонильной группы в молекулы диполей и диполярофилов. Аренхромтрикарбонильные производные шестичленных гетероциклов с N–C–O связями, как и их пятичленные аналоги, можно получить реакцией между свободными от хромтрикарбонильной группы гетероциклами, а также в результате конденсации хромсодержащих аминспиртов с карбонильными соединениями. Изучен синтез би- и полиметаллоорганических соединений в реакциях металлоорганических галогенидов с различными непереходными металлами. Такие реакции позволяют в одностадийном процессе получать соединения, содержащие ковалентные связи металлов 12–15 групп (Mg, Zn, Cd, In, Tl, Sn, Pb, Bi) с непереходными элементами (Fe, Mo, W). В качестве регуляторов полимеризации по механизму обратимого ингибирования для виниловых мономеров исследованы стиролхромтрикарбонил, *para*-метилстиролхромтрикарбонил, *α*-метилстиролхромтрикарбонил, стилибенхромтрикарбонил, аллилбензолхромтрикарбонил, дифенилбутadiенхромтрикарбонил. *α*-метилстиролхромтрикарбонил, дифенилбутadiенхромтрикарбонил, аллилбензолхромтрикарбонил. При введении их в полимеризующую массу метилметакрилата, бутилакрилата, стирола в количествах, соизмеримых с концентрацией инициатора, они контролируют обрыв полимерной цепи при температурах не выше 100 °С. При этом процесс протекает с достаточно высокой скоростью, и контроль роста цепи идет по механизму обратимого ингибирования. Газофазное разложение *bis*-этилбензолхрома может протекать с образованием твердых и износостойких хромкарбидных покрытий, так и с получением пленок хрома, отличающихся низким температурным коэффициентом сопротивления.

**Ключевые слова:** хроморганические соединения, аренхромтрикарбонил, полимеризация, карбид хрома, гетероциклические соединения

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, БЧ госзадания, проект FSWR-2023-0025.

**Для цитирования:** Гущин А.В., Хотина Д.А., Вахитов В.Р. Синтез комплексов хрома с углеводородными и гетероциклическими лигандами и применение их в процессах полимеризации и газофазного получения хромкарбидных пленок в работах А.Н. Артемова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2024. Т. 16, № 2. С. 5–13. DOI: 10.14529/chem240201

## SYNTHESIS OF CHROMIUM COMPLEXES WITH HYDROCARBON AND HETEROCYCLIC LIGANDS AND THEIR APPLICATION IN POLYMERIZATION PROCESSES AND GAS-PHASE PRODUCTION OF CHROMOCARBIDE FILMS IN THE WORKS OF A.N. ARTEMOV

A.V. Gushchin<sup>✉</sup>, D.A. Khotina, V.R. Vakhitov

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>✉</sup> gushchin4@yandex.ru

**Abstract.** In the works of Professor A.N. Artemov, the synthesis of chromium-containing isoxazolines by the reaction of 1,3-lipolar cycloaddition was studied and an increase in cis/trans selectivity was demonstrated when introducing a tricarbonylchromium group into molecules of dipoles and dipolarophiles. Arenetricarbonylchromium derivatives of six-membered heterocycles with N–C–O bonds, like their five-membered analogues, can be obtained by reaction between heterocycles free of the tricarbonylchromium group, as well as a result of condensation of chromium-containing amino alcohols with carbonyl compounds. The synthesis of bi- and polymetallic compounds in the reactions of organometallic halides with various non-transition metals has been studied. Such reactions make it possible in a one-step process to obtain compounds containing covalent bonds of metals of 12–15 groups (Mg, Zn, Cd, In, Tl, Sn, Pb, Bi) with non-transitive elements (Fe, Mo, W). Styrene chromium tricarbonyl, *para*-methylstyrene chromium tricarbonyl,  $\alpha$ -methylstyrene chromium tricarbonyl, stilbene chromium tricarbonyl, allylbenzene chromium tricarbonyl, and diphenylbutadiene chromium tricarbonyl were studied as polymerization regulators by the mechanism of reversible inhibition for vinyl monomers.  $\alpha$ -methylstyrene chromium tricarbonyl, diphenylbutadiene chromium tricarbonyl, allylbenzene chromium tricarbonyl. When they are introduced into the polymerizing mass of methyl methacrylate, butyl acrylate, styrene in quantities commensurate with the concentration of the initiator, they control the termination of the polymer chain at temperatures not exceeding 100 °C. At the same time, the process proceeds at a sufficiently high rate, and the control of chain growth follows the mechanism of reversible inhibition. The gas-phase decomposition of *bis*-ethylbenzenechromium can proceed with the formation of hard and wear-resistant chromium carbide coatings, as well as with the production of chromium films characterized by a low temperature resistance coefficient.

**Keywords:** organochromium compounds, arenetricarbonylchromium, polymerization, chromium carbide, heterocyclic compounds

**Acknowledgments.** The work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, BC state assignment, project FSWR-2023-0025.

**For citation:** Gushchin A.V., Khotina D.A., Vakhitov V.R. Synthesis of chromium complexes with hydrocarbon and heterocyclic ligands and their application in polymerization processes and gas-phase production of chromocarbide films in the works of A.N. Artemov. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chem.* 2024;16(2):5–13. (In Russ.) DOI: 10.14529/chem240201

Памяти профессора  
Артемова Александра Николаевича  
посвящается

Александр Николаевич Артемов, доктор химических наук, профессор кафедры химии нефти (нефтехимического синтеза) Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, родился 29 мая 1936 г. в г. Горьком. После окончания химического факультета ГГУ (1959) он по рекомендации академика Г.А. Разуваева и по приглашению А.В. Пудовика, член-корреспондента АН СССР, заведующего лабораторией элементоорганического синтеза казанского Института органической и физической химии, занимался исследованием фосфорорганических веществ в указанной лаборатории. Через некоторое время А.Н. Артемов вернулся в Горький, где несколько лет работал в ОКБ, а в 1963 г. был приглашен Г.А. Разуваевым на ра-

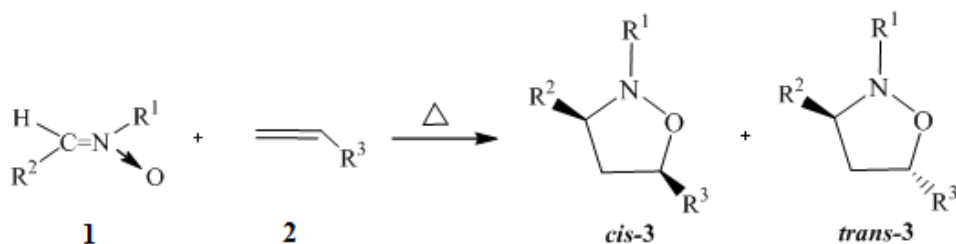


Артемов Александр Николаевич  
(29.05.1936 – 12.04.2024)

боту в лабораторию органической химии НИИ химии при ГГУ, которой заведовал профессор Г.Г. Петухов. Непосредственным руководителем А.Н. Артемова был назначен молодой перспективный ученый Г.А. Домрачев, с которым Александр Николаевич в свое время учился в 8 школе в параллельных классах. Тогда он окупился в химию π-комплексов хрома, которой посвятил всю свою жизнь. В 1969 г. он под руководством Г.А. Разуваева защитил кандидатскую диссертацию по синтезу и термическому разложению бисареновых комплексов хрома и молибдена. В 1987 году защитил докторскую диссертацию и стал профессором (1988).

Научные изыскания А.Н. Артемова сосредоточены в области получения π-комплексов хрома с гетероциклическими и органическими лигандами, изучения их строения, физических и химических свойств, а также применения полученных комплексов в реакциях полимеризации виниловых мономеров и процессах газофазного осаждения хромкарбидных пленок.

В последнее десятилетие А.Н. Артемов с аспирантами и студентами кафедры химии нефти (нефтехимического синтеза) активно развивал исследования по синтезу аренхромтрикарбонильных азотсодержащих гетероциклических соединений. В мировой науке достигнут значительный прогресс в изучении таких веществ, для которых характерно наличие хромтрикарбонильного заместителя либо в боковой цепи гетероцикла, либо в карбоциклическом кольце конденсированного производного. Наиболее распространенными методами получения таких веществ являются реакции гексакарбонилхрома или его производных с уже сформированным аренсодержащим гетероциклом, а также процессы конденсации, циклоприсоединения с участием хромсодержащих компонентов, приводящие к образованию гетероциклического кольца. Наличие объемной стереонаправляющей хромтрикарбонильной группы и гетероциклического фрагмента в одной молекуле обеспечивает большой потенциал для разработки методов применения подобных комплексов в биологии, медицине, тонком органическом синтезе. Большая часть исследуемых веществ уже зарекомендовала себя в качестве компонентов для проведения высоко-стереоселективных реакций. В работах А.Н. Артемова получен большой ряд оксазолидинов, содержащих η<sup>6</sup>-фенилхромтрикарбонильную группу главным образом при атоме азота [1–3] по схеме 1.



1: R<sup>2</sup> = Ph[Cr(CO)<sub>3</sub>], R<sup>1</sup> = Me, *t*-Bu, Ph; R<sup>2</sup> = Ph, R<sup>1</sup> = Me, *t*-Bu, Ph; R<sup>2</sup> = C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>[Mn(CO)<sub>3</sub>],  
R<sup>1</sup> = Me, *t*-Bu, Ph; 2: R<sup>3</sup> = Ph, OEt, CN, Ph[Cr(CO)<sub>3</sub>], C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>[Mn(CO)<sub>3</sub>];  
3: R<sup>1</sup> = Me, *t*-Bu, Ph, R<sup>2</sup> = Ph[Cr(CO)<sub>3</sub>], R<sup>3</sup> = Ph; R<sup>1</sup> = Me, *t*-Bu, Ph, R<sup>2</sup> = Ph, R<sup>3</sup> = Ph[Cr(CO)<sub>3</sub>]; R<sup>1</sup> =  
R<sup>3</sup> = Ph, R<sup>2</sup> = Ph[Cr(CO)<sub>3</sub>]; R<sup>2</sup> = Ph, R<sup>3</sup> = Ph[Cr(CO)<sub>3</sub>], R<sup>1</sup> = Me, *t*-Bu, Ph; R<sup>2</sup> = Ph[Cr(CO)<sub>3</sub>], R<sup>3</sup> = CN,  
R<sup>1</sup> = Me, *t*-Bu, Ph; R<sup>2</sup> = R<sup>3</sup> = Ph[Cr(CO)<sub>3</sub>], R<sup>1</sup> = Me, *t*-Bu, Ph; R<sup>2</sup> = Ph[Cr(CO)<sub>3</sub>], R<sup>3</sup> = C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>[Mn(CO)<sub>3</sub>],  
R<sup>1</sup> = Me, *t*-Bu, Ph; R<sup>2</sup> = C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>[Mn(CO)<sub>3</sub>], R<sup>3</sup> = Ph[Cr(CO)<sub>3</sub>], R<sup>1</sup> = Me, *t*-Bu, Ph

Схема 1

При изучении синтеза хромсодержащих изоксазолидинов продемонстрировано повышение *цис/транс*-селективности реакций 1,3-диполярного циклоприсоединения при введении хромтрикарбонильной группы в молекулы диполей и/или диполярофилов [4–9].

В качестве диполей были выбраны хромсодержащие нитроны, их свободные от хромтрикарбонильной группы аналоги, а также нитроны, содержащие  $\eta^5$ -циклопентадиенилмарганец-трикарбонильную группу. Диполярфилами являлись стирол, акрилонитрил,  $\eta^6$ -стирол-хромтрикарбонил и марганецсодержащий комплекс. Установлено, что основными продуктами проведенных реакций были тризамещенные изоксазолидины с *цис*-расположением заместителей при С3 и С5 углеродных атомах (схема 2).

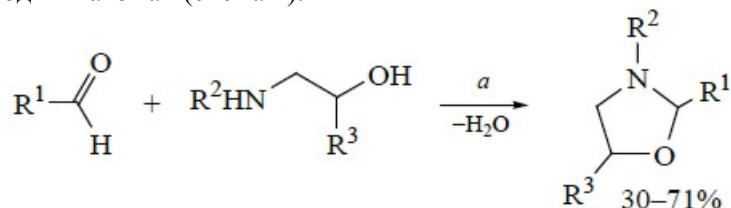


Схема 2

Установлено, что шестичленные аренхромтрикарбонильные производные гетероциклов с N–С–О связями, как и их пятичленные аналоги, можно получить реакцией между свободными от хромтрикарбонильной группы гетероциклами (метод а), а также в результате конденсации хромсодержащих аминспиртов с карбонильными соединениями (метод б). Среди таких производных известны комплексы на основе оксазианов (тетрагидро-1,3-оксазинов) (схема 3) [1, 2] и бициклических соединений – дигидро-3,1-бензоксазинов (схема 5) [10–12].

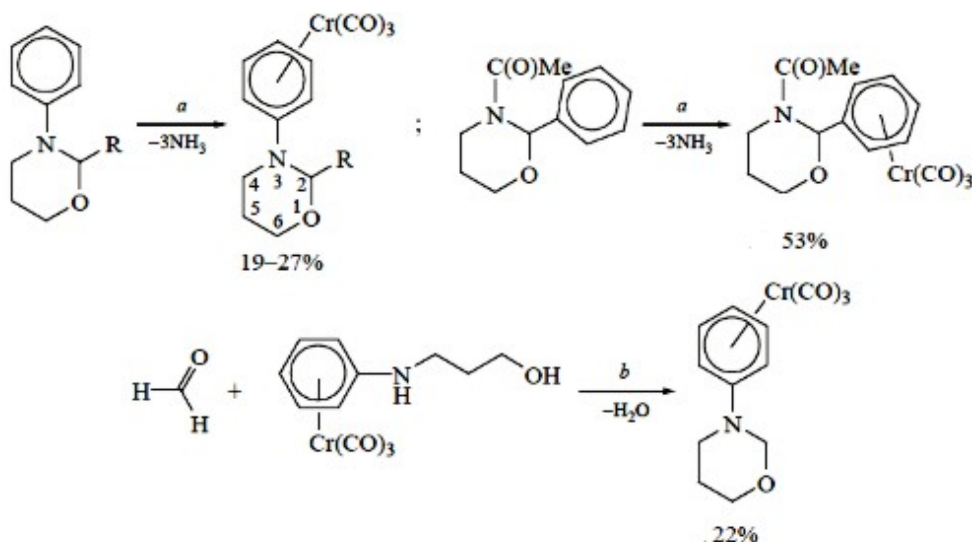


Схема 3

N-Аренхромтрикарбонильные комплексы [2] получали методом а из соответствующих гетероциклов и триаминхромтрикарбонила при нагревании в среде диоксана. Наименее стерически затруднённый продукт удалось получить также альтернативным методом б [1]. В свою очередь, большинство хромсодержащих дигидро-3,1-бензоксазинов получены обоими методами [10] (схема 4).

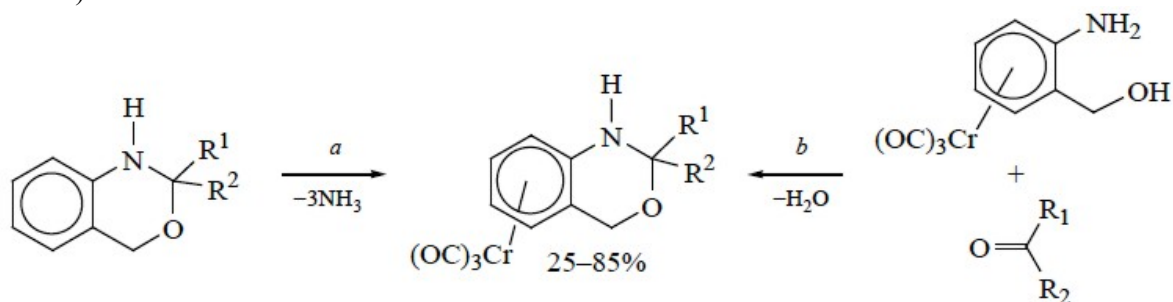


Схема 4



Исключение составили реакции триамминхромтрикарбонила с дигидро-3,1-бензоксазинами, содержащими проп-1-ен-1-ил, фуран-2-ил и пиридин-2-ил в качестве заместителей, в этих случаях образование целевого продукта не происходило. Те из хромсодержащих дигидробензоксазинов, для которых заместители R<sup>1</sup> и R<sup>2</sup> различны, получены в виде диастереомерных смесей, из которых колоночной хроматографией удалось выделить в чистом виде преобладающие трансдиастереомеры (изомеры с различным расположением хромтрикарбонильной группы и заместителя R<sup>2</sup> относительно дигидробензоксазинового фрагмента) [10]. Полученные вещества охарактеризованы различными методами физико-химического анализа, для ряда из них проведен РСА [1, 10–12]. В направлении исследования аренхромтрикарбонильных азотсодержащих гетероциклических соединений под руководством А.Н. Артемова защищены кандидатские диссертации Гришиной Н.Ю. «Реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения с участием непереходных хром/марганецтрикарбонильных π-комплексов» (2016) и Аксеновой Н.А. «Синтез аренхромтрикарбонильных комплексов с гетероциклическими лигандами» (2021).

А.Н. Артемов со своими друзьями всегда с большим удовольствием вспоминал 70–80-е годы, когда стремительно развивалась химия ареновых, циклопентадиенильных, карбонильных π-комплексов хрома и других переходных металлов, как под ее знаменем объединялись институтские синтетики Г.Г. Петухов, Ю.А. Сорокин, Н.И. Сироткин, В.И. Ермолаев, А.С. Смирнов, А.А. Аладьин, Т.Г. Касаткина под руководством Г.А. Разуваева, спектроскописты А.Н. Егорочкин, И.И. Гринвальд, О.С. Морозов, кинетики Ю.А. Александров, В.П. Масленников, В.М. Фомин, хроматографисты (Д.А. Вяхирев), а также термехимики, аналитики, масс-спектрометристы, неорганики. Были синтезированы десятки новых металлоорганических соединений и комплексов, и среди них бисаренхромтрикарбонильные производные ртути (диссертация к.х.н. Н.И. Сироткина), обладающие уникальной химической активностью по всем имеющимся в молекуле реакционным центрам [13–16].

В конце 1990-х – начале 2000-х годов исследовательская группа профессора В.П. Масленникова, в которую входили д.х.н. И.В. Спирина, к.х.н. С.В. Масленников и аспирант А.В. Пискунов, занималась вопросами синтеза би- и полиметаллоорганических соединений в реакциях металлоорганических галогенидов с различными непереходными металлами. Было обнаружено, что такие реакции позволяют в одностадийном процессе получать соединения, содержащие ковалентные связи металлов 12–15 групп (Mg [17], Zn, Cd [18], In, Tl [19, 20], Sn, Pb [21], Bi) с переходными элементами (Fe, Mo, W).

Изучалась скорость гетерогенных реакций, аналогичных реакции Гриньяра, состав и строение образующихся металлоорганических соединений. Неоценимую помощь в проведении этих исследований оказал А.Н. Артемов. Его богатый опыт в химии карбонильных производных металлов подгруппы хрома позволил наладить синтез исходных соответствующих галогенидов переходных металлов с высокой степенью чистоты, необходимой для проведения количественных кинетических измерений. Весьма полезными оказались также его консультации, которые помогли в изучении образующихся в ходе таких реакций новых соединений (схема 5).

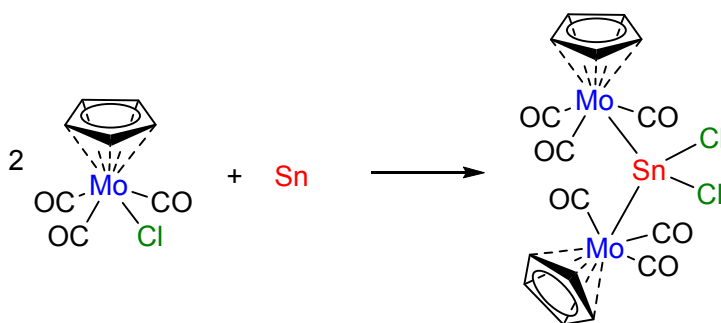


Схема 5

Начиная со второй половины прошедшего столетия невозможно представить развитие химии высокомолекулярных соединений без участия элементоорганических соединений, в том числе содержащих переходные металлы. Колоссальные успехи достигнуты в области катализа металлоорганическими соединениями полимеризационных процессов и других превращений этилена, пропилена, высших олефинов и циклоолефинов. Для радикальной полимеризации виниловых мономеров большое значение имеют работы по комплексно-радикальной (координационно-

радикальной), а также псевдоживой полимеризации (по механизмам обратимого ингибирования, с переносом атома, либо с обратимой передачей цепи) в присутствии элементоорганических соединений. Особого внимания в этих процессах заслуживает взаимодействие растущего полимерного радикала с соединением металла.

С целью поиска регуляторов формирования полимерной цепи по механизму обратимого ингибирования при полимеризации виниловых мономеров в середине 90-х годов с участием А.Н. Артемова были проведены исследования на примере аренхромтрикарбонильных комплексов, таких как стиролхромтрикарбонил (СХК), *para*-метилстиролхромтрикарбонил (ПХК),  $\alpha$ -метилстиролхромтрикарбонил (МХК), стильбенхромтрикарбонил (СТК), аллилбензолхромтрикарбонил (АХК), дифенилбутadiенхромтрикарбонил (БХК).

Следует отметить, что известное из литературы отсутствие полимеризации при иницировании процесса ДАК для металлосодержащих мономеров типа  $\eta^6$ -стиролхромтрикарбонила,  $\eta^4$ -(гекса триен)трикарбонилжелеза и ферроценилбутадиена объясняется образованием стабильного, не способного присоединиться к двойной связи радикала при взаимодействии металлосодержащего мономера с иницирующим радикалом. Такой радикал может быть регулятором обрыва полимерной цепи. К началу этих работ ПХК, МХК, СТК, АХК и БХК в полимеризационных превращениях вовсе не исследовались. При изучении СХТ как мономера обнаружено неоднозначное его поведение: синтезированы сополимеры СХК со стиролом, метилакрилатом, винилцимантреном при 90–110 °С, но он не образует гомополимера. С участием А.Н. Артемова были проведены систематические исследования участия СХК, ПХК, МХК, СТК, АХК и БХК при полимеризации органических виниловых мономеров, в основном ММА и стирола, с широким привлечением физико-химических методов анализа. При этом был выбран температурный интервал полимеризации 50–70 °С (в отличие от 90–110 °С, отмеченных ранее), так как известно, что с понижением температуры процесса увеличивается стабильность радикала.

Установлено, что влияние хромтрикарбонильных комплексов монозамещенных бензолов с кратной связью в боковой цепи на полимеризацию органических виниловых мономеров зависит от строения образующихся в полимеризате углеродцентрированных радикалов. При введении комплексов БХК, АХК, МХК в полимеризующую массу метилметакрилата, бутилакрилата, стирола в количествах, соизмеримых с концентрацией инициатора, они контролируют обрыв полимерной цепи при температурах не выше 100 °С, при этом процесс протекает с достаточно высокой скоростью и контроль роста цепи идет по механизму обратимого ингибирования. СХК и МХК сополимеризуются с метилметакрилатом, стиролом винилхлоридом, хотя их относительная активность при этом близка к нулю. Впервые получены и охарактеризованы металлосодержащие полимеры: полистиролхромтрикарбонил и поли-*para*-метилстиролхромтрикарбонил [22–30]. Результаты исследований обсуждены в кандидатских диссертациях И.С. Ильичева «Реакционная способность стиролхромтрикарбонила и его аналогов в радикальной полимеризации», Е.В. Телегиной «Циклопентаденильные и ареновые комплексы некоторых переходных металлов в радикальной полимеризации стирола и (мет)акриловых мономеров», Н.Б. Валетовой «Особенности радикальной полимеризации стирола и метилметакрилата в присутствии аренхромтрикарбонильных и никелевых комплексов», докторской диссертации Л.Л. Семенчевой «Контролируемая радикальная полимеризация виниловых мономеров в присутствии источников стабильных радикалов».

Значительным достижением явилось получение Г.А. Домрачевым жидкого хроморганического соединения *bis*(этилбензол)хрома (БАРХОС), на основе которого стало удобнее, проще получать хромкарбидные пленки газофазным термическим разложением. В лаборатории органической химии НИИ химии была сформирована группа металлизации, включающая А.С. Лузина, В.Б. Поликарпова, Н.В. Фельдман, Л.П. Зборовскую, которая сотрудничала с лабораторией горьковского Института химии Академии наук Г.А. Домрачева, выдающегося теоретика и практика процессов термораспада металлоорганических соединений. Оказалось, что газофазное разложение БАРХОС можно направить как в сторону получения твердых и износостойких хромкарбидных покрытий, так и в сторону получения хромсодержащих пленок, отличающихся низким температурным коэффициентом сопротивления. Резистивные покрытия опробованы на горьковском ОКБ «Орбита», получены положительные результаты, после чего началась активная хозяйственная работа с этим предприятием. А.Н. Артемов и Р.Г. Назарова внедряли новую технологию на

опытных площадках «Орбиты», одновременно технологи прикомандировывались к лаборатории органической химии НИИХ для получения химических знаний и навыков эксперимента с хроморганической жидкостью. Начальник лаборатории «Орбиты» И.Ф. Соловьев, обладавший огромной энергией и организаторским талантом, способствовал скорейшему проектированию и запуску промышленной установки получения низкоомных резисторов. Для обеспечения этого производства понадобилось серийное промышленное производство БАРХОС, и это было успешно сделано. Общими усилиями Г.А. Разуваева, Г.Г. Петухова, А.Н. Артемова, институтских стеклодувов, а также ученых и производственников Б.Г. Грибова, Б.И. Козыркина (г. Зеленоград) и З.С. Смоляна (г. Дзержинск), инициативных работников министерства и горьковского обкома партии в короткие сроки была создана сначала стеклянная установка на территории НИИ химии, а затем промышленная установка на заводе «Капролактам». По данным работам с участием А.Н. Артемова оформлены авторские свидетельства и патенты [30–33].

Занимаясь фундаментальными научными исследованиями, А.Н. Артемов всегда искал возможность практического использования результатов в промышленности, которой богата Нижегородская область. Он выступал инициатором заключения договоров с предприятиями и очень радовался, когда его коллективу удавалось решить сложную хозяйственную задачу.

Хоздоговорные работы с заводом «Капролактам» способствовали запуску промышленной установки синтеза *бис*(этилбензол)хрома, а работы с ОКБ «Орбита» обеспечили отладку процесса получения отечественных низкоомных резисторов.

На протяжении нескольких лет А.Н. Артемов вел договорные работы с заводом «Салют» по усовершенствованию метода синтеза триметилгаллия для повышения его чистоты. В результате этой кропотливой и небезопасной работы была подготовлена к защите кандидатская диссертация молодого сотрудника предприятия М.В. Ревина [34].

Представители одного из заводов Дзержинска как-то приехали в НИИ химии посоветоваться, что можно сделать с тоннами накопившихся отходов борсодержащих стекол. А.Н. Артемов с сотрудниками за один год с блеском решил эту проблему, и отходы превратились в коммерчески реализованную чистую борную кислоту.

Незаурядное мастерство органика-синтетика А.Н. Артемов проявил в международной работе с фирмой из Чехии, для которой были синтезированы органические продукты для лечения наркозависимости.

А.Н. Артемов перед началом какой-либо новой работы неделями сидел в библиотеке НИИ химии, в результате чего формировался основательный литературный обзор по всей проблеме, возможные пути решения, затем экономический расчет проекта. Так было и с идеей наладить выпуск отечественных фумигаторов. Через два года работы коллективом лаборатории органической химии в сотрудничестве с заводом металлообработки задача была решена и первые нижегородские репеллентные таблетки и нагревательные проборы к ним стали доступными.

Дигидрокверцетин, как известно, обладает уникальной антиоксидантной активностью и входит в состав многих лекарственных средств. А.Н. Артемов стоял у истоков первого нижегородского производства химически чистого дигидрокверцетина из листовенничной древесины. Работа с предприятием из г. Сарова начиналась экспериментами с микроколичествами, с комплексным трудоемким анализом компонентов химическими и спектральными методами с целью решения проблемы очистки целевого продукта от многочисленных сопутствующих примесей и изомеров, а кончилась пуском полупромышленной установки.

А.Н. Артемов был замечательным, добрым педагогом. Его диссертант Н.А. Аксенова вспоминает: «Когда нам, студентам, долго не удавалось найти ответ на какой-то интересующий нас вопрос, мы шутили „нужно заглянуть в энциклопедию“, подразумевая, что пора задать этот вопрос Александру Николаевичу. Он всегда с любопытством и интересом был готов к любым нашим „а как?“, „а почему?“. Первым делом он отвечал: „ну, даже не знаю...“, после чего следовало подробное разностороннее объяснение данного явления грамотным, но понятным научным языком, причем со ссылками на исследования в этой области и на фамилии ученых. Только если вопрос был слишком неоднозначным, или мы были слишком дотошными, он, пожимая плечами, мог ответить: „Таково свойство советской брони“. С ним всегда было его чувство юмора и какая-то легкость взгляда на вещи. Скромность и непосредственность удивительным образом соседствовали с тонким умом серьезного ученого, профессора».

Профессор Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева И.И. Гринвальд отмечает, что А.Н. Артемов был настоящим интеллигентом, справедливым, принципиальным и честным. Несмотря на свои многочисленные достижения и заслуги в науке, был необыкновенно скромным. Его даже удивляла мысль о том, что можно как-то использовать свой научный авторитет. Он всегда был вежлив и внимателен со своими коллегами и подчиненными, был прекрасным товарищем и наставником. В коллективе, который он возглавлял, всегда царила атмосфера творчества, взаимного уважения и поддержки, а научная работа проводилась как-то по-особенному весело и непринужденно.

Отец А.Н. Артемова – Николай Михайлович (1908–2005) – заведующий кафедрой физиологии человека и животных ННГУ, выдающийся российский физиолог, основатель нижегородской школы зоотоксикологии и научной апитерапии, доктор биологических наук, почётный профессор ННГУ, почётный член Российского физиологического общества. Мать – Шухгальтер Тамара Александровна (1907–1987) – преподавала на биологическом факультете ГГУ. Жена – Артемова (Маслова) Галина Павловна (1940–2009) – окончила Горьковский институт иностранных языков, работала школьным учителем немецкого языка. Дочь А.Н. Артемова – Красильникова Ольга Александровна, 1960 г.р., выпускник кафедры высокомолекулярных соединений ГГУ, работала инженером ГНИПИ, в настоящее время педагог Центра развития творчества детей и юношества Нижегородской области. Внуки – Ольга (1986 г. р.) и Василий (1993 г. р.).

А.Н. Артемов в стенах Нижегородского университета прошел длинный путь от студента до доктора химических наук, профессора кафедр органической химии и кафедры химии нефти (нефтехимического синтеза). На протяжении ряда лет он успешно работал на должности заведующего лабораторией органической химии НИИ химии ННГУ и пользовался заслуженным авторитетом сотрудников института. Он опубликовал более 180 научных работ и получил более 10 авторских свидетельств и патентов. Профессор А.Н. Артемов известен в научном мире как высококвалифицированный специалист в области синтеза, исследования и практического применения металлоорганических соединений и металлокомплексов. Увлеченный лектор, замечательный педагог и исследователь, он всегда пользовался большим уважением у профессорско-преподавательского состава и студентов. Десятки его учеников работают в вузах, НИИ и на предприятиях страны. Светлая память замечательному человеку и ученому.

#### Список источников

1. *Artemov A.N., Sazonova E.V., Krylova N.A. et al.* // Russ. Chem. Bull. 2018. V. 67. P. 884. DOI:10.1007/s11172-018-2153-0.
2. *Artemov A.N., Sazonova E.V., Aksenova N.A. et al.* // Russ. Chem. Bull. 2019. V. 68. P. 1548. DOI:10.1007/s11172-019-2590-4.
3. *Гришина Н.Ю., Сазонова Е.В., Артемов А.Н.* // Журн. орг. химии. 2022. Т. 58, № 6. С. 555. DOI:10.31857/S0514749222060015.
4. *Артемов А.Н., Сазонова Е.В., Заровкина Н.Ю.* // Изв. АН. Сер. хим. 2013. Т. 62. С. 1382. DOI:10.1007/s11172-013-0197-8.
5. *Артемов А.Н., Сазонова Е.В., Маврина Е.А. и др.* // Изв. АН. Сер. хим. 2012. Т. 61. С. 2059. DOI: 10.1007/s11172-012-0290-4.
6. *Заровкина Н.Ю., Сазонова Е.В., Артемов А.Н. и др.* // Изв. АН. Сер. хим. 2015. Т. 64. С. 923.
7. *Гришина Н.Ю., Сазонова Е.В., Артемов А.Н. и др.* // Изв. АН. Сер. хим. 2017. Т. 66. С. 313.
8. *Заровкина Н.Ю., Сазонова Е.В., Артемов А.Н.* // Журн. орг. химии. 2014. Т. 50. С. 1044.
9. *Fukin G.K., Cherkasov A.V., Zarovkina N.Yu. et al.* // ChemistrySelect. 2016. V. 1. P. 5014. DOI: 10.1002/slct.201601100.
10. *Sazonova E.V., Artemov A.N., Faerman V.I. et al.* // Russ. Chem. Bull. 2021. V. 70. P. 171. DOI: 10.1007/s11172-021-3073-y.
11. *Fukin G.K., Cherkasov A.V., Rumyantsev R.V. et al.* // Mendeleev Commun. 2019. V. 29. P. 346. DOI: 10.1016/j.mencom.2019.05.036.
12. *Fukin G.K., Cherkasov A.V., Baranov E.V. et al.* // ChemistrySelect. 2019. V. 4. P. 10976. DOI: 10.1002/slct.201901394.
13. *Gaivoronskii P.E., Larin N.V., Sirotkin N.I. et al.* // Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Division of Chemical Sciences. 1973. V. 22, No. 11. P. 2557. DOI: 10.1007/BF00926422.

14. Razuvaev G.A., Petuchov G.G., Artemov A.N. et al. // J. Organomet. Chem. 1972. V. 37. P. 131. DOI: 10.1016/S0022-328X(00)87126-0.
15. Razuvaev G.A., Petuchov G.G., Artemov A.N. et al. // J. Organomet. Chem. 1972. V. 37, No. 2. P. 313. DOI: 10.1016/S0022-328X(00)96029-7.
16. Razuvaev G.A., Artemov A.N., Petukhov G.G. et al. // Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Division of Chemical Sciences. 1973. V. 22, No. 5. P. 1138. DOI: 10.1007/BF00854275.
17. Ignat'ev R.A., Maslennikov S.V., Spirina I.V. et al. // Russ. J. Gen. Chem. 2002. V. 72, No. 6. P. 882. DOI: 10.1023/A:1020469920871.
18. Piskunov A.V., Maslennikov S.V., Spirina I.V. et al. // Russ. J. Gen. Chem. 2001. V. 71, No. 5. P. 668. DOI: 10.1023/A:1012380528921.
19. Масленников С.В., Малышева Е.В., Спирина И.В. и др. // Журн. общей химии. 2005. Т. 75, № 4. С. 529. DOI:10.1007/s11176-005-0259-1.
20. Piskunov A.V., Maslennikov S.V., Spirina I.V. et al. // Russ. J. Gen. Chem. 2002. V. 72, No. 9. P. 1323. DOI:10.1023/A:1021645005948.
21. Piskunov A.V., Maslennikov S.V., Spirina I.V. et al. // Russ. J. Gen. Chem. 2002. V. 72, No. 1. P. 65. DOI: 10.1023/A:1015341228059.
22. Semenychева L., Artemov A., Valetova N. et al. // J. Inorg. and Organomet. Pol. and Mater. 2016. V. 26, No. 5. P. 921.
23. Валетова Н.Б., Семенычева Л.Л., Ильичев И.С. и др. // Журн. прикл. химии. 2007. Т. 80, № 5. С. 841. DOI: 10.1007/BF00698873.
24. Valetova N.B., Semyonycheva L.L., Illichev I.S. et al. // Appl. Organomet. Chem. 2005. V. 19, No. 8. P. 971. DOI: 10.1002/aoc.935.
25. Гришин Д.Ф., Валетова Н.Б., Ильичев И.С. и др. // Высокомолекул. соед. Сер. Б. 2005. Т. 47, № 6. С. 1029.
26. Grishin D.F., Semyonycheva L.L., Artemov A.N. et al. // Appl. Organomet. Chem. 2003. V. 17, No. 9. P. 717. DOI:10.1002/aoc.510.
27. Semenychева L.L., Artemov A.N., Il'ichev I.S. et al. // Russ. Chem. Bull. 2002. V. 51, No. 4. P. 581. DOI:10.1023/A:1015895513234.
28. Grishin D.F., Semyonycheva L.L., Illichev I.S. et al. // Appl. Organomet. Chem. 2001. V. 15, No. 3. P. 169. DOI: 10.1002/aoc.118.
29. Grishin D.F., Semenychева L.L., Il'ichev I.S. et al. // Vysokomol. Soed. Ser. A. 2000. V. 42, No. 4. P. 600.
30. Razuvaev G.A., Sirotkin N.I., Artemov A.N. et al. // Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Division of Chemical Sciences. 1981. V. 30, No. 9. P. 1766. DOI:10.1007/BF00949497.
31. Устройство для нанесения токопроводящего покрытия. А. с. 286021 СССР; заявл. 15.04.1969.
32. Способ нанесения защитного металлосодержащего покрытия и устройство для его осуществления; А. с. 2061789 СССР; заявл. 12.04.1993; опубл. 10.06.1996.
33. Способ изготовления пленочных электрических сопротивлений; А. с. 174697 СССР; заявл. 12.03.1964; опубл. 07.09.1965; Бюл. № 18.
34. Revin M.V., Kotkov A.P., Ivanov V.A. et al. // Semiconductors. 2018. Т. 52, № 15. С. 1947. DOI:10.1134/S1063782618150113.

**Гущин Алексей Владимирович** – доктор химических наук, профессор, профессор кафедры органической химии, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия. E-mail: gushchin4@yandex.ru

**Хотина Дарья Александровна** – студент химического факультета, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия. E-mail: hotina2005@mail.ru

**Вахитов Владислав Рустамович** – студент химического факультета, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия. E-mail: cj2001@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 16 апреля 2024 г.*

*The article was submitted 16 April 2024.*